



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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



JAHRESBERICHT 2012 ANNUAL REPORT 2012



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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

JAHRESBERICHT 2012

ANNUAL REPORT 2012

Impressum

Herausgeber

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

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden

01062 Dresden

Tel. 49 351 / 4 63-3 42 77
Fax 49 351 / 4 63-3 72 89
<http://massivbau.tu-dresden.de>

Redaktion

Silke Scheerer

Texte

Birgit Beckmann, Anett Brückner, Manfred Curbach, Christian Dittrich, Daniel Ehlig, Michael Frenzel, Torsten Hampel, Martin Just, Tino Kühn, Wolfgang Leiberg, Matthias Lieboldt, Enrico Lorenz, Petr Máca, Harald Michler, Vieth Anh Nguyen, Regine Ortlepp, Matthias Quast, Dirk Reischel, Robert Ritter, Gregor Schacht, Silke Scheerer, Frank Schladitz, Nico Schmidt, Thoralf Schober, Elisabeth Schütze, Katrin Schwiteilo, Doreen Sonntag, Kerstin Speck, Ulrich van Stipriaan, Sabine Wellner, Sebastian Wilhelm, Robert Zobel

Mitarbeit/Korrektur

Silvia Haubold, Angela Heller, Petra Kahle

Gestaltung

Ulrich van Stipriaan

Druck

addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz

Inhalt

Spannende Herausforderungen	5
Forschung / Research	6
Vom Textilbetonelement zum Gebäude	8
Leichtbauelemente für Brand- und Schallschutz	10
Basaltfasern – eine Alternative für Textilbeton?	12
Leichte Bauteile – leicht hergestellt	14
Zucker ohne Sand	16
Das Textil will gehalten werden	18
Schubversagen besser sehen, hören und fühlen	20
Textilbeton – alternative Verstärkung bei zyklischer Beanspruchung?	22
Beheizbarer Textilbeton	24
Textilbeton als Biegeverstärkung	26
Roboter kommen überall hin	28
Straßenbrücken neu bewertet	30
Beton bei Impact	32
Schnell und laut	34
DEM-Simulation von Phänomenen beim Betonbruch	36
Kann gerissener Stahlbeton dicht sein?	38
Alles fast wie im Labor – virtuelle Probekörper	40
Mehraxiale Festigkeit von UHPC	42
Leichte Deckentragwerke	44
Formoptimierte Stützen	46
Blechumformung mit Betonmatrizen	48
Eine Schutzhülle aus Stahl- und Spannbeton	50
Bauen auf dem Mond – nur Zukunftsmusik?	52
Sandwichplatten aus Textil- und Styroporbeton	54
Simulation von Beton unter hohen Dehnraten	56
Lehre	59
Lehrveranstaltungen des Institutes für Massivbau	60
Projektarbeiten <i>Project Works</i>	66
Diplomarbeiten und Masterarbeiten	74
Wissenschaft ist mehr...	86
Maillart, Menn, Matterhorn – Brückenbauexkursion 2012	87
Schüler zu Gast am Institut	88
Früher Einstieg in bionisches Denken	88
Erfolgreich geschnuppert	89
Alarm auf Textilbeton aussitzen	89
Damit noch bessere Forschung möglich wird	90
Beyer-Preis an Matthias Quast	91
Auch im Kleinen groß sein	92
Sieger aus Dresden	93
Otto-Mohr-Laboratorium	97
Arbeitsgebiete und Ausstattung	98
Belastungstests an Balkonen	104
Hochduktiler Beton mit Bewehrung	105
Beschleunigung von Betonermüdungsversuchen	106
Holzfachwerke mit Betonknoten	107

Institut	109
Das Institut für Massivbau in Zahlen und Fakten	110
Promotion	121
Publikationen 2012	122
Mitarbeiter	126
Dank an unsere Förderer	127



Prof. Manfred Curbach (r.)
 Prof. Ulrich Häußler-Combe
 Institut für Massivbau, TU Dresden
 Bild: Ulrich van Stipriaan

Spannende Herausforderungen

Im Bereich Forschung und Lehre zu arbeiten gehört zu den spannendsten, abwechslungsreichsten und herausforderndsten Dingen, die man sich vorstellen kann.

Forschung setzt immer auf dem auf, was schon existiert oder bekannt ist, immer verbunden mit den Namen herausragender Wissenschaftler, die vor uns auf einem Gebiet erfolgreich gearbeitet haben. Manchmal sind die Schritte sehr klein, manchmal gelingt ein Sprung, doch immer ist es ein Fortschritt, der für den einzelnen Wissenschaftler (hoffentlich) mit Zufriedenheit und wachsendem Selbstbewusstsein verbunden ist. Und ein Fortschritt – so sagt es unser Selbstverständnis am Institut für Massivbau –, der langfristig dazu beitragen kann, unsere Lebensqualität zu sichern. Dies sind wir den Menschen und der Gesellschaft, durch die wir finanziert werden, schuldig.

Lehre ist der beste Dienst, den wir der nächsten Generation von Bauingenieuren zuteil werden lassen können. Vermittlung nicht nur der Grundlagen, sondern auch die Weitergabe der von uns gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse ist für uns Aufgabe und Selbstverständnis zugleich. Unser Ziel ist, dass die Studentinnen und Studenten – aufbauend auf unserem Wissen – in der Zukunft besser planen, entwerfen und bauen werden als wir dies heute können. Denn unsere gebaute und noch zu bauende Umwelt stellt einen beinahe unermesslichen Wert dar, den es zu pflegen, zu erhalten und zu erneuern gilt.

Spannend ist unsere Arbeit in der Forschung oft allein deshalb, weil wir durch das Übertreten von bisher bekannten Grenzen häufig Ergebnisse erhalten, für die es nicht sofort einfache, verständliche Erklärungen gibt. Manchmal ist es wie in einem Krimi, wenn beinahe detektivische Fähigkeiten erforderlich sind, um ein Rätsel zu lösen.

Abwechslungsreich wird die Arbeit auch dadurch, dass wir am Institut mehrere Schwerpunktthemen wie Impakt, Verbund, Textilbeton, Mehraxialität und Numerik bearbeiten und es immer wieder überraschend ist, wie eng manche Themen zusammenhängen.

Und eine *Herausforderung* ist es allemal, sich immer wieder den auftretenden Fragen zu stellen und nicht aufzugeben. Manchmal hilft nicht nur eine Änderung der Blickrichtung, sondern auch eine Veränderung der Herangehensweise. Zum Beispiel lohnt es sich, ein Problem auf spielerische Weise anzugehen, sich daran zu erinnern, wie man als Kind gespielt hat und neben viel Freude auch Erfolgserlebnisse hatte...

Wir danken allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts, die mit großem Ernst, unermüdlichem Fleiß und manchmal eben auch spielerischer Leichtigkeit zum erreichten Erfolg beigetragen haben!

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



FORSCHUNG



RESEARCH

Vom Textilbetonelement zum Gebäude

Zu Beginn des Sonderforschungsbereiches 528 im Jahre 1999 stand die grundlegende Erforschung des innovativen Verbundbaustoffs textilbewehrter Beton im Vordergrund. Aus dieser Erprobungs- und Entwicklungsphase heraus wurden mit der Zeit immer mehr praxisbezogene Projekte ins Leben gerufen. So gelang es im Bereich der nicht tragenden Bauteile, wie z. B. bei selbsttragenden Vorhangfassaden, Textilbeton in den Stand der Technik zu überführen und ein breites Anwendungsfeld zu erschließen. Bei tragenden Bauteilen konnte der innovative Verbundbaustoff in ersten Pilotprojekten erfolgreich eingesetzt werden, unter anderem beim Bau von leichten Segmentbrücken, bei der Sanierung und Verstärkung von Deckensystemen oder bei dem hier vorgestellten Projekt – einem Gebäude aus Textilbeton.

Ziel dieses Projekts war die Entwicklung einer Prinziplösung für Gebäude, die vollständig aus einzelnen Textilbetonelementen bestehen und beliebig oft montiert und demontiert werden können. Als textile Bewehrung werden dabei Gelege aus korrosionsbeständigen Carbonfasern verwendet. Die Geometrie und die Bewehrung der Fertigteile wurden so optimiert, dass alle Anforderungen an die Tragfähigkeit der einzelnen Elemente sowie eines gesamten Gebäudes

erfüllt werden und außerdem eine vielseitige Einsetzbarkeit gewährleistet ist. Die filigranen und architektonisch ansprechenden Fertigteile können miteinander kombiniert werden, um Gebäude unterschiedlicher Grundfläche zu realisieren.

Dieses Ziel wurde mit den im Projekt entwickelten, zweifach gekrümmten, dreieckigen Elementen mit maximalen Kantenlängen von etwa 5 m und einer Bauteildicke von 4 cm erreicht. Um eine beidseitige Sichtbetonqualität zu erzielen, erfolgte die Herstellung der Fertigteile durch Fördern des Betons in eine bauteilumschließende Schalung. Eine besondere Herausforderung bestand dabei in der Verbindungstechnologie und der Montage der zweifach gekrümmten Elemente zu einem Gebäude. Für die Erprobung verschiedener Verbindungsvarianten, wie direktes Verkleben und Verschrauben unter Verwendung von Edelstahlflanschen, wurde ein Pavillon mit einer Grundfläche von ca. 40 m², der aus sechs Fertigteilen besteht, als Demonstrator auf dem Werksgelände der Firma beweka Betonwerk GmbH in Kahla errichtet. Durch die derzeit noch andauernde Aufzeichnung der Verformungen des Gebäudes über einen Zeitraum von mehreren Monaten werden die Verbindungsvarianten auf ihre Dauerhaftigkeit und Praxistauglichkeit überprüft.



Schalung für das
Textilbetonelement
Formwork for the TRC component

From a Textile Concrete Element to a Building

At the beginning of the Collaborative Research Centre 528 in 1999 its focus was on the fundamental research of the innovative compound building material textile reinforced concrete. Out of this test and development phase more and more practice-orientated projects were started through time. Within the area of non-load-bearing components as for instance self-supporting curtain walls, textile concrete could be transferred into the state-of-the-art and a wide field of application was opened up. At load-bearing components the innovative composite construction material could be applied successfully in first pilot projects among other things at the construction of light segment bridges, the renovation and strengthening of ceiling systems or at the project introduced in the paper at hand – a building out of textile concrete.

The aim was the development of a principle solution for buildings fully consisting of single textile concrete elements being mountable and removable any number of times. The textile reinforcement is hereby formed by a fabric out of corrosion resistant carbon fibres. The geometry and the reinforcement of the prefabricated components was thus optimized that all requirements for the load-bearing capacity of the single elements as



Montage eines Gebäudes aus schalenförmigen Textilbetonfertigteilen
Assembling of a building consisting of TRC components

well as the whole building were met and furthermore a versatile usability was ensured. The filigree and architecturally attractive prefabricated parts can be combined with each other so as to realise buildings with different floor plan.

This aim was achieved with the double-curved, triangular elements with a maximum edge length of about 5 m and a component thickness of 4 cm having been developed in the project. So as to obtain a both-sided exposed concrete quality the prefabricated parts were produced with a component surrounding formwork. A special challenge was in the connection technology and the mounting of the double-curved elements to form a building. So as to test different connection variations such as direct bonding and screwing under use of stainless steel flanges a pavillon with a base area of around 40 m² was built as demonstrator out of six prefabricated parts on the property of the company beweka Betonwerk GmbH in Kahla. The connection methods are still being tested concerning their durability and practicability through the ongoing recording of the deformations of the building.

Titel | Title

Entwicklung einer Prinziplösung für Gebäude aus tragfähigen Textilbetonfertigteilen | *Development of a Principle Solution for Buildings Composed of Load-bearing TRC Components*

Förderer | Funding

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Zeitraum | Period

07.2010 – 06.2012

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

Projektpartner | Project Partner

AIB GmbH Bautzen | beweka Betonwerk Kahla GmbH | BWB Beratungsgesellschaft für Wirtschaftliches Bauen Verwaltungs GmbH | ifn Anwenderzentrum GmbH Lauchhammer | TU Dresden, Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik

Leichtbauelemente für Brand- und Schallschutz

Zusätzliche Schallschutzmaßnahmen können die Nutzungsqualität von Gebäuden und Räumen wesentlich verbessern. In einem Forschungsprojekt wurde ein sich selbst tragendes Unterdeckensystem aus einem nicht brennbaren mineralischen Baustoffverbund entwickelt. Die Tragfunktion übernimmt eine dünne Textilbetonschicht. Die bauphysikalischen Funktionen werden von einer raumseitig aufgetragenen Schicht aus hochporösem haufwerksporigem Leichtbeton erfüllt. Indem beide Schichten nass-in-nass aufeinander betoniert werden, ergibt sich ein leichtes Verbundbauteil mit hoher Formstabilität und Schubsteifigkeit. Die gewölbten Unterdeckenelemente können in den verschiedensten Bereichen als raumabschließende Bauteile eingesetzt werden und kombinieren die gestellten sicherheitstechnischen und komfortorientierten Aspekte mit einer hohen Flexibilität an architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten.

Welcher Leichtzuschlag im Brandfall den höchsten Widerstand hat, wurde in Brandversuchen getestet. Die Brandbeanspruchung wurde dabei entsprechend der genormten Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) aufgebracht, die üblicherweise für die Klassifizierung von Bauteilen verwendet wird. Bei den kleinteiligen Tests zeigten sich deutliche

Unterschiede zwischen den untersuchten Zuschlagarten. So erweisen sich leichte Zuschläge wie Blähglas als besonders effektiv hinsichtlich der Wärmedämmung und damit hinsichtlich des Schutzes der tragenden Schicht aus Textilbeton vor extremen Temperatureinwirkungen. Die Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit verschiedener textiler Bewehrungsstrukturen hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit zeigten keine wesentlichen Unterschiede. Sehr positiv war, dass alle geprüften Elemente der 90minütigen Temperaturbeaufschlagung widerstanden.

Aufgrund der höheren Temperaturbeständigkeit und der bei gleicher Tragfähigkeit geringeren erforderlichen Anzahl Textillagen gegenüber AR-Glas wurden die finalen Demonstratorelemente mit einer Carbonbewehrung hergestellt. Abschließend wurde ein Deckenausschnitt einschließlich brandschutzversiegelter Fugen noch im Brandversuch unter ETK-Belastung geprüft. Der Probekörper hielt der Brandbeanspruchung über 90 min stand.

Durch einen iterativen Optimierungsprozess zur Betonauswahl ist es gelungen, die statischen und bauphysikalischen Anforderungen des Bauelementes optimal aufeinander abzustimmen.



Betonieren des
haufwerksporigen
Leichtbetons
*Concreting of
lightweight concrete
Photo: Anett Brückner*

Lightweight Components for Fire Protection and Soundproofing

Additional soundproofing may improve the quality of use of buildings and rooms significantly. In the framework of a research project, a self-supporting suspended ceiling system made of an incombustible mineral composite material was developed. A thin textile reinforced concrete layer takes on the load bearing function. The structural functions are fulfilled by a layer of highly porous lightweight concrete which has been applied inside the room. Casting both layers wet-on-wet results in a lightweight composite material of high dimensional stability and shear stiffness. The vaulted elements of the suspended ceiling can be used as space-enclosing components in numerous fields. They combine the required safety-related and comfort-oriented aspects with a high flexibility of architectural design options.

Fire tests were conducted to determine which lightweight aggregate has the highest resist-

Titel | Title

Räumlich geformte, hitzebeständige sowie schalldämmende Leichtbauelemente aus textilbewehrten mineralischen Baustoffen (Multiaxiale Baustoffverbunde) | Spatially Shaped, Heat-Resistant and Soundproofing Lightweight Components Made of Textile Reinforced Mineral Composites (Multiaxial Composite Materials)

Förderer | Funding

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Zeitraum | Period

09.2009 – 10.2012

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Anett Brückner, Dr.-Ing. Regine Ortlepp | Dr.-Ing. Jan Hausding

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Anett Brückner, Dr.-Ing. Regine Ortlepp, Dipl.-Ing. Daniel Ehlig (Institut für Massivbau) | Dipl.-Ing. Thomas Engler (Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik) | Dr.-Ing. Marko Butler (Institut für Baustoffe)

Projektpartner | Project Partner

Betonwerk Oschatz GmbH, Oschatz | Dr. Günther Kast GmbH & Co, Sonthofen | DuraPact GmbH, Haan | GOLDBECK GmbH, Bielefeld | Hering Bau GmbH & Co. KG, Burbach | HKO Isolier- und Textiltechnik GmbH, Oberhausen | KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH, Chemnitz | m-pore GmbH, Dresden | European Owens Corning Fibreglas SPRL, Brussels | planzwo GmbH, Hamburg | TORKRET AG, Essen | Zwick GmbH & Co. KG, Ulm | P-D Glasseiden GmbH, Oschatz



Fertige Deckenelemente (Fotomontage)

Finished ceiling elements (Photomontage)

ance in case of fire. The exposure to fire was based on the standardized uniform temperature time curve according to which the components are usually classified. The tests of small pieces showed clear differences between the examined aggregates. Lightweight aggregates such as expanded glass proved to be particularly effective with regard to thermal insulation and, consequently, protection of the load carrying textile reinforced concrete layer against extreme temperatures. Tests on textile reinforcement structures with regard to the influence of the temperature on the load carrying capacity revealed no significant differences. Furthermore, it was remarkable that all of the tested components resisted the temperature loading.

In comparison, TRC elements made with carbon textiles displayed a higher thermal stability than elements with AR-glass. In addition, a smaller number of carbon textile layers was required to achieve the same load carrying capacity like TRC with AR-glass textile. Consequently, the final demonstrating elements were designed with carbon reinforcement. Eventually, a section of the ceiling including joints, which were sealed so as to be fire proof, was tested regarding its resistance against fire. This fire test was based on the uniform temperature time curve. The sample resisted the fire for more than 90 minutes.

By means of an iterative optimization process in the concrete selection, it was possible to match the requirements of the component regarding statics and structural physics optimally.

Basaltfasern – eine Alternative für Textilbeton?

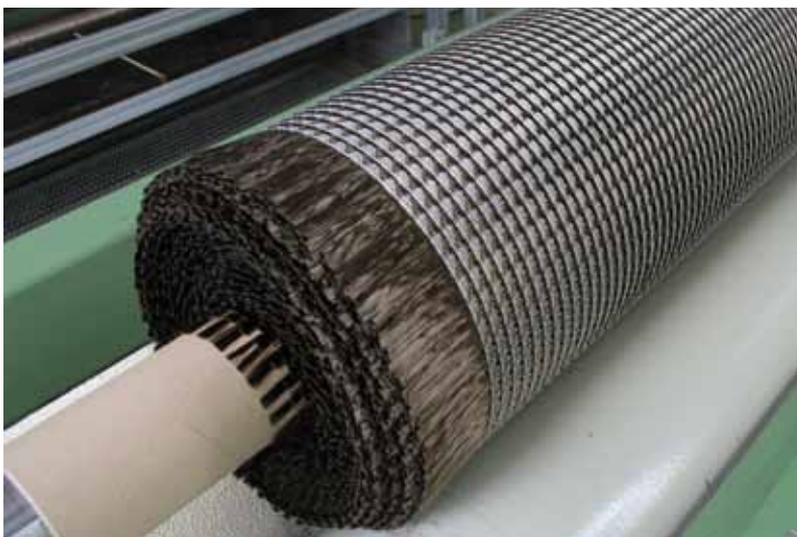
Bisher wurden verschiedene Hochleistungsfasern in Kombination mit Beton für den Einsatz für tragende Betonbauteile erforscht. Hochfeste Carbontextilien stehen momentan kurz vor der Markteinführung, sind aber derzeit noch relativ preisintensiv. Alkaliresistentes Glas, mit dem ebenfalls schon vielversprechende Ergebnisse erzielt worden sind, stößt sowohl unter Kosten- als auch unter Eigenschaftsaspekten in der Bauindustrie auf Vorbehalte, z. B. hinsichtlich der Dauerhaftigkeit im Beton und der Temperaturbeständigkeit, was beim baulichen Brandschutz relevant ist.

Bereits seit längerem wird deshalb immer wieder der Einsatz von Basaltfasern in Betracht gezogen. Diese weisen mit 500 °C eine ähnliche Temperaturbeständigkeit wie Carbonfasern auf. Der Einsatz der Basaltfasern scheiterte bisher jedoch an der unzureichenden bzw. schwankenden Qualität und Alkaliresistenz der Fasern, aber auch an deren eingeschränkter Verfügbarkeit.

Die Entwicklung industrietauglicherer Herstellprozesse für Basaltfasern bewirkte aber mittlerweile, dass nun Basaltfasern potenziell in sehr großen Mengen zur Verfügung stehen. Im Vergleich zu AR-Glas sind sie ca. 20 – 40 % preiswerter und

gleichzeitig um etwa 15 % zugfester. Fragen zur industriellen Verarbeitbarkeit und Beschichtung, zum Widerstand im Brandfall sowie zur Dauerhaftigkeit und zum Verbundverhalten bei Kombination mit Beton sind jedoch weitgehend ungeklärt. Deshalb ist das primäre Ziel dieses Forschungsvorhabens die Entwicklung und Bereitstellung hochtemperaturbeständiger Basaltbewehrungen zur nachträglichen Verstärkung vorhandener Bausubstanz mit Fokus auf eine anforderungsgerechte und applikationsorientierte Ausbildung der Textilien und deren Beschichtung unter Beachtung der Anforderungen an Dauerhaftigkeit und Brandschutz.

Stationäre und instationäre Dehnkörperversuche bei Temperaturen bis 600 °C sollen Erkenntnisse zur Tragfähigkeit und zum Spannungs-Dehnungsverhalten liefern. Pull-Out-Tests unter Temperaturbelastung dienen der Bestimmung von Verbundkennwerten zwischen Filamentgarn und Feinbetonmatrix und geben Aufschlüsse über erforderliche Verankerungs- und Übergreifungslängen. Durch thermogravimetrische Analysen und Warmkriechversuche an der textilen Bewehrung sollen zudem Aussagen über den Masseverlust und das Verformungsverhalten gewonnen werden. Großformatige Bauteilversuche mit Beflammung bilden den Projektabschluss.



Textile Strukturen
aus Basaltfasern
*Textile structures
consisting of basalt fibres*

Basalt Fibres – an Alternative for Textile Reinforced Concrete?

Until now different high performance fibres in combination with concrete have been examined for bearing concrete components. High-tensile carbon fibres will be implemented into the market shortly but are still quite expensive. Although promising results have been obtained with alkali resistant glass, it suffers from reservation in the construction industry concerning its costs and characteristics e.g. regarding its durability in the concrete and the temperature resistance being relevant in terms of constructional fire protection.

For a long time basalt has therefore been repeatedly considered. With 500 °C it has a comparable temperature resistance to carbon fibres. Nevertheless its practical use has failed until now owing to the insufficient or rather varying quality, alkali resistance of the fibres and its limited availability.

The development of industrial-suited production processes for basalt fibres though has made it available in potentially large amounts. Compared to AR-glass they are around 20-40 % less expensive and at the same time about 15 % more tensile. Questions concerning the industrial availability and coating, the resistance in case of fire as well as its durability and the composite behaviour in combination with concrete are yet to be examined. Thus the first aim of this research project is the develop-



Probekörper nach Zugversuch bei Temperaturen bis 500 °C

Specimens after tensile test under temperatures up to 500 °C

ment and providing of high temperature resistant basalt reinforcements for the subsequent strengthening of existing building substances with focus on precisely adjusted and application-orientatedly formed textiles and their coating under consideration of durability and fire protection.

Stationary and transient strain specimen tests at temperatures of up to 600 °C are supposed to provide insights regarding load-bearing capacity and the strain-stress behaviour. Pull-out tests under temperature load can determine the composite parameters between filament yarn and fine-concrete matrix and give information about required anchorage and lap lengths. Thermo-gravimetric analyses and warm creep tests at the textile reinforcement are supposed to provide evidence concerning the loss of mass in relation to the temperature as well as the transformation temperature. Large-scale component tests with flame impingement will complete the project.

Titel | Title

Entwicklung hochtemperaturbeständiger gitterartiger Basalttextilien zur Verstärkung mineralischer Matrices | Development of a Fire-Resistant Latticed Basalt Textile for Strengthening of Mineral Matrices

Förderer | Funding

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Zeitraum | Period

07.2011 – 12.2013

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Frank Schladitz

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

Projektpartner | Project Partner

TU Dresden, Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik | TU Dresden, Institut für Baustoffe

Leichte Bauteile – leicht hergestellt

Durch den Einsatz von textilbewehrtem Beton können sehr leichte, gegen Korrosion unanfällige und hoch tragfähige Betonkonstruktion hergestellt werden. In Folge der freien Formbarkeit des aus textilen Hochleistungsbewehrungen und hochfesten Betonmatrixen bestehenden innovativen Verbundbaustoffes ist ein Einsatz auch für sehr dünne und mehrfach gekrümmte Oberflächen problemlos möglich.

Die Herstellung der Textilbetonbauteile erfolgte bisher im Regelfall mit Hilfe händischer Verfahren, was für Einzelstücke und geringe Stückzahlen prinzipiell praktikabel, gerade bei einer Massenproduktion aber nachteilig ist. Zur wirtschaftlichen, baustellennahen und einfachen Fertigung wurde daher im Rahmen des Projektes eine teilmechanisierte Herstellungstechnologie entwickelt. Diese flexible Technologie einschließlich der Maschinen- und Gerätetechnik ermöglicht nun die hochqualitative und reproduzierbare Produktion dünnwandiger ebener oder zweidimensional gekrümmter Bauteile aus Textilbeton in verschiedenen Abmessungen und – je nach Anforderung – auch mit gegliederten Oberflächen.

Begleitend zur Entwicklung des mechanisierten Herstellverfahrens wurden am Institut für Massivbau umfassende Untersuchungen zu Planung, Konstruktion und Bemessung der gefertigten textilbewehrten Betonbauteile durchgeführt.

Aufbauend auf die Erstellung von beanspruchungs- und bauteilabhängigen Anforderungsprofilen konnte eine zielgerichtete Auswahl und Abstimmung der Ausgangsmaterialien erreicht werden. In Laborexperimenten wurden die mechanischen Kennwerte des Verbundbaustoffes bestimmt und daraus die Bemessungskennwerte ermittelt. Diese Werte erlauben nun in Verbindung mit den erarbeiteten Vorgaben und Empfehlungen die Planung, Konstruktion und Bemessung von teilmechanisiert gefertigten textilbewehrten Bauteilen.

Zum Nachweis der Eignung der neu entwickelten Technologie wurden Belastungsversuche an den Musterelementen durchgeführt. In diesen Tests konnte eine hohe Tragfähigkeit nachgewiesen werden. In Simulationen des Bauteilverhaltens mittels der Finite-Elemente-Methode konnten die durchgeführten Experimente abgebildet werden. Zum Abschluss des Projektes wurde ein Prüfkonzept für die Qualitätsüberwachung der Elementherstellung erarbeitet.



Textilbewehrte rechteckförmige Doppelwelle für den Einsatz im Innenbereich

Rectangular double wave for indoor use made of TRC

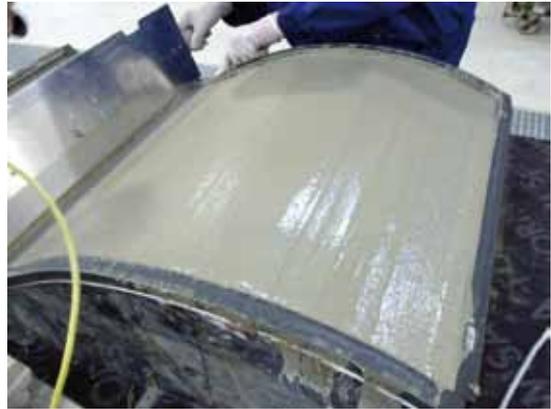
Source:

EBF Dresden GmbH

Lightweight Elements – Easily Produced

The use of textile reinforced concrete (TRC) enables the production of concrete structures which are lightweight, resistant to corrosion and which can carry heavy loads. Due to the free formability of this innovative composite material, consisting of flexible, high performance textile reinforcements and high strength concrete matrices, it can even be used for surfaces which are very thin and curved without problems.

So far TRC elements have generally been produced manually. While this is practicable for individual pieces or for production of a small number of items, it is disadvantageous for mass production. Consequently, a partially mechanized production process was developed in the framework of the project. This permits the easier and more economical manufacturing of the elements in a place which is directly on the construction side. With the help of this flexible technology and the relevant machines and tools, textile reinforced concrete elements can be reproduced on a high qualitative level. The manufactured elements are thin walled, they can be produced in different dimensions, plane or two-dimensionally curved. Furthermore, depending on the requirements the surface can be structured.



Teilmechanisierte Herstellung eines gekrümmten Textilbetonelementes
Partially mechanized production of a curved TRC element
Source: EBF Dresden GmbH

Parallel to the development of the mechanized manufacturing process, extensive research regarding the planning, construction and design of the produced textile reinforced elements was conducted at our Institute of Concrete Structures. Having created requirement profiles based on possible applications and components, the starting materials could be chosen and matched to meet the required outcome. The mechanical parameters of the composite material were determined in laboratory experiments and, subsequently, used to define the design characteristics. These parameters in combination with the developed requirements and recommendations permit the planning, construction and design of textile reinforced concrete components which have been produced partially mechanized.

Sample specimens were tested in load tests to prove the suitability of the newly developed technology. These tests proved a high load bearing capacity. Simulations of the components' behaviour by means of the finite element method (FEM) confirmed the conducted tests. The project was successfully completed with the development of an investigation plan for the quality control regarding the components' production.

Titel | Title

Entwicklung einer flexiblen mechanisierten Technologie und deren Anlagentechnik zur Herstellung textilbewehrter flächenhafter Betonbauteile mit integrierten Befestigungselementen | *Development of a Flexible Mechanized Technology and the Corresponding Plant Equipment for the Production of TRC Components with Integrated Fasteners*

Förderer | Funding

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Zeitraum | Period

07.2010 – 05.2012

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Regine Ortlepp, Dr.-Ing. Frank Jesse

Bearbeiter | Contributors

Enrico Lorenz M.Sc., Dr.-Ing. Frank Schladitz, Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

Projektpartner | Project Partner

bendl HTS GmbH & Co. KG, Sebnitz | Helmut Lindt GmbH, Frankfurt am Main | EBF Dresden GmbH, Dresden | Technische Universität Dresden, Institut für Baustoffe | „texton“ (Projektkoordinierung)

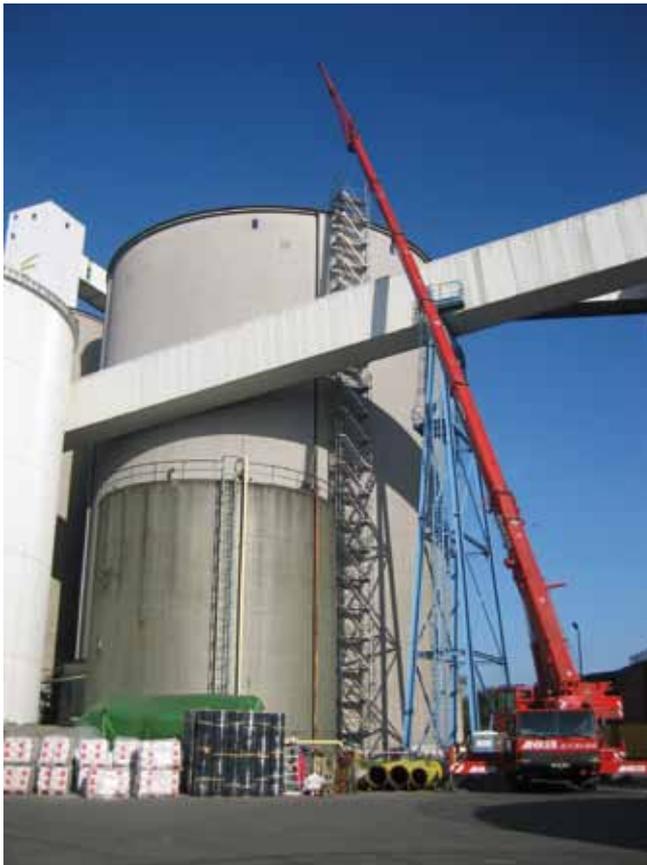
Zucker ohne Sand

Zucker zum Süßen von Tee oder Gebäck kennt jeder – Sand hingegen sollte weder im Tee noch im Kuchen eine Rolle spielen. Das ist eigentlich eine Selbstverständlichkeit und war bei einem Praxisprojekt 2012 aber dennoch die relevante Fragestellung.

Zucker wird nach der Herstellung bis zur Weiterverarbeitung oder bis zum Abfüllen in handelsübliche Packungen in großen Silos, den so genannten Zuckersilos, gelagert. Diese Silos sind meist aus Stahl- bzw. Spannbeton erbaut. Um sicherzustellen, dass Zucker und Beton nicht zusammentreffen, werden die Silos auf der Innenseite beschichtet. Diese Beschichtungen erfüllen jedoch nur dann zuverlässig ihre Funktion,

wenn die Risse im Beton klein bleiben. In vielen älteren Silos ist das jedoch nicht der Fall. Die vorhandenen Risse werden durch das Befüllen und Entleeren der Silos regelmäßig veränderlichen Belastungen ausgesetzt. Dabei werden die Risse immer weiter ausgespült und es kommt zu Abplatzungen des Betons. Das Ergebnis ist Sand im Zucker.

Auch bei einem 1962 erbauten Doppelkammersilo für 20.000 t Zucker waren derartige Risse festzustellen. Bisher hieß die Lösung Sanierung durch Aufbringen einer mindestens 10 bis 15 cm dicken Schicht aus Stahlbeton. Für diese bisher etablierte aber sehr aufwendige und volumenreduzierende Variante wurde eine Alternative gesucht und in der Textilbetonverstärkung gefunden.



Außenansicht des textilbetonverstärkten Zuckersilos
Exterior view of the sugar silo strengthened by TRC
Photo: Silvio Weiland / Torkret Substanzbau AG

Die Aufgabe des Instituts bestand in der fachlichen Beratung, der Begutachtung der Verstärkungsmaßnahme vor Baubeginn, der Qualitätsüberwachung der eingesetzten Materialien und der Bauüberwachung. Nach der Bauwerksanalyse erfolgte die Planung der Verstärkung. Die Bauausführung begann mit dem Verpressen der Risse bei Rissbreiten über 0,3 mm und dem Aufrauen der ca. 3.500 m² großen Betonoberfläche. Anschließend wurde eine vierlagige Textilbetonschicht aufgetragen, welche abschließend beschichtet wurde. Die Textilbetonschicht überbrückt die vorhandenen Risse und trägt zur Rissverteilung bei. Dadurch werden die Breiten der Risse, die sich durch die wechselnde Belastung auch in der Textilbetonschicht einstellen werden, deutlich reduziert, so dass die Beschichtung zukünftig nicht beschädigt wird und die Gebrauchstauglichkeit also wieder hergestellt ist. Durch mehrmaliges Befüllen und Entleeren des Silos soll auch die Dauerhaftigkeit einer Textilbetonverstärkung im Bereich von Zuckersilos nachgewiesen werden, bevor die Textilbetonverstärkung als Vorzugsvariante bei der Sanierung zahlreicher weiterer Silos zur Anwendung kommen soll.

Sugar Without Sand

Everyone knows sugar as a means to sweeten tea or biscuits – sand, however, should not play a role in neither tea nor cake. Normally, this is the fact without saying. Nonetheless, it was the main question in one of the projects in 2012.

After the production process, sugar is stored in so-called sugar silos until further processing or until the sugar is bagged into customary packages. These silos are usually made of reinforced or pre-stressed concrete. They are coated on the inside to guarantee that sugar and concrete do not come into contact. However, these coatings only fulfil their function properly as long as cracks in the concrete remain small. Yet, this is not the case for many older silos. The existing cracks are regularly exposed to variable loads due to the filling and emptying of the silos. As a result, the cracks are being washed out and cause spalling of the concrete. This, in turn, may lead to sand in the sugar.

Such cracks also occurred in a twin compartment silo which dates back to 1962 and can contain 20,000 t of sugar. So far, this problem was solved by applying a reinforced concrete layer of at least 10 to 15 cm thickness. While being well established, this method is very expensive and leads to a reduced storage capacity. As a result, an alternative was searched for and found in textile reinforced concrete (TRC) strengthenings.



Aufbringen der rissbreitenbeschränkenden Textilbetonverstärkung
Application of crack width-reducing TRC strengthenings
Photo: Silvio Weiland / Torkret Substanzbau AG

It was the task of the institute to survey the strengthening measures in advance of the construction works, offer expert advice, quality control of the used materials and the construction supervision. Following the building analysis, the strengthening was designed. The construction process was started with grouting the cracks whose width exceeded 0.3 mm and roughening the concrete surface (approximately 3,500 m²). Then, a textile reinforced concrete cover consisting of four layers was applied and, subsequently, coated. The textile reinforced concrete cover bridges the existing cracks and contributes to crack distribution. As a result, the width of the cracks, which will nonetheless develop in the textile reinforced concrete layer due to the changing load, will be reduced to a significant degree. Consequently, the coating will not be damaged in the future and, thus, the serviceability can be restored. In the next step, the durability of textile reinforced concrete strengthenings in the field of application of sugar silos shall be proven by repeated filling and emptying of the silo. Once this has been successfully completed, textile reinforced concrete strengthenings shall become the preferred option for the redevelopment of a number of other silos.

Titel | Title

Anwendung von Textilbeton bei der Rissinstandsetzung eines Silobehälters | Application of Textile Reinforced Concrete for the Crack Repair of a Silo

Förderer | Funding

Torkret Substanzbau AG

Zeitraum | Period

05.2012 – 10.2012

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze, Enrico Lorenz M.Sc.

Das Textil will gehalten werden

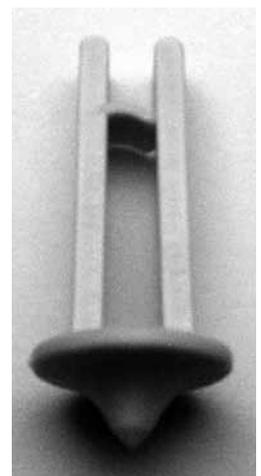
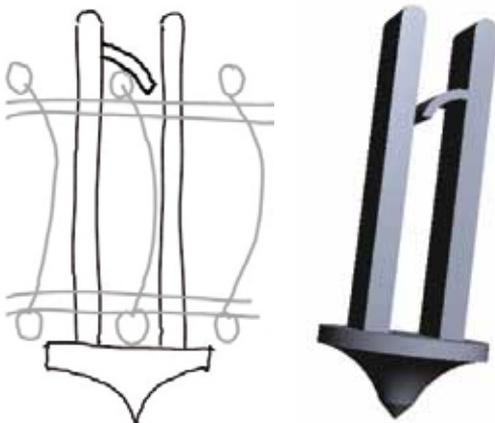
Textilbeton kann im Wesentlichen mit zwei Verfahren hergestellt werden: dem Sprüh- bzw. Laminierverfahren sowie dem Gießverfahren. Für die Verstärkung hat sich das Sprüh- oder Laminierverfahren bewährt. Bei diesem Verfahren werden Beton und textile Bewehrung schichtweise im Wechsel aufgebracht, bis die gewünschte Bewehrungsmenge und Bauteilform erreicht ist.

Für neue Bauteile oder Fertigteile wäre jedoch das im Stahlbetonbau bereits etablierte Gießverfahren die wesentlich wirtschaftliche Alternative. Bei diesem Verfahren wird die Bewehrung in einer Schalung angeordnet und die Schalung nachträglich mit Beton gefüllt. Dazu muss die Bewehrung in der Schalung fixiert bzw. gehalten werden, so dass ein definierter Abstand zur Schalung – der späteren Bauteilaußenkante – und der Bewehrungen untereinander sichergestellt werden kann. Im Stahlbetonbau wird dies durch Abstandhalter erreicht.

Aus konstruktiven Gründen können die Abstandhalter des Stahlbetons jedoch nicht für den Textilbeton genutzt werden. Im Stahlbetonbau sind Betondeckungen von 20 – 50 mm und Stabdurchmesser von 8 – 32 mm üblich. Im Textilbetonbau betragen die Betondeckung ca. 2 – 5 mm und die Garndurchmesser lediglich ca. 1 mm. Deshalb ist es notwendig, ein neues Abstandhaltersystem zu entwickeln. Dieses Abstandhaltersystem sollte:

- ❑ die erforderlichen Abstände sowohl bei 2D- als auch bei 3D-Textilien realisieren,
- ❑ auf Baustellen sowie in Fertigteilwerken handhabbar sein,
- ❑ gegenüber äußeren Einflüssen, beispielsweise Temperatur oder Feuchtigkeit, beständig sein,
- ❑ mit der textilen Bewehrung, deren Beschichtung und dem Beton verträglich sein,
- ❑ die Tragfähigkeit des Textilbetons nicht beeinflussen und
- ❑ mit üblichen Herstellverfahren produzierbar sein.

Erste Erfahrungen mit Abstandhaltern für zweidimensionale textile Bewehrungen wurden beim Bau eines Textilbetongebäudes auf dem Gelände der Firma beweka Betonwerk Kahla GmbH gesammelt. Parallel dazu wurden ein Abstandhaltersystem für zwei- und dreidimensionale textile Bewehrungen entwickelt und mehrere Systemvarianten zum Patent angemeldet. Daraufhin erfolgte die Herstellung mehrerer Prototypen, mit denen bereits gezeigt werden konnte, dass das System prinzipiell funktioniert. Im Moment erfolgt im Rahmen eines Forschungsprojektes zusammen mit der Firma KDS Radeberger Präzisions-Formen- und Werkzeugbau GmbH die Herstellung, Optimierung und intensive Prüfung der einzelnen Komponenten des Systems. So kann in Zukunft auch das Textil gehalten werden.



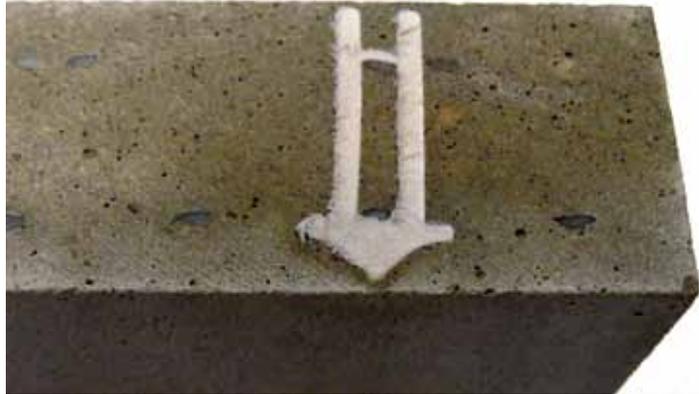
Abstandhalter: Der Weg von der Idee zum Produkt
Spacer: from the idea to the product

The Textile Wants to be Held

Textile reinforced concrete can be produced mainly in two procedures: the spraying or rather laminating method and the casting method. For strengthening of older structures the first one has proven itself. Concrete and textile reinforcement are being applied alternately in layers until the desired reinforcement amount and component form is reached.

For new components or prefabricated parts the in common reinforced concrete already established casting method would be the much more economical alternative. At this procedure the reinforcement is being aligned in a mould subsequently filled with concrete. Therefor the textile has to be fixed or held in the mould so as to ensure a defined clearance to the mould – the later outer edge of the component – and between the reinforcements. Within the field of reinforced concrete construction this is achieved by spacers.

Due to constructive reasons these spacers cannot be used for textile reinforced concrete. Reinforced concrete covers are around 20-50 mm and the bar diameters 8-32 mm. TRC though requires concrete covers of only around 2-5 mm and has yarn diameters of around 1 mm. Therefor it is necessary to develop a new spacer system which should:



Prototyp für einen Abstandhalter für ein 3D-Textil
Prototype for a spacer for a 3D textile

- ❑ realise the needed spacings both between 2D and 3D textiles,
- ❑ be manageable at construction sites as well as pre-cast factories,
- ❑ be resistant to outer impacts such as for example temperature or humidity,
- ❑ be compatible to the textile concrete, its coating and the concrete,
- ❑ not influence the load-bearing capacity of the textile concrete and
- ❑ be producible with common production methods.

Titel | Title

Entwicklung und Erprobung eines Abstandhaltersystems für textile Bewehrungen in Beton | *Development and Testing of a Spacer System for Textile Reinforcements in Concrete*

Förderer | Funding

BMW i

Zeitraum | Period

10.2012 – 03.2014

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Frank Schladitz

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

Projektpartner | Project Partner

Radeberger Präzisions-Formen- und Werkzeugbau GmbH, Großröhrsdorf | beweka Betonwerk Kahla GmbH, Kahla

First experiences with spacers for two dimensional textile reinforcements were made while constructing the textile concrete building on the premises of the company beweka Betonwerk Kahla GmbH. Parallel a spacer system for two- and three-dimensional textile reinforcements was developed and several system variations registered for a patent. Following this a number of prototypes were produced able to show that the system works in principle. At the moment the single components of the system are being produced, optimized and checked thoroughly within a research project in cooperation with the company Radeberger Präzisions-Formen- und Werkzeugbau GmbH. Thus the textile can be held also in the future.

Schubversagen besser sehen, hören und fühlen

Ältere Stahl- oder Spannbetonkonstruktionen besitzen oft zu wenig Bewehrung, um die rechnerischen Anforderungen der heutigen Normen zu erfüllen. Da aber nicht all diese Tragwerke einfach abgerissen und durch Neubauten ersetzt werden können, sind Bauingenieure gefragt, versteckte und rechnerisch nicht berücksichtigte Tragreserven aufzuspüren und zu nutzen.

Eine sehr effiziente Möglichkeit, diese Tragreserven zu bestimmen, ist die experimentelle Untersuchung der Bauwerke. Dabei wird die zu untersuchende Konstruktion gezielt und selbstsichernd mit hydraulischen Pressen beansprucht und die Bauteilreaktion gemessen. Eine Schädigung des Bauteils während der Untersuchung ist dabei auszuschließen, d. h. der Schädigungsbeginn muss sicher detektiert werden können. Dies ist bisher nicht für alle möglichen Versagensformen von Stahlbetonkonstruktionen sicher möglich, da die üblicherweise verwendeten globalen Verformungsmessungen eine Vorankündigung des Versagens nicht immer sicher zeigen. Relativ gutmütig sind Biegebeanspruchungen, da hier große Durchbiegungen und/oder Rissbildung dem Beobachter ein nahes Versagen ankündigen können. Sehr kritisch hingegen sind eher spröde

Versagensformen wie z. B. das Druckversagen bei unbewehrten Querschnitten oder – und dies ist oftmals besonders kritisch – ein Versagen wegen eines nicht ausreichenden Querkraftwiderstandes.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wird deshalb versucht, mit Hilfe verschiedener moderner Messverfahren die Informationen über den Tragwerkszustand in Echtzeit zu verbessern. Die parallel angewendeten Messverfahren der Photogrammetrie, der Schallemissionsanalyse und der bereichsweisen Verformungsmessung mit Neigungssensoren verstärken die menschlichen Sinne Sehen, Hören und Fühlen und erlauben so eine frühzeitige Erkennung der beginnenden Schädigung bei Schubversuchen an Stahlbetonbauteilen ohne Bügelbewehrung. Die Kombination der verschiedenen Messergebnisse verbessert die Qualität der Ergebnisse deutlich und ermöglicht die exakte Beschreibung des Tragwerkszustandes.

In ersten Testversuchen wurde die Onlinefähigkeit der photogrammetrischen Auswertung bereits erfolgreich erprobt und soll in den nächsten Schritten auch bei großen Versuchskörpern eingesetzt werden.



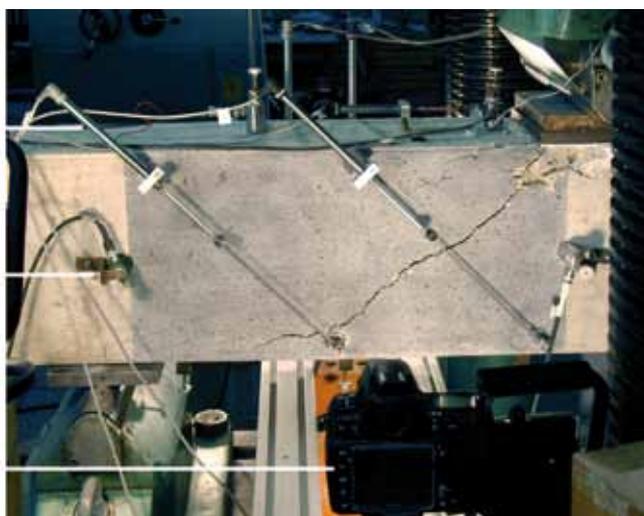
Fühlen



Hören



Sehen



Verstärkung der menschlichen Wahrnehmung

Enhance human senses

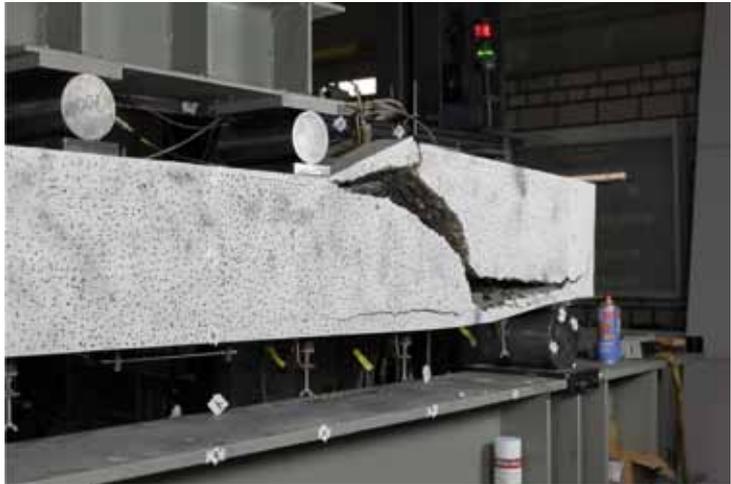
Photos: S. Scheerer (3) G. Schacht (1),

Seeing, Hearing and Feeling Shear Failure Better

Older steel reinforced or pre-stressed concrete structures often have too less reinforcement to full-fill the theoretical requirements of the actual standards. But, because we can't demolish all of such constructions and replace them by new ones, civil engineers are asked to find and use hidden reserves which have not been taken into account in the calculation.

A real efficient method to identify these load bearing reserves is the experimental investigation of structure. Thereby the investigated structure is self-locking put under hydraulic pressure and the reactions are measured. Because an irreversible damage of the structures has to be avoided, the beginning of the damaging process securely has to be detected. By now, this is not securely possible for all known failure modes of reinforced concrete structures, because the usually used global deformation measurements don't show clear signs of a prior failure in some cases, e.g. shear failure near an abutment.

Relatively good-natured are bending stresses, because big deformations and/or extensive crack-



Plötzliches Versagen eines Stahlbetonbalkens
Brittle failure of a reinforced concrete beam und shear

ing announce an upcoming failure clearly. On the other hand there are non-ductile failure types, like the compression failure of over-reinforced cross sections or – and this is often even more critical – a failure in case of a not sufficient shear resistance, which are very critical.

In this research project we therefore aim to improve the information about the structural condition in real-time with the help of modern measuring techniques. The parallel applied measuring techniques of the photogrammetry, the acoustic emission analysis and the partly deformation measurements with inclination sensors intensify the human senses seeing, hearing and feeling and therewith allow an early detection of the developing damage process in case of a probable shear failure of reinforced concrete beams with shear reinforcement. The combination of the different measuring techniques improves the quality of the results significantly and enables the exact description of the condition of the structure.

In first laboratory tests the online-ability of the photogrammetric evaluation was successfully tested. In the next steps this technique shall be used for large experiments.

Titel | Title

Versuchsgrenzlastindikatoren bei Belastungsversuchen | *Criteria for the Determination of the Ultimate Load During a Loading Test*

Förderer | Funding

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im BBR

Zeitraum | Period

12.2011 – 12.2013

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Gregor Schacht

Projektpartner | Project Partner

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx (Universität Hannover) |
Prof. Dr.-Ing. Guido Bolle (Hochschule Wismar)

Textilbeton – alternative Verstärkung bei zyklischer Beanspruchung?

In einer Machbarkeitsstudie wurden zehn großformatige Plattenbalken bezüglich ihrer Querkrafttragfähigkeit unter vorwiegend ruhender und nicht vorwiegend ruhender Belastung geprüft. Ziel war es herauszufinden, inwiefern sich eine zyklische Beanspruchung auf die Tragfähigkeit des Stahlbetonbalkens, einer Textilbetonverstärkungsschicht oder den Verbund zwischen Altbauteil und Verstärkung auswirkt. Dazu wurde eine Schwellbelastung mit zwei Mio. Lastwechseln aufgebracht. Der Dauerlastanteil betrug 80 %, die Schwingbreite 30 % des Gebrauchslastniveaus.

Alle zyklisch beanspruchten Bauteile überstanden die vorgesehenen zwei Millionen Lastwechsel. Während der Schwellbelastung wurde das Rissbild auf den Stegseitenflächen regelmäßig auf Veränderungen geprüft und fotografisch dokumentiert. Während der Beanspruchung entstand ein feiner Riss zwischen dem oberen Stegbereich und der Unterseite der Platte, welcher sich gegen Ende der Prüfung zum zum Versagen führenden Schubriss ausbildete.

Durch die textile Verstärkung sowie den höheren Bewehrungsgrad der Plattenbalken konnte die Dehnsteifigkeit des Steges gesteigert werden, was zu einer höheren Querkrafttragfähigkeit

führte. Bei der Prüfung der Resttragfähigkeit erreichten die vorher zyklisch beanspruchten Bauteile sogar höhere Tragfähigkeiten als die statisch geprüfte Referenz, was nach derzeitigem Kenntnisstand an der höheren Betonfestigkeit zum Zeitpunkt der Prüfung lag. Das Versagen zeigte sich durch einen deutlich sichtbaren Schubriss. Die Mittendurchbiegungen waren zum Zeitpunkt des Versagens bei allen Probekörpern unabhängig von der vorangegangenen Belastung in etwa gleich groß. Auch die Schwellbelastung wirkte sich offenbar nicht negativ aus.

Die Versagenslasten aus den Tests wurden anschließend mit berechneten Werten verglichen. Für die Prognosen wurde ein erweitertes Fachwerkmodell ähnlich dem der Stahlbügelbewehrung angesetzt. Alle Versuchswerte wurden im Modell unterschätzt, wobei zwischen Rechnung und Prüfung offenbar eine systematische Abweichung vorliegt. Diese Differenz ist für alle Balken nahezu gleich. Es wurde gezeigt, dass die Traglaststeigerung, die die Textilbetonschicht bewirkt, sehr gut idealisiert wird. Die Abweichungen sind wahrscheinlich eher auf eine unberücksichtigte Tragwirkung zurückzuführen, die mit den üblichen, auf parallelgurtigen Fachwerken beruhenden Modellen nicht erfasst wird.



Großformatiger Plattenbalken im Test
Large sized T-Beam during a load test

TRC – an Alternative Means of Strengthening under Cyclic Loading?

In a feasibility study, ten large scale T-beams were tested with regard to their shear resistance under exposure to static and cyclic loading. It was the aim to determine the influence of cyclic loading on the load carrying capacity of reinforced concrete beam, on a strengthening layer made of textile reinforced concrete and on the bond between old structural member and strengthening. Toward this aim, threshold stress with two million load cycles was introduced. The sustained load quota amounts to 80 %, the working stroke 30 % of the service load.



Schadensbild nach dem Versagen
Damage pattern after failure

All of the cyclic loaded components resisted the scheduled two million load cycles. While the threshold stress was introduced, the crack pattern was regularly checked for changes and documented photographically. In the course of the load application, a fine crack, which eventually developed into the shear crack which led to failure, formed between the upper web area and the underside of the slab.

The textile strengthening as well as the higher degree of reinforcement of the T-beams helped to increase the strain stiffness of the web. This,

in turn, leads to a higher shear resistance. When the remaining load carrying capacity was tested at the end of the cyclic loading, the beams achieved even higher load carrying capacities than the reference T-beams tested under static loading. According to the current state of knowledge, this result was due to its higher concrete strength at the beginning of cyclic testing. Failure was indicated by a clearly visible shear crack. The centre deflection was approximately the same for all test samples independent of the load. Apparently, the threshold stress did not have a negative influence in the tests.

Titel | Title

Untersuchungen zur Querkraftverstärkung mit Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung | *Studies on Shear Strengthening with Textile Reinforced Concrete under noN Predominantly Static Loading*

Förderer | Funding

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)

Zeitraum | Period

02.2011 – 07.2012

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Anett Brückner, Dr.-Ing. Regine Ortlepp, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

The failure loads measured in the tests were afterwards compared with calculated values. The predictions were based on a modified truss model which is similar to that of the steel stirrup reinforcement. All of the tested load bearing capacities were underestimated by the model. However, the deviation between the calculation and the test seems to be systematic. It is almost identical for all beams. Thus, it could be shown that the increase of the load carrying capacity caused by the textile reinforced concrete layer was idealized quite accurately. The deviations probably can be put down to a load carrying property which cannot be captured by the usual models based on parallel chord trusses.

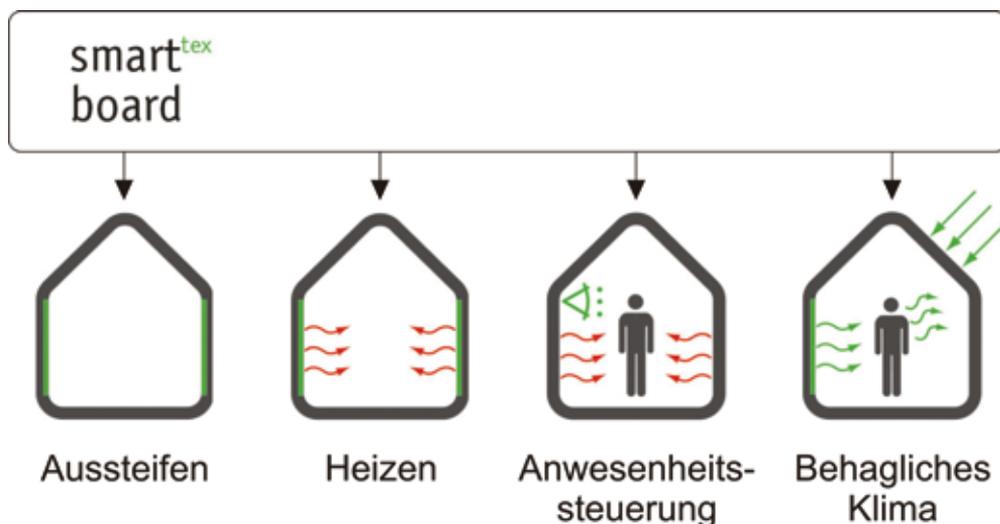
Beheizbarer Textilbeton

Aktuelle Problemstellungen im Bauwesen, wie der steigende Energieverbrauch und die damit verbundenen erhöhten Anforderungen an die Gebäudehülle, machen innovative Maßnahmen und die Erforschung neuer Konzepte zur Raumerwärmung erforderlich. Ein solches stellt die Anwendung von Strahlungsheizungen dar. Diese geben im Gegensatz zu konventionellen Heizkörpern die Wärme direkt durch Wärmestrahlung an den Menschen ab. Dadurch werden bereits geringe Raumtemperaturen als angenehm empfunden und es kann auch in wenig oder unbeheizten Räumen innerhalb kürzester Zeit ein komfortables Raumklima erreicht werden.

Um solch fortschrittliche Heizkonzepte mit modernen Bauweisen zu verbinden, bietet sich Textilbeton als innovativer Baustoff an. Textile Bewehrung kann mit unterschiedlichsten Faser-materialien ausgeführt werden. Carbon als eines davon besitzt neben ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften auch eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit. Das ermöglicht es, eine Textilbetonplatte zusätzlich zu ihrer tragenden Funktion als Strahlungsheizung zu verwenden, indem an das Carbongewebe eine Spannung angelegt wird. Durch den elektrischen Widerstand erwärmt sich das Carbon und damit das gesamte Bauteil. Das Gelege lässt sich innerhalb der Platte sehr genau

positionieren und benötigt nur eine geringe Betondeckung, so dass eine so konstruierte Strahlungsheizung trotz des thermisch trägen Betons kurze Reaktionszeiten hat. Damit ist sogar eine Anwesenheitssteuerung der Heizflächen denkbar. Gelingt dies, würde es genügen, einen Raum nur noch dann zu beheizen, wenn dies tatsächlich nötig ist, was zu einer Reduktion des Energieverbrauchs beiträgt. Kombiniert man solche Heizelemente beispielsweise mit sehr dünnen und hoch-effizienten Vakuumisulationspaneelen, entstehen Sandwichelemente. Diese bieten eine ähnliche Funktionalität wie Stahlbetonsandwichplatten bei insgesamt deutlich reduzierter Bauteildicke. Die Verwendung von beheizbaren Textilbetonplatten zur Aussteifung von Leichtbaukonstruktionen ist eine weitere Einsatzmöglichkeit.

Um diese Ziele zu erreichen, müssen Fragen in einem weiten Forschungsbereich gelöst werden. Neben den Untersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften unter wechselnden Temperaturen und zur Leitfähigkeit des Carbons ist eine elektrische Isolierung der unter Niederspannung stehenden Garne notwendig, um eine kriechstromfreie Platte zu erhalten. Aber auch Technologien zur Verschaltung der Textilbewehrung und zur Anwesenheitssteuerung müssen entwickelt und angepasst werden



Anforderungen an das Textilbetonelement
 Requirements for the TRC element Source: HTWK Leipzig

Heatable TRC

Current problems in the construction industry, such as the increase in energy consumption and the associated increased requirements for the building envelope, call for innovative measures and the exploration of new heating concepts. One of them is the application of radiant heaters. Unlike conventional heating devices they transfer heat directly to the human body through thermal radiation. That way already low room temperatures are found to be pleasant and a comfortable environment can be achieved in little or unheated rooms within a short period of time.

To combine such advanced heating concepts with state-of-the-art construction methods the application of the innovative building material TRC comes to mind. Textile reinforcement can be realized in a variety of fibre materials. Carbon as one of them does not only have excellent mechanical properties but is also a very good electrical conductor. This enables one to use a TRC slab not only in its load carrying function but also as radiator by applying voltage to the carbon fabric. The electrical resistance heats the carbon and thus the entire element. The textile can be positioned precisely within the slab and requires

only very little concrete cover, so that such a radiant heater does have short response times despite the thermally inert concrete. That makes even an occupancy controlled heating surface conceivable. If successful, it would be sufficient to heat a space only if this is actually necessary, which contributes to a reduction of energy consumption. Combining such heating elements for instance with very thin vacuum insulated panels leads to sandwich structures with a significantly reduced total thickness compared to ferroconcrete sandwich panels of similar functionality. Another potential application is the use of heated TRC panels for the bracing of lightweight constructions.

To achieve these objectives, problems in a wide field of research have to be solved. In addition to studies of the mechanical properties under varying temperatures and of the conductivity of carbon, an electrical insulation of the yarn under low voltage is necessary to obtain an element free of leakage current. Furthermore technologies for the interconnection of the textile reinforcement and for occupancy control need to be developed and adapted.

Titel | Title

Klimaneutrale Strahlungsheizung aus Textilbeton – Entwicklung von tragenden Textilbetonbauteilen mit adaptiven Heizstrukturen aus Kohlenstofffasern für klimaneutrale Gebäudeenergiekonzepte | *Climate Neutral Radiant Heater Made of TRC – Development of Load-Bearing Concrete Members with Adaptive Heating Structures Made of Carbon Fibres for Buildings with Climate Neutral Energy Strategy*

Förderer | Funding

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Zeitraum | Period

06.2012 – 05.2015

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze

Projektpartner | Project Partner

Qpoint GmbH, Dresden | SGB Steuertechnik GmbH, Leipzig | HFB Engineering GmbH, Leipzig | Variotec GmbH & Co. KG + IEM Forstner, Neumarkt i. d. OPf. | Architekturinstitut der HTWK Leipzig (AiL), FG energiedesign



Verschalteter Textilabschnitt
Interconnected textile section
Photo: Jennifer Krause

Textilbeton als Biegeverstärkung

Der Textilbeton wurde im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereiches 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ über einen Zeitraum von mehr als zwölf Jahren intensiv erforscht und weiterentwickelt. In Theorie und Experiment wurden die Tragmechanismen, aber auch Potential und Anwendungsgrenzen des neuartigen Baustoffs aufgezeigt.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung des Textilbetons in der Praxis ist aber eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ). Zusammen mit dem TUDALIT e.V. und der TU Dresden Aktiengesellschaft (TUDAG) wurde im September 2009 ein offizieller Antrag beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) eingereicht, um eine solche Zulassung zu erhalten. Innerhalb des Zulassungsverfahrens sind z. B. Nachweise über die Eignung und Zulässigkeit der vom Antragsteller vorgeschlagenen Eingangsgrößen, Materialkennwerte und Bemessungsverfahren zu erbringen. Es sind zahlreiche Zulassungsversuche durchzuführen, die dann in Modelle gefasst werden müssen, um das Verstärkungsverfahren praktisch umsetzen zu können.

Mit einem Teil der durchzuführenden Versuche

wird die Eignung von textilbewehrtem Beton zur Biegezugverstärkung von Stahlbetonbauteilen nachgewiesen. Dazu wurden bisher mehr als 30 Plattenstreifen mit Längen zwischen 3,30 und 7,30 m mit variierenden Plattendicken zwischen 12 und 30 cm hergestellt und verstärkt. Die Plattenstreifen unterschieden sich nicht nur in der Geometrie, sondern auch hinsichtlich des Stahl- und Textilbewehrungsgrades, der Betondeckung und der Stahldurchmesser. Die Auswahl der Plattenkonfigurationen erfolgte nach dem Prinzip der Grenzwertabdeckung, d. h. der Geltungsbereich der Zulassung wurde damit festgelegt.

Die Platten wurden in einem Betonwerk hergestellt und dort auch verstärkt. Die Vierpunktbiegeversuche bis zum Zugversagen der textilen Bewehrung fanden dann im Otto-Mohr-Laboratorium statt. Die Tragfähigkeit der Platten wurde parallel mit bereits im Rahmen des SFB 528 entwickelten und optimierten Rechenverfahren untersucht. Die Vergleiche zwischen theoretisch und praktisch ermittelten Bruchmomenten haben gezeigt, dass das vorgeschlagene Rechenverfahren für die Dimensionierung einer Biegeverstärkung mit Textilbeton bedenkenlos empfohlen werden kann.



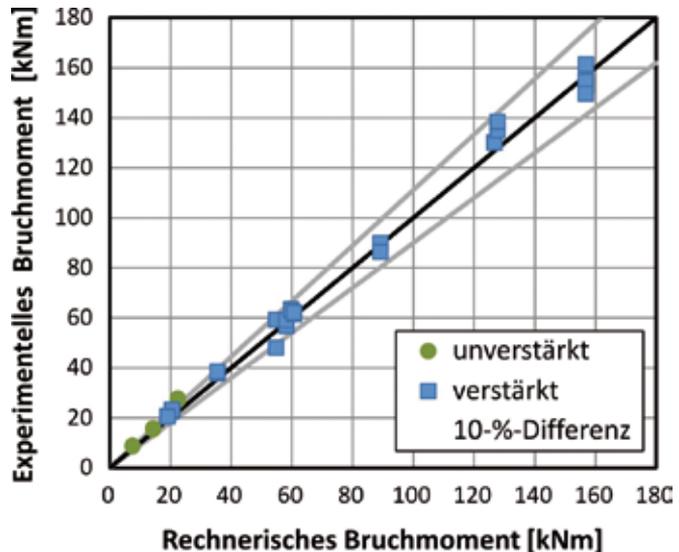
Textilbetonverstärkte Platte
Textile reinforced concrete slab

Flexural Strengthening with TRC

For more than twelve years, textile reinforced concrete (TRC) has been intensively researched and developed in the DFG collaborative research centre (CRC) 528 „Textile Reinforcements for Structural Strengthening and Repair“. The bearing mechanisms, potentials and limitations of use of this innovative material have been demonstrated in theory and practice.

However, a general building inspection approval is essential for the practical implementation of textile reinforced concrete. In cooperation with the TUDALIT e.V. and the TU Dresden Aktiengesellschaft (TUDAG), a formal application for such an approval was made to the German Institute for Civil Engineering (DIBt) in September 2009. It is part of the approval procedure to present for instance evidences for the suitability and admissibility of the input variables, material constants and design methods suggested by the applicant. Furthermore, numerous approval tests have to be carried out. Subsequently, these have to be developed in models before the reinforcement methods can be put into practice.

One part of the tests that are to be carried out shall prove the suitability of textile reinforced concrete for the flexural strengthening of steel reinforced structural members. To achieve this goal, more than 30 slab strips with lengths from



Experimentelles versus rechnerisches Bruchmoment
Experimental versus numerical bending moment

3.30 m to 7.30 m and thicknesses between 12 cm and 30 cm were made of reinforced concrete and then strengthened with TRC. The slab strips differ not only in their geometries, but also the steel or textile reinforcement ratio, the concrete cover and the diameter of the steel. The selection of the slab configurations (limit values) defines the scope of the general building inspection approval.

The slabs were produced and strengthened in a batch plant. The four point bending tests leading up to tensile failure of the textile reinforcement were conducted at the Otto-Mohr-laboratory. The load bearing capacity of the slabs was also examined in theory. This could be done based on calculation methods which had already been developed and optimized as part of the CRC 528. A comparison between the theoretically and practically determined bending moments showed that the proposed calculation method for the design of a flexural strengthening with textile reinforced concrete can be recommended without reservations.

Titel | Title

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung eines Verfahrens zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT® (Textilbeton) | General Building Inspection Approval of a Procedure for the Strengthening of Reinforced concrete with TUDALIT® Textile Reinforced Concrete

Förderer | Funding

TUDAG / TUDALIT e.V.

Zeitraum | Period

01.2010 – 12.2013

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Dipl.-Ing. Michael Frenzel

Roboter kommen überall hin

In den vergangenen zwei bis drei Jahrzehnten haben sich mobile Roboter rasant entwickelt. Ob zum Mars oder in die Meerestiefen, die unterirdischen Welten der Kanäle, das Innere des Menschen – nichts ist vor Robotern sicher, alles kann inspiziert werden.

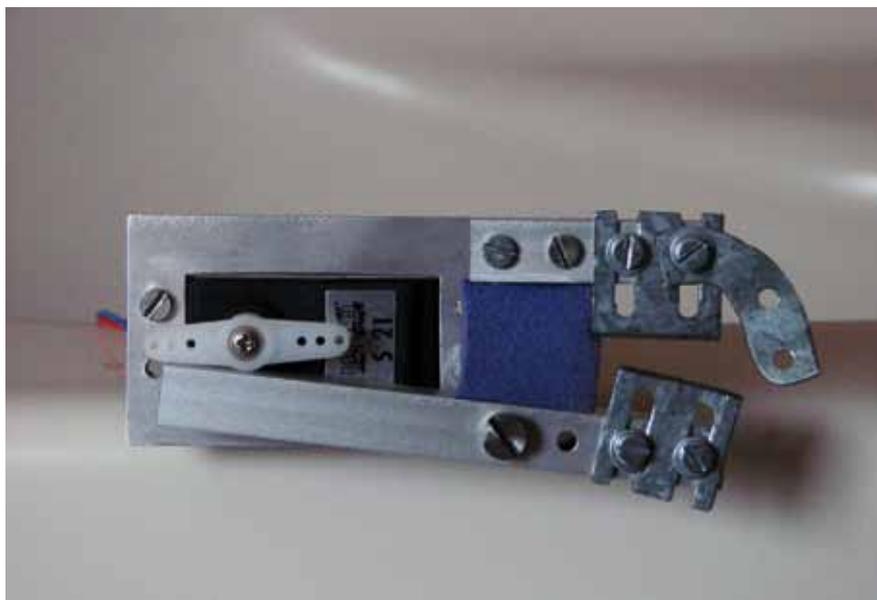
Für das Bauwesen wünschenswert wären Roboter, die, ausgestattet mit Sensoren und Kameras, autark an Gebäuden oder Brücken klettern könnten und so eine bequeme Inspektion von Oberflächen, Lagern, Beschichtungen o. ä. an schwer zugänglichen Stellen erlauben. Mit derartigen Robotern ließen sich beispielsweise kostengünstig Daten zur Planung von Sanierungs- oder Umnutzungsmaßnahmen gewinnen.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Versuchsmuster des Roboters „CLIBOT“ entwickelt, der an Seilen, Drähten, Rohren oder Säulen zu einem Inspektionsort klettern kann. Mit Greifarmen und -zangen fasst der Roboter das Klettermedium und bewegt sich daran auf und ab. Eine Batterie liefert die notwendige Energie. Das Zusammenspiel des Greifens und Loslassens des Seiles und die dazu gehörigen Armbewegungen – die ans Seilklettern im Sportunterricht erinnern – steuert ein Mikrocontroller. Über eine Funkfernbedienung

erhält der Controller die Fahrbefehle zum Auf- und Abklettern.

Bisher wurde der Roboter bereits zur visuellen Inspektion in einem Gebäude verwendet, wozu er mit einer Kamera ausgestattet war, deren Livebild über Funk übertragen wurde. So konnte einerseits der Roboter positioniert werden. Andererseits ließen sich via Funkbefehl auch Fotos von der befahrenen Gebäudeoberfläche zur Beurteilung ihres Zustandes „schießen“.

Mit dem Muster von „CLIBOT“ konnten wir demonstrieren, dass mit Robotern auf effiziente Art und Weise ein sicheres Erreichen von Gebäudeinnen- und -außenflächen sowie eine zuverlässige Datenerfassung möglich sind. Die bisherigen Ergebnisse waren so aussichtsreich, dass eine weitere Entwicklung in Richtung eines industriell herstellbaren Musters sowie der Verbesserung des Greifprinzips und der Ausstattung des Roboters mit Messtechnik als äußerst wünschenswert erachtet wurden. Gemeinsam mit einem kompetenten Dresdner Unternehmen wurde im Sommer 2012 ein mittlerweile positiv entschiedener Fördermittelantrag bei der AiF gestellt. Wir hoffen nun, innerhalb der nächsten zwei Jahre weitere Fortschritte hin zum industriellen Einsatz des Kletterroboters erzielen zu können.



Greifklaue
Gripping Claw

Robots Getting to Everywhere

In the last two or three decades mobile robots have rapidly developed. To mars or to the depths of the oceans, to the subterranean world of channels, the inner parts of humans – nothing is out of reach, all can be inspected.

For civil engineering purposes it would be desirable to have robots, equipped with sensors and cameras, which can climb autonomously at buildings or bridges and can so enable an inspection of supports, coatings and other hardly accessible points. By such robots could be gathered data for planning of restoration, reconstruction or reusing in a costly way.

Hence a test version of this robot was developed that can climb at ropes, wires, pipes or columns to the inspection site. The device grips the climbing media with arms and claws and moves up and down. A battery delivers the energy. The interaction of grasping and releasing the rope and the appropriate arm movements – that reminds of rope climbing in school sports – is controlled by a microcontroller. The movement instructions for up and down climbing were transmitted to the processor by a remote control.

Currently the robot was always used for visual building inspection wherefore it was equipped with a camera. Their live image was radio transmitted. On the one hand the robot could be posi-



CLIBOT im Dresdner Zwinger
CLIBOT in the Dresden Zwinger

Titel | Title

Entwicklung eines kletterfähigen Roboters an linearen Führungen zur Bauwerksinspektion | *Development of a Climbing Robot at Linear Guides for Building Inspection Purposes*

Förderer | Funding

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Zeitraum | Period

09.2012 – 08.2014

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Frank Schladitz

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Thoralf Schober

Projektpartner | Project Partner

Fertigungs- und Automatisierungstechnik GmbH Dresden

tioned in that way and on the other hand photos of the visited building surface could be shot to evaluate their condition.

With this test version of the robot we could demonstrate the efficient ability to safely reach all inner and outer surfaces of a building and their reliable data acquisition. The existing results were so promising that a further development of an industrial prototype as well as the improvements of grasping principle and the equipment with sensors would be desirable. In summer 2012 an application for subventions was filed to the AiF together with a competent company in Dresden and was meanwhile granted. Within the next two years we hope to achieve further improvements up to the industrial application of that climbing robot.

Straßenbrücken neu bewertet

Brücken sind aus der Verkehrsinfrastruktur nicht wegzudenken. Wegen des steigenden Verkehrsaufkommens und der stetigen Zunahme der Verkehrslasten müssen die vorhandenen Brücken auf Basis des heutigen Stands der Technik neu bewertet werden. Uns obliegt im hier vorgestellten Projekt die wissenschaftlich-technische Betreuung der Nachrechnung von Brücken im Land Mecklenburg-Vorpommern auf Grundlage der Nachrechnungsrichtlinie des Bundes.

Nach Analyse des gesamten umfangreichen Brückenbestandes wurde dieser in einzelne Bauwerksgruppen hauptsächlich nach dem Hauptbaustoff und der Konstruktionsart des Überbaus eingeteilt. Je Gruppe wurden dann ein oder zwei repräsentative Bauwerke ausgewählt und zur Nachrechnung empfohlen. Zusätzlich zu diesen Brücken werden noch einige weitere, schon vorher durch Bund und Land festgelegte Bauwerke bei der Nachrechnung mit einbezogen.

Die statischen Nachrechnungen selbst werden von Ingenieurbüros aufgestellt. Neben der reinen Berechnung selbst zählt dazu u. a. auch eine Vor-Ort-Besichtigung des Bauwerks, damit – so nötig – der aktuelle Zustand der Brücke in der Berechnung berücksichtigt werden kann. Die fertigen Statiken werden dann an unserem Institut auf Vollständigkeit und auf Plausibilität geprüft.

Außerdem ist es unsere Aufgabe, den Ingenieurbüros Hinweise zu geben, bei Fragen zu beraten oder bei kritischen Stellen alternative Lösungsmöglichkeiten oder Ansätze zu untersuchen und diese mit den Büros und dem Auftraggeber zu diskutieren.

Im Einzelfall ergab z. B. die Nachrechnung der Spannbetonhohlplatte des Überbaus einer Brücke, die im Jahre 1970 errichtet wurde, erhebliche rechnerische Defizite bei der Schubtragfähigkeit, ein Befund, der nicht untypisch für Massivbauwerke aus dieser Zeit ist. Da die rechnerische Überschreitung der zulässigen Werte nicht unerheblich ist, wurden in Abstimmung mit allen Beteiligten Sofortmaßnahmen – in diesem Fall Verkehrseinschränkungen – empfohlen, die Anfang 2013 umgesetzt wurden. In einem Vor-Ort-Termin wurde speziell der Überbau inspiziert und anschließend ein Beprobungskonzept entwickelt, damit bei einer erneuten Nachrechnung die genauen Materialkennwerte berücksichtigt werden können.

Anhand der exemplarischen Untersuchungen in den einzelnen Bauwerksgruppen sollen zum Abschluss des Projektes Rückschlüsse für den gesamten Bestand gezogen werden, auf deren Basis der Baulastträger Strategien für zukünftige Investitionen ableiten kann.



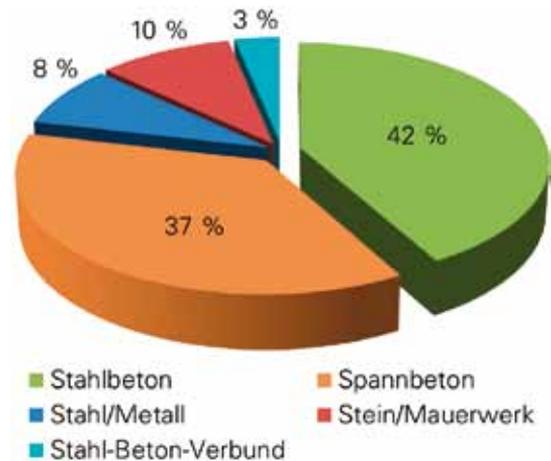
Besichtigung eines nachgerechneten Bestandsbauwerks
On-site inspection of a recalculated bridge
Photo: Silke Scheerer

Road Bridges Re-Evaluated

One cannot imagine infrastructure without bridges. Existing bridges have to be reassessed in accordance with the current state of the art due to the increasing traffic volume and the steadily growing traffic loads. For the project introduced here we are responsible for the scientific and technical supervision for the reassessment of roadway bridges in the northeastern German federal state Mecklenburg-West Pomerania on the basis of the new German recalculation guideline of the Federal Government.

After analysis, the total stock of road bridges was split up into single groups mainly according to the main building material and to the type of superstructure. For each group one or two bridges were chosen as representatives and were recommended for recalculation to the authority. Additionally certain bridge structures were chosen directly by the Federal Government and the federal state for recalculation.

The structural recalculations themselves were prepared by consulting engineers. In addition to the pure structural analyses this included an inspection of the bridge on-site to assess the actual condition of the structure and to consider it for the recalculation if necessary. The so prepared calculations were then checked at our institute regarding completeness and correctness. We furthermore advice the consulting engineers and we give appropriate guidance at crucial parts of



Hauptbaustoffe im Brückenbestand von Mecklenburg-Vorpommern (bis Baujahr 1986)
Main construction materials in the bridge stock of Mecklenburg-West Pomerania (built before 1986)

the structure and we investigate alternative solutions or approaches and discuss them together with the client.

In one individual case the recalculation of a prestressed hollow core bridge deck, built in 1970, yielded for example considerable deficits in shear design which is, however, not untypical for concrete structures which were built in that period of time. Since the allowable limits were exceeded not inconsiderably, immediate measures – in this case traffic restrictions – were recommended in coordination with the parties involved and implemented right from the beginning of 2013. The superstructure had been inspected on-site and subsequently a concept for material testing had been developed to provide specific material properties for a repeated recalculation.

Finally the whole stock of existing road bridges in the federal state Mecklenburg-West Pomerania will be reassessed by means of exemplarily investigations for each group. On that basis at the end of this project the operator may derive strategies for future investments.

Titel | Title

Wissenschaftlich-Technische Betreuung (WTB) beim Projekt zur Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommerns | *Scientific and Technical Supervision for Application of the German Recalculation Guideline on the Bridge Stock of Mecklenburg-West Pomerania*

Förderer | Funding

Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern

Zeitraum | Period

05.2011 – 12.2012

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Nico Schmidt, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dr.-Ing. Silke Scheerer

Beton bei Impact

Die hier vorgestellten Versuche sind Teil eines größeren Projekts, in dem das Verhalten von Beton unter hohen Verzerrungsraten untersucht werden soll. Am Anfang des Projekts stand die Entwicklung und experimentelle Erprobung eines ultrahochfesten Betons mit Faserzusatz (UHPFRC). Dessen Eigenschaften bei statischer und dynamischer Belastung werden mit denen von Normalbeton, hochfestem Beton und Faserbeton verglichen.

Warum sind Impactbelastungen von Interesse?

Das mechanische Verhalten „Beton unter quasi-statischen Bedingungen“ ist im Großen und Ganzen bekannt. Defizite gibt es allerdings hinsichtlich der Eigenschaften von Betonen bei hohen Verzerrungsraten, die z. B. aus stoßartigen



Belastungen wie Fahrzeugaufprall oder Druckwellen aus Explosionen resultieren können. Um das Energieabsorptionsvermögen (EAC) des Materials zu erforschen, wurde ein spezieller Versuchsaufbau verwendet. Das Prinzip ist einfach: Ein Gewicht trifft mit einer Geschwindigkeit von ca. 20 km/h auf ein Betonprisma. Dabei werden Stoßkraft und Beschleunigung gemessen. Durch Integration der Beschleunigung wird die Auslenkung der Prismen berechnet. Die absorbierte Energie wird dann als Fläche unter der Spannungs-Dehnungs-Kurve bestimmt. Es wurde herausgefunden, dass bei UHPFRC deutlich mehr Energie dissipiert werden kann als bei den anderen getesteten Betonen. Grund dafür ist die synergetische Wirkung von hochfester Matrix und kurzen Stahlfasern.

Warum werden die Versuche in Dresden durchgeführt?

Für Impactversuche gibt es keine einheitlichen Richtlinien. Deshalb nutzt jedes Forschungsteam seine eigene Methode und folglich sind die Ergebnisse stark vom Versuchsaufbau abhängig. In diesem Projekt werden die gleichen Proben nach zwei unterschiedlichen Prinzipien getestet. Bei der Fallanlage der TU Dresden wird ein geführtes Gewicht aus einer bestimmten Höhe auf das Betonprisma vertikal fallen gelassen. Der Ansatz bei der CTU in Prag ist etwas anders. Hier wird eine Pendelschlagmaschine verwendet. Ein Impaktor folgt also einer Kreisbahn und auf dessen Tiefpunkt wird die Probe dann horizontal belastet. Da gleichartige Proben verwendet werden, sollte die Frage nach der Größe des Einflusses der Versuchsart und der Vergleichbarkeit der Ergebnisse beantwortet werden können.

Versuchsstand an der TU Dresden – Fallanlage
*Impact machine at TU Dresden –
 falling weight principle
 Photo: Petr Máca*

On Impact Testing of Concrete

This experimental work is part of a bigger project that is focused on studying the concrete behaviour under different strain-rates. The basis of the project is development and experimental testing of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC). Both static and impact behaviour of this new material is compared with normal strength concrete, high strength concrete and fibre reinforced concrete.

Why impact loading?

The behaviour and mechanical properties of concrete under quasi-static conditions is pretty well documented. However, there is only limited knowledge about behaviour under high strain rates – i.e. impact loading such as vehicle crash or pressure waves caused by explosion. To assess the energy absorption capacity (EAC) of the material an impact loading machine is used. The principle of this experiment is easy: a weight hits a concrete prism with a speed around 20 km/h and an impact force and acceleration are measured. Afterwards, deflection of the prisms is calculated by integrating the acceleration of the specimen. The EAC is then calculated as an area under the stress-strain curve. It was found that the UHPFRC is capable of dissipating more energy compared to the other tested materials. This can be explained by the synergic effect of high-strength matrix and short steel fibres.

Titel | Title

Beschreibung und experimentelle Untersuchung von UHPFRC unter hohen Verzerrungsraten | *Formulation of Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete - UHPFRC and Its Testing Under High Strain Rates*

Förderer | Funding

DAAD | Ministry of the Interior of the Czech Republic, Project VG20102014003

Zeitraum | Period

01.2010 – 09.2014

Leiter | Project Manager

Prof. Ing. Petr Konvalinka, CSc.

Bearbeiter | Contributors

Ing. Petr Máca



Versuchsstand an der CTU Prag –
Pendelschlagmaschine

Impact machine at CTU in Prague –
pendulum principle.

Photo: Radoslav Sovják

Why is it done in Dresden?

For this type of measurements, there are no existing guidelines or recommendations. So, every research team uses its own methodology to investigate the impact resistance of concrete and their results are highly machine and lab specific. In this project the same samples were tested on two impact machines working on different principles. The machine at TU Dresden is based on the principle of guided weight falling down from a given height on the concrete prism. The specimen is then loaded vertically. The impact machine at CTU in Prague is based on the principle of a pendulum: an impactor is following a circular trajectory and is loading the specimen horizontally. Because the size of samples and the material used are the same, this research should answer the question how big is the influence of the type of loading mechanism and if the results are comparable.

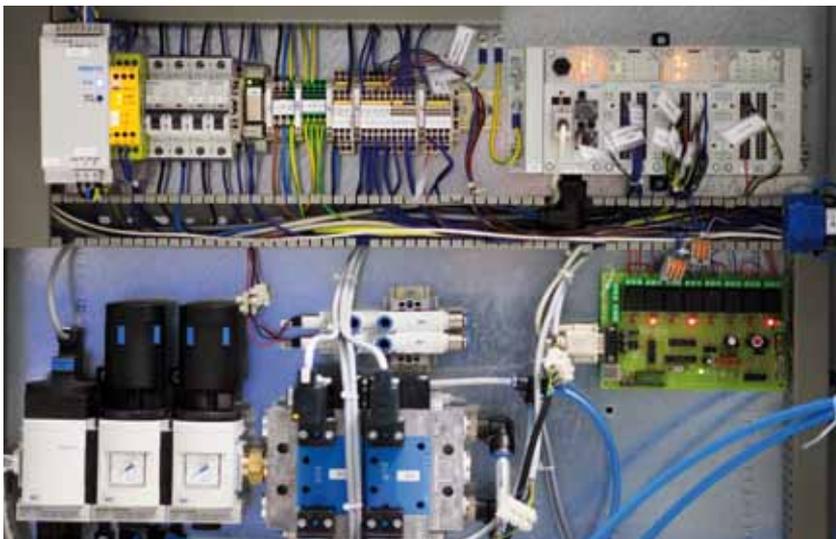
Schnell und laut

Man sieht nicht viel, man hört es nur – so ungefähr kann man sich einen Versuch am Split-Hopkinson-Bar vorstellen. Ein kurzer, lauter Knall und ein 80 mm langer Betonzylinder zerspringt in tausend Bruchstücke. Das ist beeindruckend, aber es stellt sich die Frage: Wozu das Ganze?

In diesem Versuchsstand sollen Materialeigenschaften unter sehr hohen Belastungsgeschwindigkeiten, wie sie z. B. bei einem Fahrzeuganprall auftreten, erforscht werden. Am Institut für Massivbau steht seit zwei Jahren ein klassischer einaxialer Split-Hopkinson-Bar für dynamische Druck- und Zugversuche an Betonproben zur Verfügung. Außerdem wird der weltweit erste biaxiale Split-Hopkinson-Bar entwickelt. Ziel ist es hierbei, die Betonprobe aus zwei Richtungen gleichzeitig stoßartig zu beanspruchen. Was anfangs recht einfach klingt, entpuppt sich bei genauerer Untersuchung als ein sehr diffiziles Unterfangen, da die beiden Druckimpulse bis auf wenige Mikrosekunden genau synchronisiert werden müssen, um von einer wirklich zweiaxialen Belastung der Probe ausgehen zu können. Herkömmliche Belastungs- und Auslösetechniken wie Federschusskanonen, Pendelhämmer, berstende Membranen oder

Explosionen bieten keine ausreichend präzise Auslösung. Deshalb wurden zur Beschleunigung der Impaktoren Gasdruckkanonen gewählt.

Zur Überwachung aller relevanten Systemparameter ist der Versuchsstand mit vier Halbleiter-Dehnmessstreifen, vier Drucksensoren und zwei Lichtschranken ausgestattet. Die Steuerung der Auslösezeitpunkte übernimmt mikrosekundengenau ein computergesteuerter Mikrocontroller. Durch diesen können die konstanten Zeitunterschiede von drei Millisekunden zwischen den beiden Beschleunigungsanlagen ausgeglichen werden. Die Abhängigkeit der Zeitverzögerungen vom Befülldruck muss hierbei berücksichtigt werden. Weitere Schwankungen und Ungenauigkeiten in der Synchronität konnten durch die Verkürzung der Pneumatikwege, die exakte Positionierung der Impaktoren in den Gasdruckbeschleunigern und das Einschießen der Anlage über mehrere hundert Versuche minimiert werden. So ist es mittlerweile mehrfach gelungen, bis auf zehn Mikrosekunden genaue Belastungsimpulse in beiden Achsen zu erzeugen. Die weitere Optimierung wird uns auch in Zukunft noch beschäftigen.



Elektronische und pneumatische Steuerung des zweiaxialen Split-Hopkinson-Bars

*Electronic and pneumatic control system for the biaxial Split-Hopkinson bar
Photo: Ulrich van Stipriaan*

Fast and Loud

There is not much to see, but there is some audible - something like this can be thought of a trial at the Split-Hopkinson bar. A short, loud bang and an 80 mm long concrete cylinder bursts into a thousand fragments. That's impressive, but it raises the question: Why bother?

With the help of such an experimental setup material properties should be studied under very high loading rates, such as occur, for example, in a vehicle collision. At the Institute of Concrete Structures since two years a classical uniaxial Split-Hopkinson bar is available for dynamic pressure and tensile tests on concrete samples. Moreover, the world's first biaxial Split-Hopkinson bar is developed. The aim of this is to load the concrete specimen impulsively in two directions at the same time. What initially sounds quite simple turns out on closer examination to be a very complex task, as the two pressure pulses have to be synchronized to within a few microseconds to assume a really biaxial loading of the specimen. Conventional techniques for the loading and triggering, like spring guns, swing hammers, bursting membranes or explosions do not provide sufficiently precise release. Therefore, compressed air guns were chosen to accelerate the impactors.

For the measurement of all interesting system parameters, the experimental setup is equipped



Zerstörte Betonprobe nach einem Versuch im zweiaxialen Split-Hopkinson-Bar

Destroyed concrete specimen after a trial in the biaxial Split-Hopkinson bar

Photo: Martin Just

Titel | Title

Verbundvorhaben: Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten; Teilprojekt: Experimentelle Untersuchungen zur zweiaxialen Festigkeit und Formulierung einer stoffgesetzlichen Beschreibung | *Material Behaviour of Concrete under High Loading Velocity – Experimental Investigations on Biaxial Strength and Formulation of a Material Model*

Förderer | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH als Projektträger des BMWi

Zeitraum | Period

07.2009 – 12.2012

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Anja Hummeltenberg, Martin Just M.Sc., Dipl.-Ing. Matthias Quast

with 16 semiconductor strain gauges, four pressure sensors and two light barriers. The control of the trigger times with microsecond accuracy is taken over by a computer-controlled microcontroller, by which constant time differences of about 3 ms between the two accelerator facilities can be compensated. The dependence of the time delay from the air pressure in the acceleration system must be taken into account. Other variations and inaccuracies in the synchronicity could be minimized by reducing the pneumatic ways, the exact positioning of the impactors in the air guns and the startup of the machine by several hundred trials. So it has been possible to generate load impulses in both axes with a time delay of less than ten microseconds. The further optimization will occupy us in the future.

DEM-Simulation von Phänomenen beim Betonbruch

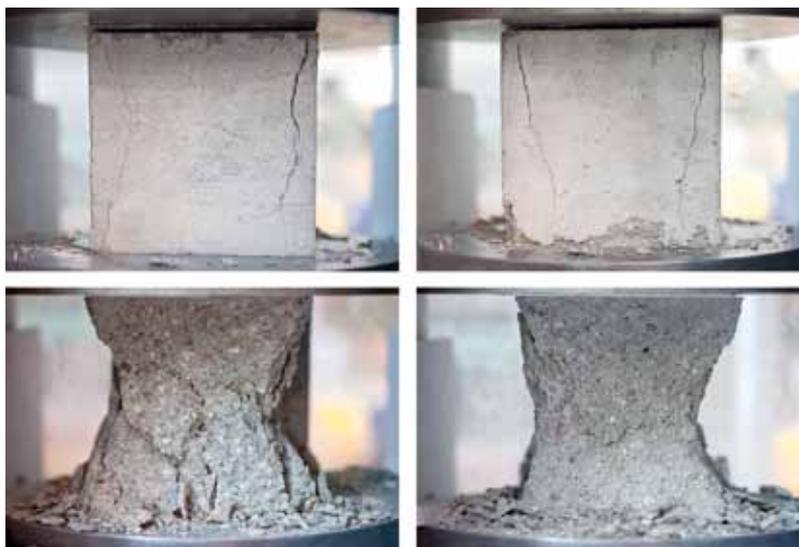
Im Fokus dieses Forschungsvorhabens stehen Bruchvorgänge im Beton. Dabei geht es nicht darum, eine bestimmte Maximallast zu erzielen oder das Verhalten im sicher tragfähigen Lastbereich zu untersuchen, sondern es sollen gezielt Bruchvorgänge und Versagensmechanismen untersucht werden. Warum entsteht ein Riss genau an dieser oder jener Position? Wie stark weichen die Risspositionen von Versuch zu Versuch ab? Kann man schon im Vorfeld z. B. an Mikrorissen erkennen, wo später ein globaler Riss entstehen wird? Solchen Fragen soll in diesem Forschungsprojekt nachgegangen werden.

In realen einaxialen Druckversuchen werden geringfügig variierende Maximallasten erzielt. Diese liegen im Bereich derselben Größenordnung, sind aber von Versuch zu Versuch nie exakt gleich. Die Bruchbilder zweier Versuche zeigen ein einander ähnelndes, typisches Bruchbild; aber auch sie sind nie exakt dieselben, sondern unterscheiden sich in Art und Lage der tatsächlichen Risse.

Solche realen Laborversuche werden in diesem Forschungsprojekt in einer zweidimensionalen numerischen Simulation auf Basis der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) abgebildet. Dabei wird der Betonkörper als Ensemble einzelner Partikel diskretisiert. Anders als bei kontinu-

umsbasierten Methoden sind hier die einzelnen Partikel kinematisch unabhängig, können sich aufeinander zu- und voneinander wegbewegen. Aus der gedachten Überlappung zweier Partikel wird eine Rückstoßkraft berechnet, so dass, wenn dies für alle Partikel über den gesamten Betonkörper hinweg getan wird, der Kraftfluss von der Lasteinleitungsplatte durch den Betonkörper hindurch auf die Auflagerplatte sichtbar wird. Bewegen sich zwei Partikel voneinander weg, so entsteht – quasi automatisch – ein Riss. Risse werden also nicht durch spezielle Risselemente oder zusätzliche Rissweitenparameter der Simulation hinzugefügt, sondern sie entstehen allein dadurch, dass sich Partikel voneinander lösen.

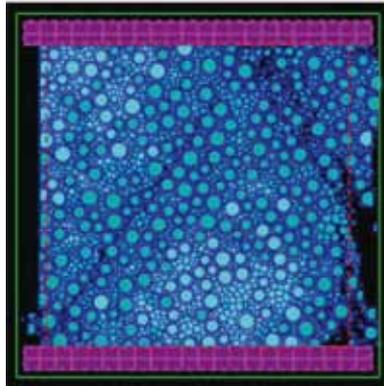
Durch eine bei der Partikelgenerierung integrierte Zufallsfunktion entstehen jedes Mal ähnliche, aber geringfügig abweichende Partikelensembles. Dies ist mit der Herstellung im Labor vergleichbar, z. B. bei mehreren Betonproben aus derselben Charge, denn weder im Labor noch in der Simulation ist beispielsweise die Lage von Zuschlagskörnern und Zementstein zweimal exakt gleich. Wird der Druckversuch mit virtuellen Probekörpern simuliert, so ergeben sich – genau wie im realen Laborexperiment – ähnliche, doch nie exakt gleiche Bruchbilder.



Druckversuche im
Laborexperiment
*Compression tests
in laboratory*
Photo: Ulrich van Stipriaan

DEM-Simulation of Concrete Fracture Phenomena

Concrete fracture phenomena are investigated in this research project. It is not the aim to reach a certain maximum load or to investigate the concrete behaviour within a range of safe working loads. It is the fracture processes and failure mechanisms, which are specifically investigated. Why does a crack rise just at this or that position? How vary the crack positions from one test to another? Is it possible to identify in advance where for example micro-cracks will emerge to a global macro-crack later on? Such questions are the matter of this research project.



Kornverteilung in einem Betonwürfel

Particle size distribution in a concrete cube

Visualization: Birgit Beckmann / Photo: Silke Scheerer

In real uniaxial compression tests, slightly varying maximum loads are achieved. They are in the range of the same order of magnitude, but they are never exactly the same from test to test. The crack patterns of two tests are similar and typical, but they are never exactly the same and differ in kind and position of the actual cracks.

Such real laboratory experiments are described using a two-dimensional numerical simulation based on the Discrete Element Method (DEM) in

this research project. The concrete body is discretised as an ensemble of separate particles. Otherwise than in continuum-based methods, here the single particles are cinematically independent and can move towards and away from each other. A repulsing force is calculated resulting from a virtual overlap area of two colliding particles. Doing this for all particles of the concrete body, the force flow from the loading plate to the supporting plate through the concrete body becomes visible. When two particles move away from each other, this leads – automatically – into a crack. This means, cracks are not added to the simulation using, say, special crack elements or crack width parameters, but they emerge just due to the fact, that particles separate from each other.

A random function within the particle generation leads to similar, but slightly varying particle ensembles. This is comparable to the specimen production in the laboratory, for example several concrete specimens made of the same charge. Neither in the laboratory nor in the simulation, the positions of aggregate and hydrated cement are never exactly the same for two concrete specimens. Simulating the compressive test using virtual test specimens, similar, but not identical fracture patterns arise – in simulation as well as in the laboratory experiment.

Titel | Title

DEM-Simulation von Impaktvorgängen | DEM-Simulation of Impact Processes

Förderer | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH als Projektträger des BMWi

Zeitraum | Period

10.2010 – 09.2013

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Birgit Beckmann

Kann gerissener Stahlbeton dicht sein?

Bei Anlagen, die dem Lagern, Abfüllen und Umfüllen wassergefährdender Stoffe dienen (kurz LAU-Anlagen), ist es sehr wichtig, dass diese Stoffe nicht in die Umwelt gelangen. Die Sicherstellung der Dichtheit derartiger Anlagen ist demnach sehr bedeutsam. Neben den primären Dichtkonstruktionen aus Stahl wird Stahlbeton in der Regel als sekundäre Dichtbarriere verwendet.

Stahlbeton ohne Risse zu bauen ist aufwendig und teuer, sodass man in der Planung aus wirtschaftlicher Sicht gern kleine Risse zulassen würde. Doch kann ein gerissenes Stahlbetonbauteil noch wirklich dicht sein?

Um das zu überprüfen, wurden Versuche durchgeführt, bei denen Probekörper, welche einen sehr kleinen Trennriss (Rissbreite ca. 0,05 mm) hatten, mit wassergefährdenden Stoffen beaufschlagt wurden. Dabei wurde beobachtet, ob innerhalb einer Dauer von 72 h die Flüssigkeit den Probekörper durchdringt, und wenn ja zu welchem Zeitpunkt. War der Probekörper innerhalb der 72 h nicht durchdrungen, so wurde die Eindringtiefe festgestellt, in dem der Probekörper im Riss getrennt und der Eindringhorizont dokumentiert wurde.

Die untersuchten Flüssigkeiten haben mit Ausnahme von Wasser, Biodiesel und Chinolin den

20 cm dicken Probekörper zumeist deutlich vor der angestrebten Dauer von 72 h durchdrungen. Bei den drei genannten Flüssigkeiten wurde die geforderte Dauer gerade so eingehalten.

Zusätzlich wurden Untersuchungen zur Vorhersagegenauigkeit von Rissbreiten durchgeführt. Besonders kleine Risse können nicht genau vorhergesagt werden. Daher wurden die Abweichungen zwischen vorhergesagten und tatsächlich an realen Probekörpern gemessenen Rissbreiten anhand einer Datenbank untersucht und statistisch für verschiedene Rissbreitenmodelle erfasst.

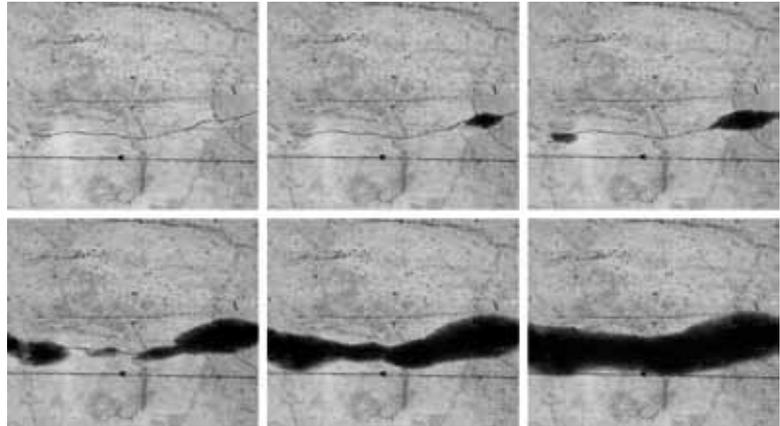
In Kombination aus den beiden Untersuchungen sollte die Zuverlässigkeit von Dichtkonstruktionen aus Stahlbeton bei Vorhandensein von Trennrissen ermittelt werden. Aufgrund der Versuchsergebnisse war diese Auswertung nur für Biodiesel möglich und hat im Endeffekt dazu geführt, dass die Bauweise mit Trennrissen für LAU-Anlagen für dünnflüssige (niedrigviskose) wassergefährdende Stoffe ausgeschlossen werden muss. Dies ist als Empfehlung an den entsprechenden Sachverständigenausschuss des DIBt gegangen und findet Anwendung in der Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ sowie den Technischen Regeln für wassergefährdende Stoffe (TRwS_n) des DIBt.



Probekörper bei der Erzeugung des Trennrisses
Test specimen during crack adjustment

Can Cracked Concrete be Leak-Proof?

For facilities that are used for storage, filling and transfer of water polluting substances (in short: SFH facilities), it is very important that these substances are not released into the environment. Ensuring the permanent leak-tightness of such facilities is therefore very significant. In addition to the primary sealing constructions of steel, reinforced concrete is often used as a secondary sealing barrier.



Unterseite einer mit Acetophenon beaufschlagten Probe zu verschiedenen Zeitpunkten

Bottom side of a sample while tested with acetophenone at various time points

Building reinforced concrete free of cracks is complex and expensive, so in the planning it would be helpful from an economic perspective, if small cracks could be acceptable.

But can a cracked reinforced concrete part still be really leak-proof?

To verify this, experiments were performed in which specimens, which had a very small separation crack (crack width of 0.05 mm) were subjected to substances hazardous to water. It was observed whether within a period of 72 h the liquid passes through the specimen and if so at what time. If the specimen was not penetrated within the 72 hours, the depth of penetration was determined by separating the specimen in the crack and photographing the level of penetration at the crack surface.

The investigated liquids, with the exception of water, biodiesel and quinolone, leaked well ahead of the required duration of 72 h through the 20 cm thick specimen. For the other three liquids the required duration has just been achieved.

In addition, studies were conducted on the accuracy of the prediction of crack widths. Particularly small cracks cannot be accurately predicted. Therefore, the discrepancies between predicted and actual measured (on real specimens) crack widths were examined for different crack width models using a database.

In combination of the two studies, the reliability of sealing reinforced concrete structures in the presence of separation cracks can be determined. Based on the experimental results this evaluation was possible only for biodiesel and led to the conclusion, that elements in LAU facilities made of reinforced concrete have to be designed crack free, when dealing with substances with low viscosity. This is passed as a recommendation to the appropriate committee of experts at the DIBt and is used in the directive „concrete construction when dealing with substances hazardous to water“ and the Technical Rules for Substances hazardous to Water (TRwSn) which are made by the DIBt.

Titel | Title

Beurteilung des Zuverlässigkeitsniveaus von Bauteilen mit kleinen Trennrissen | *Evaluation the Reliability Level of Components with Small Separating Cracks*

Förderer | Funding

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“

Zeitraum | Period

03.2011 – 02.2012

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Martin Just M.Sc.

Alles fast wie im Labor – virtuelle Probekörper

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird der Versuch unternommen, das Schädigungsverhalten von Beton unter ein- oder mehraxialer Belastung durch die paarweise Interaktion einer Vielzahl von Teilchen zu simulieren. Das zu entwickelnde Modell soll in der Lage sein, wesentliche Aspekte des Bruch- und des Nachbruchverhaltens von Beton in qualitativer bis halbquantitativer Weise nachzuvollziehen. Die Güte der hierbei erhaltenen Ergebnisse muss sich an den Resultaten der Laborexperimente messen lassen.

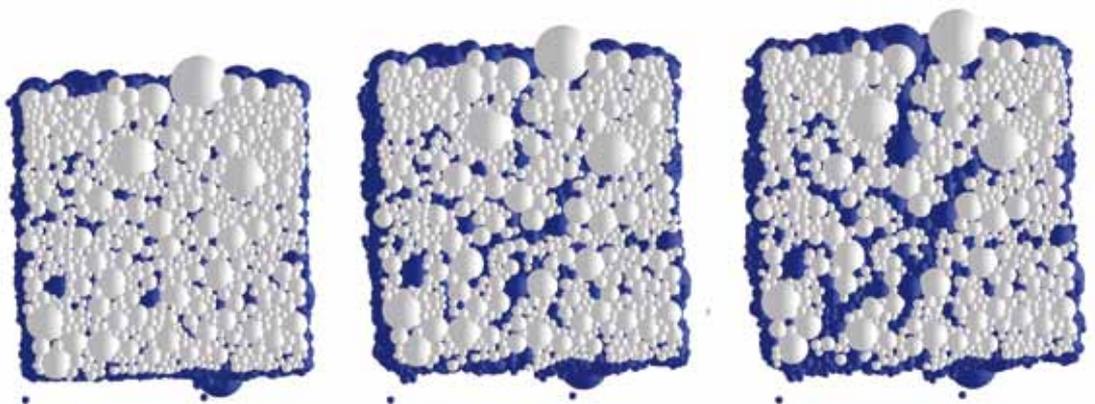
Fast wie im Labor beginnt die Simulation mit der Generierung eines virtuellen Probekörpers als Haufwerk von Zuschlagkörnern, dessen Korngrößenverteilung sich an einer realistischen Sieblinie für Beton orientiert. Fast wie im Labor folgt eine Phase des „Aushärtens“, wozu das verwendete Kontaktmodell allmählich aus einem anfangs ausschließlich abstoßenden ins abstoßend/anziehende, kohäsive Regime gefahren wird. Und fast wie im Labor verliert der virtuelle Probekörper hierbei ein wenig an Volumen, um anschließend – fest verleimt und formstabil – für ein- oder mehraxiale Belastungsversuche zur Verfügung zu stehen.

Anders als im Labor steht ein und derselbe einmal generierte Probekörper für beliebig viele Belastungsversuche zur Verfügung, für Belas-

tungsversuche mit verschiedenen mehraxialen Belastungskombinationen ebenso wie für Versuche mit unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten, bei behinderter oder unbehinderter Querdehnung, geradewegs bis zum Versagen oder aber unter zyklischer Beanspruchung.

Die in Entwicklung befindliche Simulation versteht Phänomene wie etwa Relaxation oder Verfestigungs- sowie Trägheitseffekte bei höheren Dehnungsraten nicht als hinzuzufügende Funktionalitäten, vielmehr werden diese und andere Erscheinungen als dem Modell innewohnend angenommen.

Die Prüfmaschine im Rechner – das ist eine verlockende Vorstellung. Numerische Simulationen jedoch können und sollen keine Kopien der Wirklichkeit liefern. Ein die Natur exakt nachbildender Algorithmus wäre vollkommen nutzlos, denn den leistungsfähigsten „Rechner“ stellt die Natur selbst dar. Der Nutzen numerischer Simulationen besteht in der Modellbildung, der Vereinfachung und Abstraktion, im besseren Verständnis der uns umgebenden Dinge. In diesem Sinne hoffen wir, mit diesem Forschungsvorhaben zu einem besseren Verständnis des Materials Beton und seiner Schädigungsmechanismen beitragen zu können.



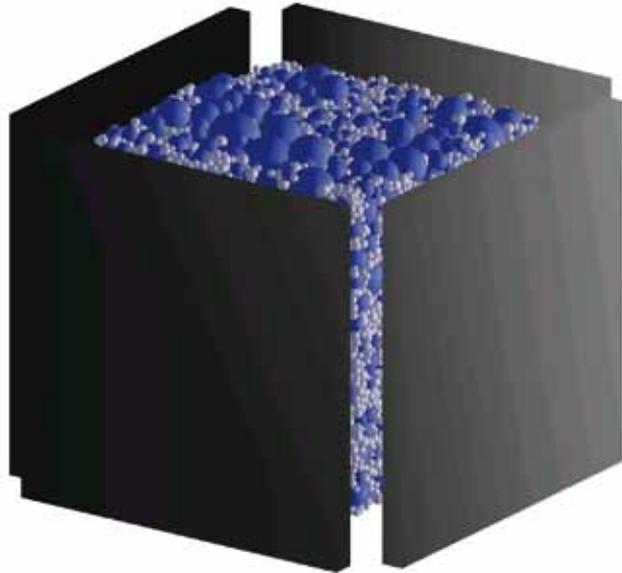
Rissentwicklung im einaxialen Druckversuch mit Blick durch eine der Belastungsplatten hindurch
Crack propagation in a virtual specimen loaded in compression with a view through one of the loading platens. Visualization: Dirk Reischl.

Even More Experiments – on the Computer Screen

Simulating uniaxial and multiaxial failure mechanisms of concrete by pairwise interaction of a large number of particles is the purpose of this research project. The model to be developed is intended to show substantial phenomena of concrete's failure and post-failure behavior in qualitative and semi-quantitative manner when loaded in compression or tension. The results of the laboratory experiments are the guideline for what we are trying to do in numerical experiments.

As is the case in the lab, virtual specimens are generated as a dense packing of particles representing aggregates, having sizes that are oriented towards realistic sieving lines of concrete. As is the case in the lab, a phase follows in which the particles are pacted, which is achieved by successively leading the contact model from the repulsive to the cohesive regime. As is the case in the lab, this lets the specimen lose a little of its volume, thereafter being prepared for uniaxial or multiaxial loading tests.

In difference to the lab, virtual specimens, once they are created, are available for any number of numerical experiments, e.g. for experiments with various combinations of compressive and/or tensile stress, with or without restraint of lateral strain near the loading plates, with varying



Ein virtueller Probekörper vor einer zweiaxialen Belastung

*A virtual specimen, prepared for biaxial loading
Visualization: Dirk Reischl*

loading rates or monotonous or cyclic loading regimes.

While developing the simulation we consider phenomena such as relaxation or effects of inertia at higher strain rates not to be features or add-ons to the model, we believe that they and other phenomena are inherent to the approach chosen.

It might appear a fascinating idea to make happen on a computer screen what happens in the laboratory. Numerical simulations, however, cannot even try to copy reality, and they are not meant to do so. An algorithm which could exactly replicate the real world would be rather useless, since the most powerful „computer“ is nature by itself. The value of numerical simulations lies in finding models, in simplification and abstraction and in the better understanding of the things around us. Having this in mind, we hope that our research project can help with a better understanding of concrete and its mechanisms of damage.

Titel | Title

DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton | *Modeling the Multiaxial Fracture Behaviour of Concrete Using the Method of Discrete Elements*

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

03.2012 – 02.2014

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Dirk Reischl

Mehraxiale Festigkeit von UHPC

Eine feste Zementmatrix, hochfeste Zuschläge und eine dichte Struktur sorgen für das Potential von Ultrahochleistungsbeton (UHPC): hohe Druckfestigkeit und hohe Dauerhaftigkeit. Gleichzeitig führen die gegenüber Normalbeton fehlenden Umlagerungsmöglichkeiten zu einem deutlich spröderen Materialverhalten. Dies wirkt sich bei verschiedenen Spannungsverhältnissen unterschiedlich auf die Festigkeit aus. Beim Konstruieren mit UHPC muss dies berücksichtigt werden.

Viele auftretende Beanspruchungen führen in Betonbauteilen zu einem mehraxialen Spannungszustand, der bei den im Massivbau verwendeten Berechnungsmodellen i. d. R. auf einaxiale Belastungen zurückgeführt wird. Um eine realitätsnähere Berechnung zu ermöglichen, wurde die Tragfähigkeit von UHPC unter mehraxialen Belastungen experimentell bestimmt und immer bezogen auf die einaxiale Druckfestigkeit und im Vergleich zu Normalbeton dargestellt.

Unter zwei- und dreiaxialer Druckbeanspruchung steigt die Festigkeit gegenüber einer einaxialen Beanspruchung weniger an als dies von Normalbeton bekannt ist. Teilweise konnte unter gleich großem Druck von zwei Seiten gar keine Festigkeitssteigerung ermittelt werden. Die 10%-ige Festigkeitserhöhung bei der Berechnung von

Druckknoten in Stabwerkmodellen kann somit für UHPC nicht ausgenutzt werden. Unter zweiaxialer Zugbeanspruchung liegt die Festigkeit genau wie bei Normalbeton in der Größenordnung der einaxialen Zugfestigkeit. Diese Festigkeit tritt im Druck-Zug-Bereich bis zu dem Punkt auf, wo Druck- und Zugkraft betragsmäßig gleich groß sind. Danach fällt – anders als bei Normalbeton – die Zugfestigkeit proportional zur zunehmenden Druckspannung ab.

Hochfeste Stahlfasern sollen dem spröden Verhalten von UHPC entgegenwirken. Durch die Zugabe von bis zu 2,5 Vol.-% Fasern kann die Zugfestigkeit um rund 30 % gesteigert werden. Unter zweiaxialen Druck bewirken die Fasern eine Festigkeitssteigerung von maximal 10 %. Ähnliche Umlagerungsmöglichkeiten und damit Festigkeitserhöhungen unter zweiaxialen Druck ergeben sich, wenn man UHPC mit statt ohne Grobzuschlägen herstellt. Auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten haben die Fasern nahezu keinen Einfluss, da der Fasergehalt unter dem Mindestbewehrungsgehalt liegt. Nur bei wenigen Spannungsverhältnissen konnten Unterschiede in Richtung der Querdehnung festgestellt werden. Ein quasi-duktilen Verhalten, wie es Normalbeton zeigt, tritt nur unter dreiaxialen Druck auf und ist umso ausgeprägter, je größer der Querdruck ist.



UHPC mit Fasern unter einaxialen Druck

*UHPC with fibres under uniaxial compression
Photo: Rainer Belger*

Multiaxial Strength of UHPC

A strong cement matrix, high strength aggregates and a dense structure ensure the potential of ultra-high performance concrete (UHPC): high compressive strength and high durability. At the same time, in comparison to the ordinary concrete it has a more brittle behaviour. Variable stress conditions affect the strength differently. If one wants to design with UHPC, all these aspects must be taken into account.

Many loading situations lead in concrete structures to a multi-axial stress state, which is attributed from the calculation models as uniaxial stress typically. Therefore, the capacity of UHPC under multi-axial stress experimentally was determined with respect to the uniaxial compressive stress and in comparison to the strength of normal concrete.

Under bi- and triaxial compressive stress the strength increases in comparison to uniaxial loading less than in the case of normal concrete. Partially, under the same pressure from two sides no increase in strength was determined. A strength increase of 10 % in the calculation of pressure nodes in truss models can therefore not be used for UHPC. Under biaxial tensile stress, the strength has the same value as for the case



UHPC ohne Fasern unter zweiachsigem Zug
UHPC without fibres under biaxial tension
Photo: Rainer Belger

of a uniaxial stress. This behaviour is similarly with normal concrete. This strength occurs in the area of compression-tension until the point where the compression and tension are equal in absolute values. Thereafter, the tensile strength decreases in proportion to the increasing of the compression, contrary to the behaviour of normal concrete.

Through adding high-strength steel fibres, one is trying to minimize the brittle behaviour of UHPC. By adding up to 2.5 volume percent of fibres, the tensile strength can be increased approximately about 30 %. Under biaxial compression, the fibres offer an increase of maximum 10 %. Similar redistribution possibilities and strength increase under biaxial compression result when coarse aggregates are used in comparison with the case when they are missing. On the stress-strain behaviour the fibres have almost no effect as the fibre content is less than the minimum reinforcement content. Only by a few stress combinations we could determine differences in the direction of lateral strain. A quasi-ductile behaviour as normal concrete shows occurs only under triaxial compression and is more pronounced the higher the lateral pressure is.

Titel | Title

Versuchstechnische Ermittlung und mathematische Beschreibung der mehraxialen Festigkeit von Ultra-Hochfestem Beton | *Experimental Determination and Mathematical Description of the Multiaxial Strength of Ultra-High Performance Concrete*

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1182

Zeitraum | Period

11.2005 – 06.2012

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Kerstin Speck

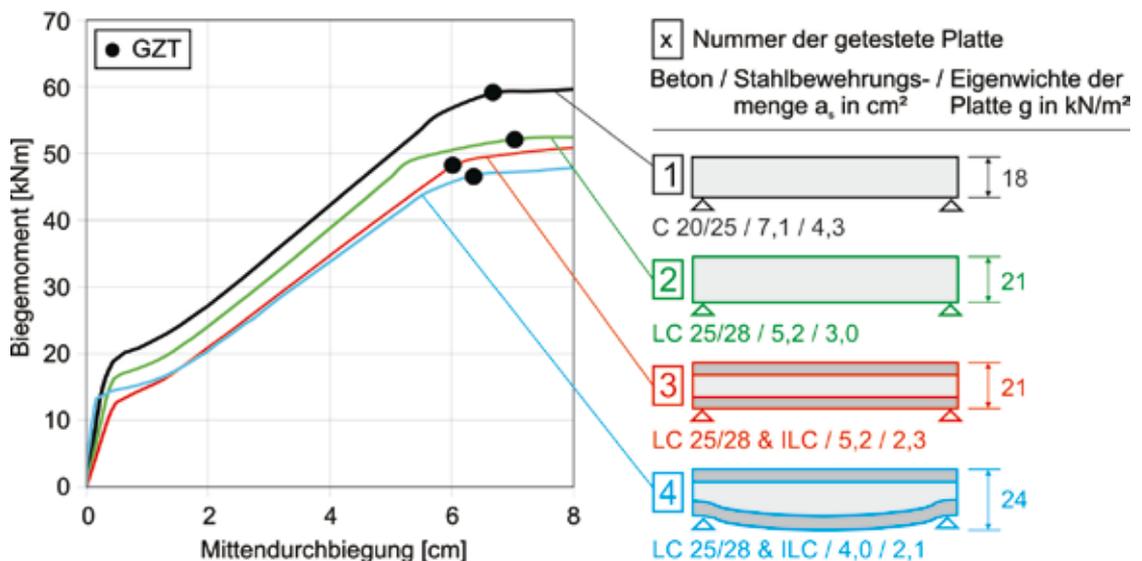
Leichte Deckentragwerke

Dieses Forschungsprojekt ist Teil des SPP 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“ und hat die Optimierung von Deckenplatten zum Ziel: Anstelle der herkömmlichen massiven Volldecke soll eine leichte, effiziente und ressourcensparende Deckenplatte entwickelt werden. Dies gelingt, wenn verschiedene Materialien entsprechend ihrer Beanspruchung und Eignung zielgerichtet miteinander kombiniert werden. Hohe Zugkräfte werden von der Bewehrung und hohe Druckkräfte von höherfesten Betonen aufgenommen. Bereiche mit geringen Zug- und Druckspannungen werden weniger festen und dafür leichteren Betonarten zugewiesen. So erhält man einen sandwichartigen, kraftflussoptimierten Deckenaufbau, dessen Eigenschaften und Tragverhalten im Projekt detailliert untersucht werden sollen. Die Forschung konzentriert sich zunächst auf einachsig gespannte Einfeld- und Durchlaufträgersysteme.

Um mögliche Einsparungen an Gewicht und Material zu demonstrieren, wurden vier verschiedene Einfeldplatten zunächst theoretisch untersucht. Platte 1 ist eine herkömmliche Vollplatte aus C 25/30. Die ebenfalls massive Platte 2 soll aus konstruktivem Leichtbeton LC 25/28 beste-

hen. Weiterhin werden zwei Sandwichplatten (Nr. 3 und 4) – jeweils mit Deckschichten aus LC 25/28 und einer Kernschicht aus einem gering tragfähigen Infralichtbeton (ILC) – betrachtet. Die Platten 3 und 4 unterscheiden sich in ihrer äußeren Form: parallelgurtig und kraftflussoptimiert. Als einheitliche Randbedingungen wurden eine Grenzdurchbiegung von 20 mm, eine Gebrauchslast von 4,4 kN/m und eine maximale Versagenslast von 11,4 kN/m vorgegeben. Außerdem sollten die Platten ein duktiles Verhalten auf Traglastniveau aufweisen.

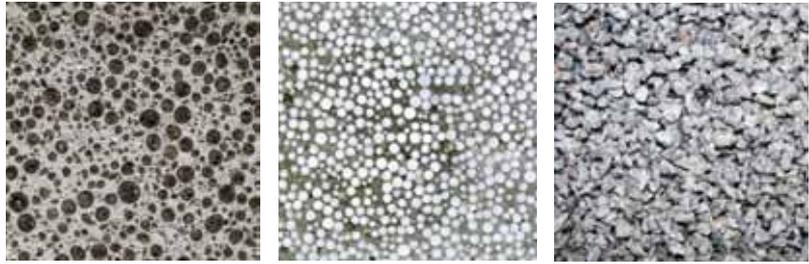
Im Diagramm sind die numerisch ermittelten Beziehungen zwischen Biegemoment und Mittendurchbiegung dargestellt. Ergänzt sind die zur Einhaltung der Randbedingungen erforderlichen Plattenhöhen h , Bewehrungsmengen a_s und die resultierenden Platteneigengewichte g . Das größte Einsparpotential wird bei der kraftflussoptimierten Sandwichplatte Nr. 4 erreicht. Sowohl die erforderliche Bewehrungsmenge als auch das Eigengewicht betragen nur noch etwa die Hälfte der Referenzplatte aus Normalbeton. Diese theoretischen Ergebnisse sollen demnächst unter Verwendung verschiedener Materialien für die leichte Kernschicht im Experiment bestätigt werden.



Biegemoment und Mittendurchbiegung bei verschiedenen Deckenplatten
Bending moment and middle deflection of various ceiling slabs

Lightweight Ceiling Structures

This research project is part of the DFG priority program 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“. Its aim is the optimization of ceiling slabs: the common solid slab shall be replaced by a ceiling slab which is lightweight and resource-efficient. This can be achieved by combining various materials based on their respective loading and suitability. High tensile loads can be absorbed by a reinforcement and high compressive forces e.g. by high strength concrete. Areas with lower tensile and compressive stress are assigned to types of concrete which are less load-bearing but also less heavy. This setup results in a sandwich-structured ceiling construction with optimized force flow. The properties and load carrying behaviour of this type of construction shall be researched in depth in this project. The initial research is focussed on single-span and continuous slabs.



Leichte Kernschichten für Sandwichkonstruktionen: Infralichtbeton, Styroporbeton, haufwerksporiger Leichtbeton

Lightweight core layers for sandwich structures: infra-lightweight concrete, structural lightweight concrete, foam concrete

With the aim of demonstrating possible ways to save weight and material, four different single-span slabs were first of all theoretically investigated. Slab 1 is a common solid slab made of C 25/30. Slab 2, which is also solid, will be made of structural lightweight concrete LC 25/28. In addition, two sandwich slabs (no. 3 & 4) – each

of which is made of a top layer of LC 25/28 and a core layer of infra-lightweight concrete (ILC) with a low load carrying capacity – were examined. Slabs 3 and 4 differ in their outer shape: with parallel chords and with optimized force flow. The generally applicable predefined boundary conditions were a maximum deflection of 20 mm, a service load of 4.4 kN/m and a maximum failure load of 11.4 kN/m. Furthermore, the slabs were expected to show ductile behaviour at ultimate load level.

The diagram shows the numerically determined relation between bending moment and middle deflection. The slab height h , the amount of reinforcement a_s and the resulting self-weight of the slab g , which are required to fulfil the boundary conditions, have been added. The sandwich slab with optimized force flow (no. 4) displayed the greatest potential for savings. In this case, the required amount of reinforcement as well as the self-weight only amount to approximately half of the weight of the reference slab which was made of regular concrete. Shortly these theoretical results shall be experimentally confirmed through the application of various materials for the lightweight core layer.

Titel | Title

Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen | *Lightweight Ceiling Structures Made of Layered High-Performance Concrete*

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1542

Zeitraum | Period

10.2011 – 09.2014

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

Formoptimierte Stützen

In der zeitgenössischen Architektur sind schlanke Stützen ein durchaus beliebtes Gestaltungsmerkmal. Gleichzeitig sind sie als lasttragendes Element ganz wesentliche Teile der Tragkonstruktion von Bauwerken. Die üblicherweise gebauten Stützen haben jedoch in der Regel kreis- oder rechteckförmige Querschnitte, welche über die gesamte Stützenlänge konstant sind. Hier bietet sich durchaus Optimierungspotenzial, welches in diesem Forschungsprojekt im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ untersucht wird. Schaut man in die Natur, so findet man zum Beispiel Bäume mit ihren teils gewaltig hohen Stämmen – effektive Konstruktionen im Pflanzenreich, die einen sehr starken Bezug zur Ingenieurkonstruktion einer Stütze haben. Das Prinzip des Baumes mit seinem Stamm und seinen Ästen ist geprägt von seinem Bestreben, der mechanischen Beanspruchung aus Wind, Schnee und Eigenlast höchstmöglichen Widerstand bei gleichzeitig geringem Materialeinsatz zu leisten.

Bäume sind in ihrer Form optimiert. Das Wachstum gestaltet sich so, dass möglichst nirgends

Spannungsspitzen entstehen. Sie lagern in höher belasteten Bereichen Material an. So wird man immer ausgerundete Astgabeln finden, jedoch keine Kanten oder konstante Querschnitte. Bei Betonstützen versuchte man schon früher, diesen Effekt durch sogenannte Pilzköpfe nachzubilden. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde zunächst dem Übergang zwischen Betonstütze und Decke hinsichtlich der Spannungsverteilung genaueres Augenmerk geschenkt. In einer FEM-Studie wurde stellvertretend eine übliche Hochbaustütze mit einer typischen Beanspruchung beaufschlagt und die Spannungsverteilung im Anschlussbereich zur Decke bei unterschiedlichen Ausrundungen untersucht. Bei der standardmäßigen eckigen Form des Anschlusspunktes ergeben sich sehr große Spannungsspitzen im Eckbereich. Bereits durch einfache dreieckförmige Materialanlagerungen lassen sich die lokalen Spannungen im Eckbereich deutlich reduzieren. Werden stattdessen kreisförmige Formen verwendet, reduziert sich die Spannung weiter. Einen optimierten Spannungsverlauf erreicht man unter Verwendung der Methode der Zugdreiecke oder unter Ansatz einer e-Funktion – der Form, die der Natur am nächsten kommt.



Materialanlagerungen zur Abminderung von Spannungsspitzen an einer Astgabel

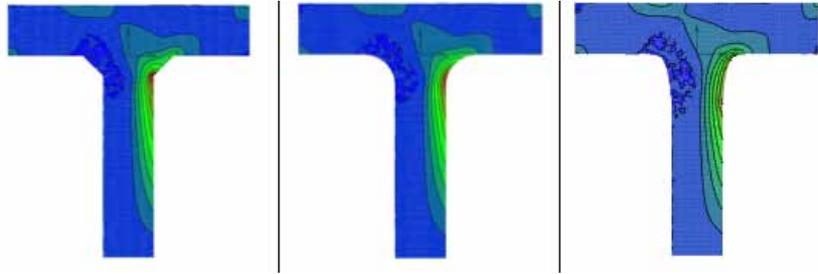
Material addition to reduce stress peaks at a tree fork.

Photo: Silke Scheerer / Visualization: Regine Ortlepp

Columns with Optimized Shapes

Slim columns are a design feature which is quite popular in contemporary architecture. At the same time, columns are an essential element in their function as load-carrying parts of the supporting structure of buildings. Nonetheless, the columns, which are normally applied, usually have a circular or rectangular cross section which remains unchanged for the entire length of the column. This circumstance offers potential for optimization and is examined in this research project which is part of the DFG priority program 1542 „Leicht Bauen mit Beton“. Structures similar to columns in a building can be found in nature. Thus, tree trunks, which can reach huge heights, represent effective structures in plant life that are clearly related to the structure of columns in engineering. It is the aim of the tree's trunk and branches to resist the mechanical stress of wind, snow and their own weight as effectively as possible while making use of very little material at the same time.

The trees' shape is optimized. Their growth works in such a way as not to create any stress concentrations. They add material in those places which are most heavily loaded. Accordingly, the forks of trees are always rounded and no edges or constant cross sections can be found. In earlier



FEM-Studie zur Optimierung im Stützenanschlussbereich: einfache Abkantung, Ausrundung, e-Funktion (v.l.n.r.)

FEM-Study regarding the optimization of curvatures in the place where pillar and roof meet (from left to right) simple splay, round engineering notch, optimized exponential function Visualization: Kathrin Schwiteilo

times, attempts were already made to copy this effect in concrete pillars by constructing so-called mushroom columns. In the beginning, work in the research project focussed on stress distribution in the place where concrete pillar and ceiling meet. In an FEM study, a pillar of the kind which is commonly used in buildings was loaded in such a way as is typical. Then, the area where ceiling and pillar meet was examined with regard to changes in load distribution based on different curvatures. The typical angular shape of the connecting element results in significant stress concentrations in the corners. However, even simple triangular material additions lead to a clear reduction of local stresses in these areas. If the triangular shape is replaced by a circular shape, the stress can be reduced still further. An optimized stress curve can be achieved by applying the method of tensile triangles or using an exponential function which is the shape that is closest to nature.

Titel | Title

Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile |
Cross Sectional Adaption for Rod-Shaped Elements
in Compression

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

07.2011 – 06.2014

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Katrin Schwiteilo, Dr.-Ing. Regine Ortlepp

Blechumformung mit Betonmatrizen

Die Umformung von Blechen erfolgt mit Werkzeugmatrizen, die die spätere Kontur des Bleches vorgeben. Beim konventionellen Tiefziehen werden dafür eine Matrize und ein Stempel benötigt, wobei der Stempel das Blech in die Matrize drückt. Bei wirkmedienbasierten Umformverfahren wird die Aufgabe des Stempels von einem flüssigen Wirkmedium übernommen, was vorteilhaft für den Umformprozess ist. Außerdem lässt sich Material einsparen, da kein Stempel benötigt wird. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die im Allgemeinen aus Stahl oder Legierungen hergestellten Matrizen durch Umformwerkzeuge aus hydraulisch gebundenem Beton zu ersetzen, um somit die Effizienz der wirkmedienbasierten Blechumformung speziell bei Klein- und Kleinstserien noch weiter zu steigern.

Die prinzipielle Eignung eines feinkörnigen ultrahochfesten Betons mit Stahlfaserbewehrung konnte an kleinen Umformwerkzeugen mit einfachen Geometrien bereits im Vorjahr nachgewiesen werden, weshalb der Schwerpunkt der aktuellen Forschung auf der Erweiterung des Anwendungsfeldes für derartige Betonwerkzeuge liegt. Zum einen wird der Einsatz des Betons bei großformatigen Umformwerkzeugen mit komplexeren Geometrien und zum anderen bei einem zweiten Umformverfahren, der Innenhochdruckumformung, untersucht.

Die Versuche mit einem großformatigen Betonwerkzeug mit einer Wannengeometrie ergaben gute Umformergebnisse und zeigen, dass mit einer Betonmatrize gleichwertig geformte Bleche hergestellt werden können. Mit einem seitlichen Stützdruck an den Werkzeugrändern lässt sich die Beanspruchbarkeit der Matrize signifikant erhöhen. Hierbei ist es ausreichend, wenn der Stützdruck passiv wirkt und durch ein formschlüssiges Anliegen des Werkzeugs in einer umlaufenden Werkzeugaufnahmevorrichtung der Presse hervorgerufen wird, wie es z. B. auch bei der Innenhochdruckumformung erfolgt.

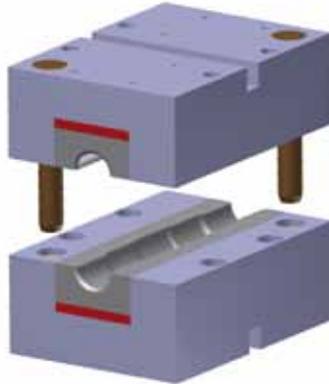
Bei diesem Umformverfahren wird das aus zwei Hälften bestehende formgebende Werkzeug in den Aufnahmevorrichtungen der Presse formschlüssig fixiert und das zu formende Halbzeug, z. B. ein Rohr, zwischen diesen beiden Hälften platziert. Das Wirkmedium gelangt nach dem Schließen der Presse über eine Öffnung in den Innenraum des Halbzeugs, welches sich mit steigendem Umformdruck an die Kontur der Matrize anlegt. Wie schon bei der wirkmedienbasierten Blechumformung können auch bei der Innenhochdruckumformung mittels Betonmatrizen Blechteile mit gleichwertiger hoher Konturgenauigkeit hergestellt werden.



Großformatiges Betonwerkzeug in einer Hochdruckblechumformungspressen
Concrete forming die in a high pressure sheet metal forming press
 Photo: M. Masood Hussain/IUL

Sheet Metal Forming with Concrete Dies

To form sheet metals contour setting forming dies are used at forming processes. Thereby conventional deep drawing methods require a casting form and a punch, which presses the sheet metal into the casting form. For sheet metal hydroforming processes the punch is replaced by a liquid medium, which has proven to be advantageous for the forming process and leads to material savings. The objective of this research project is the substitution of conventional steel and alloy forming tools by forming dies made of hydraulic concrete in order to increase the efficiency of sheet metal hydroforming especially for small badge production.



Innenhochdruckumformung mit Betonmatrizen

Internal high pressure hydroforming with concrete forming dies

Photo: M. Masood Hussain/IUL

The general suitability of a fine-grained ultra-high performance concrete with steel fibre reinforcement for small forming dies with a simple geometry has already been proven in the previous year. Therefore the aim of the recent research is to extend the field of application for those concrete forming dies. In this context the employment of concrete for large-sized forming tools with

complex geometry and for internal high pressure hydroforming process is analysed.

Tests with a large-sized concrete die with trough geometry reveal good forming results. The formed sheet metals show equivalent contours also after several forming procedures with the die. The serviceability limit state of the dies can be increased significantly by applying a lateral pressure. A passive pressure generated by constrained lateral strains due to an interlocking of the adjusting device of the press with the margins of the forming die is sufficient for this purpose. This principle already exists for internal high pressure hydroforming processes: The forming dies consisting of two parts are fixed in the adjusting device of the press while the sheet metal pre-product (e.g. a steel tube) is placed between both die parts. The liquid medium is applied into the sheet metal pre-product after the closure of the press and with increasing pressure the sheets assume the shape of the forming dies. The sheet metals formed with internal high pressure hydroforming process show an equivalent contour accuracy as sheet metals formed with high pressure hydroforming process.

Titel | Title

Entwicklung von formgebenden Werkzeugen aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen für wirkmedienbasierte Umformverfahren | *Development of Forming Dies Made of Hydraulic Binder Agent Materials for Sheet Metal Hydroforming*

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

01.2010 – 10.2012 (2. Periode)

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach (Institut für Massivbau, TU Dresden) | Prof. Dr.-Ing. A. E. Tekkaya (Institut für Umformtechnik und Leichtbau, TU Dortmund)

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Robert Ritter (TU Dresden) | M. Masood Hussain M.Sc. (TU Dortmund)

Eine Schutzhülle aus Stahl- und Spannbeton

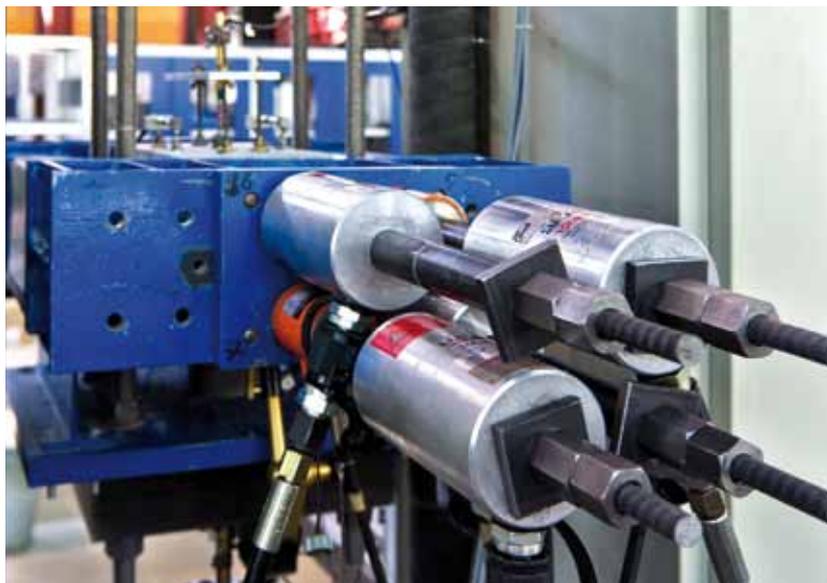
Containments aus Stahl- und Spannbeton nehmen in der Sicherheitsausrüstung bestehender Kernkraftwerke eine wichtige Stellung ein, wo sie im Allgemeinen als äußerer Schutz um den Reaktordruckbehälter angeordnet sind. Im Falle eines Störfalles, bei dem es beispielsweise zu extrem hohen Innentemperaturen kommen kann, werden die Wände des Containments einer zweiaxialen Zugbeanspruchung ausgesetzt, die beim Überschreiten einer kritischen Grenze eine Rissbildung bewirken kann. Ein vollständiger Schutz des Stahl- bzw. Spannbetoncontainments vor radioaktiver Kontaminierung ist dann u. U. nicht mehr gegeben. Daher ist es von großer Bedeutung, die Leckrate infolge Rissbildung auf ein festgelegtes Höchstmaß zu begrenzen. Dafür werden Analysemodelle aufgestellt, die mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode abgebildet und berechnet werden. Für eine hohe Qualität dieser Analysemodelle ist neben der realitätsnahen Erfassung der Einzelkomponenten Stahl und Beton auch die wirklichkeitsnahe Berücksichtigung des Zusammenwirkens beider Materialien von großer Bedeutung.

Ziel des seit Sommer 2012 laufenden Forschungsvorhabens ist es, das Verbundverhalten zwischen Betonstahl und Beton sowie Spannglie-

dern im nachträglichen Verbund realitätsnah zu modellieren. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der durch eine zweiaxiale Zugbeanspruchung hervorgerufenen Quersugbelastung der Betonstähle. Zur Kalibrierung und Validierung des Analysemodells dienen bereits abgeschlossene experimentelle Untersuchungen am Institut.

Schwerpunkt der ersten FE-Simulationen war die exakte Modellierung der mechanischen Verzahnung der Betonstahlrippen mit den dazwischen befindlichen Betonkonsolen. Experimentelles Vorbild waren Ausziehversuche, die mit verschiedenen Betonen und Stahldurchmessern durchgeführt worden waren. Erste Simulationsergebnisse zeigen, dass mit steigender Quersugbelastung das Ausziehversagen in ein Spaltbruchversagen übergeht, was ebenfalls im Versuch beobachtet worden war. Des Weiteren konnten neben dem Zermahlen (crushing) der Betonkonsolen die Ringzugspannungen sichtbar gemacht werden.

Wir erhoffen uns, durch die numerischen Simulationen des Verbundverhaltens Einblicke in die Rissentwicklung zu gewinnen und somit die Vorhersagequalität des Verformungsverhaltens bestehender Containments zu verbessern.

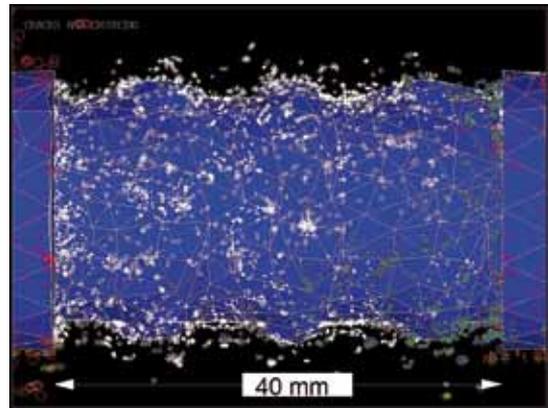


Pull-out-Test mit Quersugbelastung
Pull-out-Test with transverse tensile loading

Protective Cover Made of Steel Reinforced- or Prestressed Concrete

Containments made of concrete with different reinforcement represent a major element in the area of safety equipment of current nuclear power plants. Generally they are used as outer protection for the reactor pressure vessels. In case of a hazard, which could possibly lead to high inner temperatures, the containment walls are being exposed to a biaxial tensile load state. When certain critical boundary is exceeded, those stresses can lead to crack initiations. In this case a complete protection of steel reinforced or prestressed concrete containment against nuclear contamination and radioactivity no longer exists. Therefore it is of high importance to minimize leakage due to cracks in the containment to a pre-set limit. In order to realize that, analysis models are being developed, which can be illustrated and calculated with the help of the finite-element-method. In order to gain high quality insights with this model, a realistic simulation of the individual components steel and concrete as well as the realistic formulation of the interaction of the two materials are of great importance.

Since the summer of 2012, the goal of this research project was set to create a realistic model to describe the bond properties of rebar steel as well as external tendons for a subsequent bonding and concrete. A special focus will be set on the transverse tension of the rebar, resulting from a biaxial tensile load. Already completed experi-



Modellierung eines Ausziehversuches; die weißen Oktaeder kennzeichnen das Zermahlen der Betonkonsolen zwischen den Stahlrippen.

Modeling of a pull-out test; the white octahedral mark the crushing of the concrete between the steel ribs
Graphics: Robert Zobel.

ments at our institute are further being used in order to calibrate and validate the model.

Focus of the first FE simulation was the exact modelling of the mechanic link of the rebar ribs with the concrete console in between. Pull-out tests, which were being carried out with various types of concretes and rebar diameters, represent the experimental lead examples backing those models. First results of the simulations showed, that with an increase in the transverse tension, the pull-out failure ceases for splitting failure, which was also observable in the tests. Aside from crushing the concrete consoles, hoop tensions were being made visible in that process.

With the help of those numerical simulations of the bond properties, we are aiming at insights into the crack initiation development und hence improving the forecast quality of deformation behaviour of existing containments.

Titel | Title

Modellierung des Verbundverhaltens von Beton- und Spannstahl unter Querzug | *Modelling of the Bond Behaviour of Concrete and Prestressed Steel under Transverse Tension*

Förderer | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH als Projektträger des BMWi

Zeitraum | Period

07.2012 – 06.2015

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Robert Zobel

Bauen auf dem Mond – nur Zukunftsmusik?

Das ROBEX-Projekt (Robotic Exploration of Extreme Environments) ist eine Helmholtz-Allianz, bestehend aus dem Alfred Wegener Institut (AWI), dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), dem Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR), der MARUM Universität Bremen, der Jacobs Universität Bremen, dem Deutschen Forschungsinstitut für künstliche Intelligenz (DFKI) sowie den Technischen Universitäten München, Kaiserslautern, Berlin und Dresden. Ziel ist es, zwei bisher separate Forschungsfelder, die beide mit extremsten Umgebungsbedingungen zu tun haben, miteinander zu verknüpfen: die Tiefsee und den Mond. Dabei soll eine übergreifende Allianz zur Identifikation gemeinsamer Technologien entstehen, deren Fokus auf die (Weiter-)Entwicklung mobiler und modularer Infrastrukturen, wie z. B. zentrale Docking-Stationen oder intelligente autonome Steuerungen, gerichtet sein wird.

Mit seiner langjährigen Erfahrung im Bereich der Hochleistungsbetone ist unser Institut kompetenter Partner der Allianz. Im Rahmen eines Teilprojektes soll ein Baustoff zur Konstruktion einer permanenten lunaren Mondbasis aus – vorwiegend – mondeigenen Ressourcen entwickelt werden. Eine solche Basis könnte als Forschungsstation, Schutzkonstruktion oder als Ausgangspunkt für

die Erkundung anderer Planeten, wie z. B. dem Mars, in Zukunft genutzt werden.

Die lunaren Umgebungsbedingungen wie Vakuum, hohe Strahlungsintensität, geringe Schwerkraft und extreme Temperaturunterschiede von ca. -230 bis +120 °C stellen dabei große Herausforderungen an Material und Konstruktion dar. Neben diesen Umwelteinflüssen steht zudem der ressourcenschonende Einsatz des Baumaterials in einer strukturoptimierten Konstruktion im Vordergrund. Der Aufgabenbereich im Forschungsprojekt reicht von der Bestimmung der Materialeigenschaften über die Entwicklung eines Herstellungsverfahrens bis hin zum Entwurf einer vorzugsweise modularen lunaren Basis.

Frühere Ansätze, einen lunaren Beton herzustellen, konnten sich bisher nicht erfolgreich durchsetzen, da jedes Verfahren Schwachstellen hat. Allein die Frage nach dem Vorhandensein von Wasser auf dem Mond spielt eine entscheidende Rolle in der Entwicklung und konnte bisher noch nicht eindeutig geklärt werden. Der Weg bis zur Errichtung einer Mondbasis scheint also auch heute noch endlos weit. Mit unserem Projekt wollen wir dazu beitragen, einen Teil der noch offenen Fragen zu beantworten.



Fertigung einer permanenten lunaren Konstruktion mittels Lunar Contour Crafting

*Manufacturing of a permanent lunar construction
by Lunar Contour Crafting*

Source: <http://wb-3d.com/2012/01/printing-a-home-the-case-for-contour-crafting/>

Building on the moon – only dreams of the future?

The ROBEX-project (Robotic Exploration of Extreme Environments) is a Helmholtz Alliance consisting of the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), the German Aerospace Centre (DLR), the Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (GEOMAR), the MARUM University Bremen, the Jacobs University Bremen, the German Research Centre for Artificial Intelligence (DFKI) as well as the Technical Universities Munich, Kaiserslautern, Berlin and Dresden. It is the aim of the project to connect two up to now separate research fields which both deal with extreme environments: the deep sea and the moon. As a result there should evolve an overarching alliance for identification of common technologies, focusing on the development of mobile and modular constructions as for example central docking stations or intelligent autonomous control.

Our institute is a competent partner of the alliance with wide experiences in the field of high-performance concretes. Part of the project is the development of a construction material from



Regolithersatzstoff

Regolith substitute

Photo: Silke Scheerer

(mainly) lunar resources. A feasible lunar base could be used in the future as research facility, as shielding construction or as starting point for the exploration of other planets, like the Mars.

The lunar environmental conditions as vacuum, high solar and cosmic radiation, reduced gravity and extreme differences in temperature from -230 to $+120^{\circ}\text{C}$ are a major challenge for material and construction. A sustainable and structure optimised construction stands in the foreground besides the environmental influence. The area of responsibility ranges from the investigation of the material properties through development of a production process to the design of a modular building structure.

Early approaches of creating a lunar concrete haven't been successful because of the weak points in each process. The issue of existing water on the moon plays an important role in the development and couldn't have been answered yet. The way of building a lunar base seems endless, also today. We want to contribute with our work to answer a part of the open questions.

Titel | Title

ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments

Förderer | Funding

Helmholtz-Gemeinschaft

Zeitraum | Period

10.2012 – 10.2017

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm

Sandwichplatten aus Textil- und Styroporbeton

Sandwichplatten bestehen aus mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien, welche bei richtiger Ausführung als ein Verbundquerschnitt zusammenwirken. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die Materialien und die Form der einzelnen Schichten derart auszuwählen, dass diese entsprechend der vorherrschenden Beanspruchung und ihrer Leistungsfähigkeit optimal ausgenutzt werden. Zudem soll die Verwendung einer leichten Kernschicht das Eigengewicht von Bauelementen reduzieren helfen.

Eine neuartige Variante, die derzeit am Institut für Massivbau untersucht wird, ist die Kombination von Textilbeton und Styroporbeton. Dabei bestehen die zwei dünnen Randschichten aus Textilbeton. Dieser kann durch die Verwendung von hochfesten Carbongelegen einerseits Zugkräfte aufnehmen und andererseits aufgrund des hochfesten Feinbetons auch hervorragend Druckkräfte abtragen. Die Textilbetonschichten werden mit einer Kernschicht aus einem sehr leichten, aber wenig tragfähigen Styroporbeton kombiniert.

Bei Platten aus dieser Baustoffkombination übernehmen die Textilbetonschichten folglich hauptsächlich die Beanspruchung aus Biegung,

für die Styroporbetonschicht wird hingegen die Querkraftbeanspruchung maßgebend.

Da die Eigenschaften von Textilbeton bekannt sind, liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der Tragfähigkeit der Styroporbetonschicht. Der Styroporbeton besteht im Wesentlichen aus handelsüblichen Styroporkugeln, Sand, Zement, Mikrosilika, Flugasche, Fließmittel, und Wasser. Zu Projektbeginn wurden verschiedene Rezepturen für Styroporbeton mit dem Ziel erprobt, ein Material mit einer maximalen Rohdichte von 1 kg/dm^3 bei gleichzeitig größtmöglicher Druck- und Biegezugfestigkeit zu erhalten. Nachdem die Vorzugsmischung nun zielsicher hergestellt werden kann, konnte mit der Untersuchung der Querkrafttragfähigkeit des Materials begonnen werden. In einem nächsten Schritt wurde deshalb der Einfluss der Schubschlankheit auf die Tragfähigkeit eines Verbundquerschnitts und dessen Versagensarten in 4-Punkt-Biegeversuchen untersucht. Die Probekörper wurden lagenweise nass-in-nass hergestellt, um einen tragfähigen Verbund zwischen den beiden Schichten zu erreichen. Anschließend wurden bisher insgesamt 18 Balkentests mit Schubschlankheiten zwischen 1,5 und 5 durchgeführt, die derzeit ausgewertet werden.



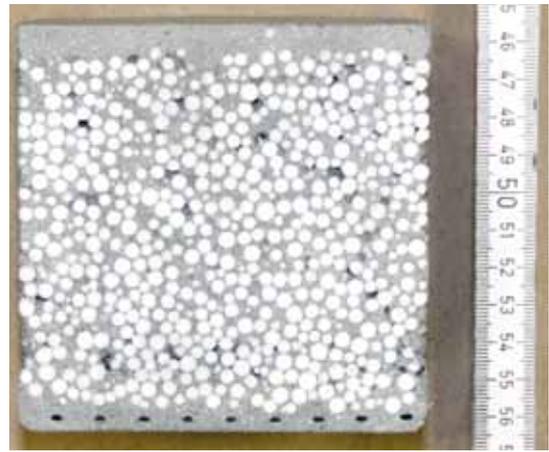
Styroporbetonprobe nach dem Versuch
Polystyrene concrete sample after the test Photo: Viet Anh Nguyen

Textile Reinforced Concrete / Expanded Polystyrene Concrete Sandwich Plates

Sandwich plates consist of different material layers, which are combined in right way to create a composite section. Hence, depend on the properties of selected materials and form of each layer, the correlated capacity and performance of each material can be optimally utilized. In addition, an application of light weight core can help to reduce the self-weight of the structural element.

A novel sandwich variant, which is currently being studied at the Institute of Concrete Structures, is a combination of textile reinforced concrete and expanded polystyrene concrete. In there, textile reinforced concrete is used for two thin boundary layers. Textile concrete is a combination of high strength carbon textile reinforcement and fine high strength concrete, so the layers could bear not only high tensile but also high compressive force. They are combined with very light and low strength expanded polystyrene concrete. For this type of composite plate, textile concrete layer is assumed to bear the effects because of flexural bending and expanded polystyrene concrete core will bear the effects because of shear force.

Because the mechanical properties of textile reinforced concrete are known, this study will focus on load capacity of expanded polystyrene concrete core. Expanded polystyrene concrete mainly consists of commercial polystyrene balls, sand, cement, silica fume, fly ash, super plasticizer, and water. At the beginning of project, some recipes for expanded polystyrene concrete were tested



Sandwich-Probekörper aus Textilbeton-Deckschichten und Styroporbeton im Kern
Sandwich specimen made of outer TRC layers and polystyrene concrete in the core
 Photo: Viet Anh Nguyen

to obtain a concrete that has density smaller than 1 kg/dm^3 with the highest possible compressive and tensile strength. Then, a study on shear resistance of this material could be implemented. Hence, in the next step, the influence of shear to depth ratio on the bearing capacity of this type of composite section and failure modes in four point bending experiment are studied. All of test specimens were fabricated in several layers by wet-in-wet method to achieve a sustainable bond between the layers. Until now, 18 experimental beams with shear to depth ratio in range from 1,5 to 5 have been implemented and evaluated.

Titel | Title

Untersuchung von Sandwichplatten aus Textil- und Styroporbeton | *Textile Reinforced Concrete / Expanded Polystyrene Concrete sandwich plate*

Förderer | Funding

MoET322 Vietnam | Institut für Massivbau, TU Dresden

Zeitraum | Period

10.2010 – 10.2014

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Viet Anh Nguyen

Simulation von Beton unter hohen Dehnraten

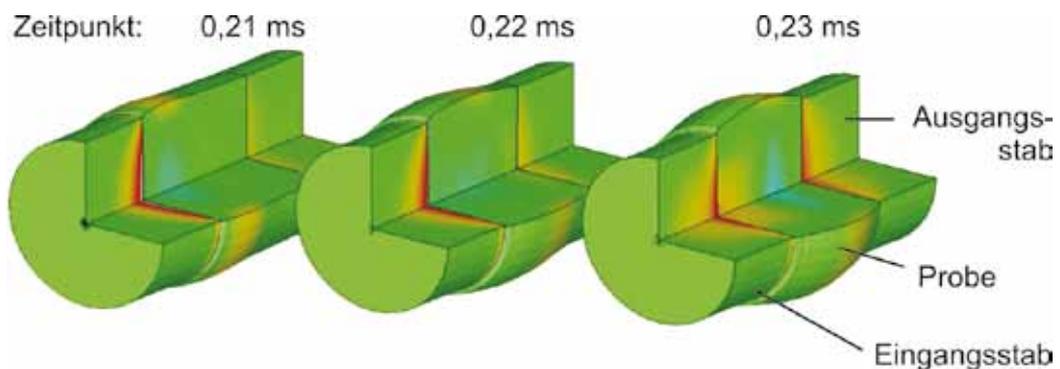
Beton verhält sich unter dynamischer Belastung anders als unter ruhender, statischer Belastung. Dies wurde bereits in zahlreichen Experimenten beobachtet. Doch welche physikalischen Ursachen bewirken dieses Phänomen? Inwiefern ändert sich das Betontragverhalten, wenn die Belastungsgeschwindigkeit weiter gesteigert wird? Was passiert dabei im Inneren eines Bauteils? Können Effekte, die an einer kleineren Laborprobe beobachtet wurden, auch auf größere Bauteile übertragen werden?

Um solche und ähnliche Fragen numerisch zu untersuchen, wird in diesem Forschungsprojekt an einer stoffgesetzlichen Formulierung des Betonverhaltens auf der Makroebene gearbeitet. Die numerische Simulation soll abbilden, was im Inneren eines Betonbauteils passiert und wie sich die Spannungen infolge einer dynamischen Belastung örtlich und zeitlich ändern.

Die Abbildung auf dieser Seite zeigt die Simulation einer Betonprobe, die im einaxialen Split-Hopkinson-Bar unter hohen Verzerrungsraten belastet wird. Dabei ist gut zu erkennen, wie sich die Stoßwelle vom Eingangsstab durch die Betonprobe bis zum Ausgangsstab überträgt. Die Abbildung zeigt auch, dass die Spannungen nahe der Mittelachse der Probe höher sind (rote Bereiche) als am äußeren Rand (grüne Bereiche).

Steigende Belastungsgeschwindigkeiten rufen im Beton steigende Dehnraten hervor. Dabei werden geringere und höhere Dehnraten unterschieden. Für beide Bereiche werden unterschiedliche physikalische Ursachen angenommen. Für kleinere Dehnraten bis ca. 1 1/s führen viskose Effekte in der Betonmatrix bzw. Feuchtigkeitsumlagerungen in den Poren zu einer erhöhten Tragfähigkeit. Bei höheren Dehnraten von ca. 100 1/s treten Trägheitseffekte in den Vordergrund, d. h. die Rissufer öffnen sich verzögert und bewirken somit eine scheinbar höhere Tragfähigkeit. Noch höhere Dehnraten, bei denen dann Zustandsänderungen im Werkstoff eine Rolle spielen, werden in diesem Forschungsprojekt nicht betrachtet.

Die numerische Simulation berücksichtigt neben statischen Annahmen beide oben genannten physikalischen Einflüsse mit dem neu entwickelten VERD-Modell (Visco-Elastic Retarded Damage). Ein Vergleich der berechneten Schädigung (rechtes Bild) zeigt, dass bei einer dynamischen Berechnung mit dem VERD-Modell eine erhöhte Betontragfähigkeit numerisch abgebildet werden kann, wohingegen in einer klassischen, statischen Berechnung die Festigkeitserhöhung des Betons unter dynamischer Belastung unberücksichtigt bleibt und damit eine größere Schädigung im Betonbalken ersichtlich wird.



Simulation eines Versuchs im Split-Hopkinson-Bar
Simulation of an experiment in a Split-Hopkinson bar Visualization: Tino Kühn

Simulation of Concrete Under High Strain Rates

Concrete behaves differently under dynamic loading than at static load. This has been observed in numerous experiments. But what are the physical causes of this phenomenon? How does the behaviour of concrete structures change, when the loading rate is further increased? What happens than inside of a component? Is it possible to transfer effects that have been observed in small laboratory samples to larger components?

To investigate these and similar questions numerically, we work in this research project on a constitutive model to describe the material behaviour of concrete at the macro level. The numerical simulation is intended to reflect what happens inside a concrete structure due to dynamic loading and how the stresses change spatially and temporally.

The picture on the left page shows the results of a concrete sample loaded within a uniaxial Split-Hopkinson bar under high distortion rates. It is easy to see how the shock wave spreads from the input bar through the cylindrical concrete specimen to the output bar. The figure also shows that the stresses near the centre axis of the sample is higher (red areas) than at the outer edge (green areas).

Titel | Title

Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten | Behaviour of Concrete with Extensive Load Rates

Förderer | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH als Projektträger des BMWi

Zeitraum | Period

07.2009 – 12.2012

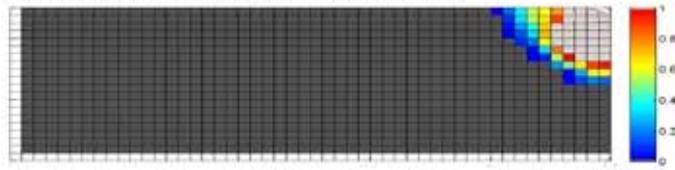
Leiter | Project Manager

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

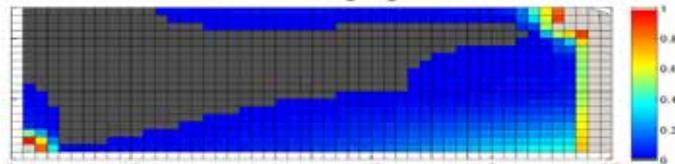
Bearbeiter | Contributors

Tino Kühn M.Sc.

Dynamisches Schädigungsmodell (VERD)



Klassisches „statisches“ Schädigungsmodell



Balken unter Impakt im Modell; oben rechts trifft der Impaktor auf, an der Unterseite entstehen Risse
 Beam under impact in a model, the impactor strikes the upper right, at the bottom cracks emerge
 Visualization: Tino Kühn

Increasing loading rates result in increasing strain rates in the concrete. Here, lower and higher strain rates can be distinguished. One assumes different physical causes for the strain rate increase in both of these regions. For smaller strain rates up to about 1 1/s viscous effects in the concrete matrix or rearrangements of moisture in the pores result in an increased load bearing capacity. At higher strain rates of about 100 1/s inertial effects come to the foreground. That means that the crack opening occurs delayed and thus effects the seemingly higher sustainability. Even higher strain rates, where constitutional changes of the material play a role, are not considered in this research project.

The numerical simulation with the newly developed VERD model (Visco-Elastic Retarded Damage Retarded) takes into account the static assumptions as well as both above described physical effects. A comparison of the calculated damage (right picture) shows that in a dynamic analysis with the VERD model a raised concrete carrying capacity can be represented numerically. In the classical, static analysis the increase in concrete strength under dynamic load was not taken into account and thus a greater damage is evident in the concrete beam.





LEHRE

LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

Die Lehre gehört neben der Forschung zu den Hauptaufgaben einer Universität und nimmt einen entsprechend hohen Stellenwert an unserem Institut ein. Wir möchten die Begeisterung für unser Fach auf die Studentinnen und Studenten übertragen. Wir wollen die Faszination und Innovationskraft unseres Fachgebietes vermitteln und sehen die Studenten als Multiplikatoren, die dieses Wissen in die Praxis hinaustragen oder durch eine Tätigkeit in der Forschung weiterentwickeln.

Unsere MitarbeiterInnen betreuen überwiegend Lehrveranstaltungen des Diplomstudiengangs Bauingenieurwesen (BIW) und des Masterstudiengangs „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies“ (ACCESS). Überdies werden Lehrveranstaltungen für die Bachelorstudiengänge Wasserwirtschaft und Lehramt Berufsbildende Schule angeboten. Bei der Durchführung der Lehrveranstaltungen setzen wir bewusst auf die Einbindung junger Kollegen,

um neue Ideen mit den langjährigen Erfahrungen unserer Professoren und Postdoktoranden zu kombinieren und weiterzuentwickeln.

Als Gradmesser für die Qualität der Lehrveranstaltungen sehen wir vor allem das Urteil der Studenten. Neben den obligatorischen Evaluationen suchen wir das Gespräch mit den Studenten, um Anregungen und Kritik aus erster Hand zu erfahren. Besonders direkten Kontakt pflegen wir zu den mehr als 50 studentischen Hilfskräften am Institut, die direkt in die Forschungsarbeit eingebunden werden. Dies erfordert sowohl fundiertes Wissen als auch Phantasie und Kreativität – ein ideales Aufgabenfeld für begabte und motivierte Studenten und zukünftige Ingenieure.

Gleichzeitig fließen die Anforderungen der Bauindustrie an Hochschulabsolventen in die Lehrkonzeption ein. So können wir unseren Studenten einen optimalen Start ins Berufsleben ermöglichen.



Bei Übungen haben die Studentinnen und Studenten die Gelegenheit, Fragen direkt kompetent beantwortet zu bekommen.
Im Bild: Dipl.-Ing. Steffen Schröder (links, verdeckt) und Prof. Manfred Curbach diskutieren Entwürfe.

Stahlbetonbau (BIW 2-05)

Dr.-Ing. Kerstin Speck,
Dipl.-Ing. Robert Ritter

4. Semester: 2 SWS Vorlesung
5. Semester: 1 SWS Vorlesung / 1 SWS Übung
6. Semester: 2 SWS Vorlesung / 2 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Entwurfs-, Konstruktions- und Bemessungsgrundlagen des Stahlbetonbaus sowie die wesentlichen Modelle für den Nachweis typischer Stahlbetonbauteile.

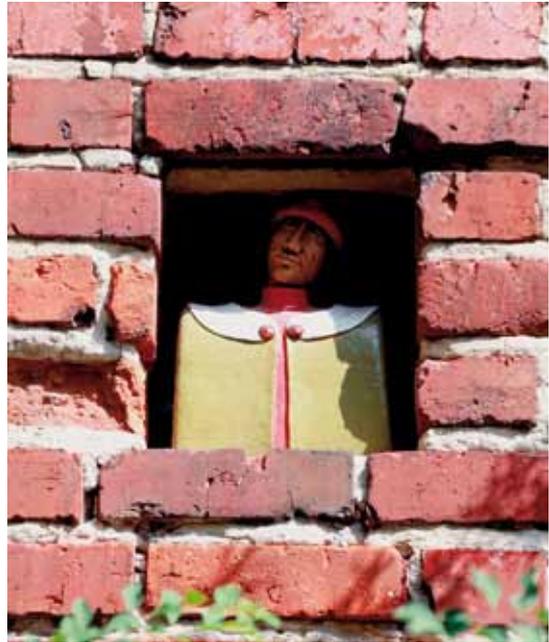
Die Studierenden besitzen nach Abschluss des Moduls, ausgehend von den Festigkeits-, Verformungs- und Verbundeigenschaften der Materialien Beton und Bewehrungsstahl, Kenntnisse über die Berechnungsmodelle der Tragfähigkeit bei Beanspruchung infolge Biegung, Längskraft, Querkraft und Torsion sowie deren Kombinationen. Eingeschlossen sind die Stabilitätsnachweise für verschiebliche und unverschiebliche Systeme. Ferner kennen sie die den Gebrauchszustand kennzeichnenden Parameter (Rissbildung, Durchbiegungen, Kriech- und Schwindverformungen, Spannungen). Die Prinzipien der Verankerungen und Verbindungen von Bewehrungselementen werden beherrscht. Die Studierenden sind nach Abschluss des Moduls in der Lage, übliche Querschnitte und Bauteile aus Stahlbeton zu entwerfen, zu konstruieren und zu bemessen. Die Studierenden verstehen die Wirkungsweise des Spannbetons und kennen die üblichen Spannverfahren. Die Besonderheiten und die Vorzüge gegenüber dem klassischen Stahlbeton werden erkannt. Die Studierenden sind in der Lage, die Auswirkungen einer Vorspannung auf die Schnittgrößen im Tragwerk (Lastfall Vorspannung, Reibung und Keilschlupf, Schwinden und Kriechen) zu berechnen sowie Spannbetonbauteile zu entwerfen und zu konstruieren.

Konstruktionslehre und Werkstoffmechanik im Massivbau (BIW 3-02)

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

5. Semester: Mauerwerksbau 1 SWS Vorlesung
6. Semester: Stahlbetonkonstruktionslehre
2 SWS Vorlesung / 1 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Besonderheiten der Baustoffkunde des Massivbaus sowie des Trag-



5. Semester: Mauerwerksbau
Bild: Silke Scheerer

verhaltens und der Konstruktionsweisen. Zusätzlich zu den vom Institut für Massivbau betreuten Lehrveranstaltungen werden im 5. Semester eine Vorlesung und eine Übung zur Werkstoffmechanik im Massivbau vom Institut für Baustoffe angeboten.

Die Studierenden besitzen nach dem Abschluss des Moduls vertiefte Kenntnisse zum Festigkeits-, Verformungs- und Bruchverhalten von Beton unter Zug- und Druckbeanspruchung, zum Entstehen von Zwangs- und Eigenspannungen infolge Temperatur- und Feuchteänderungen sowie zum Kriechen und Schwinden.

Aufbauend auf der vertieften Kenntnis der Baustoffeigenschaften sind die Studierenden in der Lage, werkstoffgerecht mit den Konstruktionselementen des Massivbaus umzugehen. Als wesentliche Grundlage besitzen sie hierzu die Fähigkeit, die Fachwerkmodelle des Massivbaus zu verstehen und richtig anzuwenden. Sie erkennen die speziellen Trageigenschaften von Platten, Scheiben, Fundamentkörpern aus Stahlbeton und berücksichtigen dies bei deren Bemessung, Konstruktion und Bewehrungsführung. Daneben kennen die Studierenden die wesentlichen Grundmerkmale des Mauerwerksbaus sowie dessen spezielle Bemessungs- und Konstruktionsmethoden.

Entwurf von Massivbauwerken (BIW 4-11)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
 Dr.-Ing. Harald Michler, Dr.-Ing. Silke Scheerer,
 Dipl.-Ing. Katrin Schwiteilo,
 Dipl.-Ing. Steffen Schröder

7. Semester: 2 SWS Vorlesung
 8. Semester: 1 SWS Vorlesung / 3 SWS Seminar

Inhalt des Moduls ist der Entwurf von Ingenieurbauwerken wie Brücken, Hochhäuser, Türme und von anderen Bauwerken unter Berücksichtigung geeigneter Konstruktionsweisen und Bautechnologien sowie deren funktionaler und gestalterischer Wirkung.

Die Studierenden beherrschen nach Abschluss des Moduls die Grundprinzipien des konzeptionellen Entwurfs von Tragwerken. Sie kennen die üblichen Tragwerkstypen für die verschiedenen Arten von Ingenieurbauwerken und sind in der Lage, dieses Wissen auf spezifische örtliche und funktionale Situationen anzuwenden. Sie verstehen die ganzheitlichen Entwurfskriterien hinsichtlich Form und Konstruktion, Funktionalität sowie Ökologie und Ökonomie. Die Studierenden können selbständig geeignete Systeme entwerfen, modellieren und berechnen. Sie sind in der Lage, die Entwürfe

gemeinsam im Team zu entwickeln und diese vor einem Fachpublikum zu präsentieren.

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

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
 Dipl.-Ing. Gregor Schacht, Dipl.-Ing. Robert Zobel,
 Dr.-Ing. Torsten Hampel

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 / 0,5 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind Analyse und Nachrechnung sowie Instandsetzung und Verstärkung von bestehenden Massivbauwerken.

Die Studierenden kennen nach Abschluss des Moduls die typischen historischen Massivbaukonstruktionen sowie die Methoden der statisch-konstruktiven Bauwerksdiagnose dieser Bauwerke mit Hilfe von rechnerischen und experimentellen Verfahren. Sie sind in der Lage, bestehende Massivbauwerke hinsichtlich ihres Zustands und Tragverhaltens zu analysieren und die erforder-



7. Semester: Brückenbau. Foto von der Brückenbauexkursion 2012 in die Schweiz Bild: Stephan Pröhl

lichen Verstärkungsmaßnahmen zu planen und zu berechnen. Einen Schwerpunkt bildet dabei auch die Verstärkung mit Hilfe von Textilbeton. Die Studierenden besitzen nach dem Abschluss des Moduls vertiefte Kenntnisse zur modernen Betontechnik beim Bauen im Bestand und beim Neubau insbesondere in Bezug auf Herstellung, Eigenschaften und Anwendungsgebiete von Hochleistungsbetonen mit und ohne Faserbewehrung. Die Lehrveranstaltungen (0,5 SWS Vorlesung, 0,5 SWS Übung) zu den Hochleistungsbetonen werden vom Institut für Baustoffe betreut.

Brückenbau (BIW 4-16)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Martin Just M.Sc.

7. Semester: Massivbrückenbau
2 SWS Vorlesung

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

Die Studierenden kennen nach Abschluss des Moduls die Lastannahmen von Brücken, die neben Eigengewicht und Verkehrslasten der verschiedenen Nutzungsformen auch Temperatur, Windwirkungen einschließlich aerodynamischer Effekte und Schiffsanprall beinhalten.

Die Studierenden sind mit den verschiedenen Brückentypen wie Balken-, Bogen-, Schrägkabel- und Hängebrücken vertraut und in der Lage, Brücken in unterschiedlichen Bauweisen zu entwerfen, zu konstruieren und zu berechnen. Ferner kennen sie Regeln zur ästhetischen Gestaltung und Ausführung der Brücken. Die Studierenden verstehen den Zusammenhang zwischen örtlichen Gegebenheiten, gestalterischen Anforderungen und Montageverfahren und können diesen in die Tragwerksplanung der Brücken einbeziehen. Sie sind in der Lage, geeignete Berechnungsmodelle zu erstellen und Tragwerksanalysen durchzuführen. Die wichtigsten Ausrüstungselemente für Brückenbauwerke, wie z. B. Übergangskonstruktionen, Lager und Entwässerungseinrichtungen, sind ihnen bekannt.

Vom Institut für Massivbau wird die Vorlesung Massivbrückenbau betreut. Zum Modul

gehören noch eine Vorlesung zum Stahl- und Verbundbrückenbau, die vom Lehrstuhl für Stahlbau betreut wird (2 SWS Vorlesung), und die Vorlesungsreihe Schrägkabelbrücken, die von Prof. Svensson gehalten wird (1 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung).

Beton im Wasserbau und Stahlwasserbau (BIW 4-52)

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

8. Semester: 1 SWS Vorlesung

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

Nach dem Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden Kenntnisse über besondere Betone und Betonierverfahren im Wasserbau (Unterwasserbeton, Walzbeton u. a.), die Dauerhaftigkeitsprognose und -bemessung für Wasserbauwerke sowie deren Schutz und Instandsetzung. Sie wissen um die Auswirkungen von Hydratationswärme, Temperaturspannungen, Zwangs- und Eigenspannungszuständen sowie um die Rissbildung und Rissbreitenbeschränkung. Des Weiteren beherrschen sie maßgebende konstruktive Details wie Bauwerksfugen und Fugendichtungen. Die Studierenden kennen sich mit den Tragwerken spezieller Bauwerkstypen wie Weiße Wannen, Behälter und Schleusen sowie mit dem speziellen Normenwerk des Betons im Wasserbau aus. Die Studierenden sind mit den Verschlussstypen des Stahlwasserbaus und deren konstruktiven und statischen Besonderheiten vertraut. Sie verfügen über Kenntnisse zur Konstruktion und Berechnung (statische Modelle, Lastannahmen, Normen) von Wehrverschlüssen, Schleusen- und Segmenttoren sowie Notverschlüssen. Die Studierenden kennen verschiedene Dichtungstypen, deren Anforderungen und Belastungsdrücke.

Vom Institut für Massivbau wird die Vorlesung Spezialbauwerke des Wasserbaus betreut. Zum Modul gehören noch eine Vorlesung zum Beton im Wasserbau, die vom Institut für Baustoffe betreut wird (2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung), und die Vorlesungsreihe Stahlwasserbau, die vom Lehrstuhl für Stahlbau betreut wird (1 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung).

**Bauökologie – Bautechnik
(BIW 4-56, BA-BT-M 08)**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

7. Semester: Nachhaltige Tragwerksplanung
1 SWS Vorlesung

Inhalt des Moduls sind das Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen, die Instandhaltung von Bauwerken, Umweltverträglichkeit von Baustoffen sowie Baustoffrecycling und nachhaltige Tragwerksplanung.

Nach Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden vertiefte Kenntnisse zur Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen im Bauwesen mit dem Schwerpunkt auf umweltschonenden Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien. Sie beherrschen die Grundlagen der umweltfreundlichen Instandhaltung von Bauwerken und sind in der Lage, die Umweltverträglichkeit von Baustoffen von der Herstellung über deren Nutzung bis zur Entsorgung bzw. Wiederverwertung zu beurteilen. Darüber hinaus besitzen sie Kenntnisse über umweltschonende Herstell- und Recyclingtechnologien für Massenbaustoffe einschließlich Asphalt. Die Studierenden wissen um Aufbereitungstechniken anfallenden Bauschutts und die Wiederverwendung des so gewonnenen Materials. Außerdem sind ihnen Besonderheiten der nachhaltigen Bauwerksplanung, der Produktion, des Transports und der Montage sowie der erforderlichen ökologisch relevanten Nachweise samt Konstruktionsbeispielen bekannt.

Vom Institut für Massivbau wird die Vorlesung Nachhaltige Tragwerksplanung betreut. Zum Modul gehören noch eine Vorlesung zum Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen, die vom Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen betreut wird (2 SWS Vorlesung), die Vorlesungsreihe Baustoffrecycling, die vom Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau betreut wird (2 SWS Vorlesung), und die Vorlesungsreihe Instandhaltung von Bauwerken und Umweltverträglichkeit von Baustoffen, die vom Institut für Baustoffe betreut wird (1 SWS Vorlesung).

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

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

7. Semester: 4 SWS Vorlesung
und 2 SWS Übung

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

Die Studierenden kennen nach Abschluss des Moduls die wesentlichen methodischen Grundlagen der Anwendung numerischer Rechenverfahren auf die Probleme des Stahlbetonbaus. Für eine gegebene Problemstellung können sie zweckmäßige Modelle und Lösungsverfahren auswählen und geeignete Programme anwenden. Sie können die Ergebnisse zutreffend interpretieren und die Anwendungsgrenzen erkennen.

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

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

7. Semester: 4 SWS Vorlesung
und 2 SWS Übung

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

Die Studierenden kennen nach Abschluss des Moduls erweiterte finite Elemente (XFEM), elementfreie Galerkinverfahren (EFG) und ihre Anwendungsmöglichkeiten auf Kontinua mit



1. Semester: Grundlagen des Stahlbetonbaus. Foto von der Brückenbauexkursion 2012 in die Schweiz
Bild: Stephan Pröhl

Diskontinuitäten, z. B. Risse. Sie verstehen die Unterschiede zwischen der Lagrange-Beschreibung und der Eulerschen Beschreibung eines Kontinuums sowie die Methodik ihrer Kopplung mit der ALE-Beschreibung. Sie begreifen die Verfahren der Fluid-Struktur-Interaktion und sind in der Lage, diese auf entsprechende Problemstellungen anzuwenden. Schließlich überschauen sie die wesentlichen Ansätze der Fehlerschätzer für Finite-Elemente-Verfahren und der darauf aufbauenden adaptiven Diskretisierungsmethoden.

Design of Concrete Structures (ACCESS, BIWE-01)

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

2. Semester: 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung

Inhalte des Moduls sind bemessungsrelevante Betoneigenschaften, das Tragverhalten unter mehraxialer Beanspruchung, spezielle Eigenschaften des Werkstoffs Beton als Basis für eine Modellierung, Bemessungsverfahren für bewehrte Betonbauteile gemäß gültiger Normen und Vorschriften einschließlich Verfahren zur Plausibilitätskontrolle und spezielle Verstärkungsmethoden für Stahlbetonkonstruktionen und die zugehörigen Berechnungsmodelle, z. B. Spritzbeton, Stahllamellen, FRP-Systeme oder textilibewehrter Beton zur Verstärkung.

Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, Materialparameter für Beton in der Modellierung gezielt festzulegen, Ergebnisse von Berechnungsprogrammen auf Plausibilität zu prüfen sowie Verstärkungsmaßnahmen für bestehende Stahlbetonkonstruktionen zu planen und zu berechnen.

Grundlagen des Stahlbetonbaus (BWA14)

Dr.-Ing. Silke Scheerer,
Martin Just M.Sc.

1 Semester: 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Das Modul bietet eine Einführung in die Stahlbetonbauweise. Es werden die speziellen Baustoffeigenschaften sowie das Zusammenwirken der beiden Baustoffe Stahl und Beton im Verbund erläutert und die Grundlagen der Schnittgrößenermittlung, Bemessung und konstruktiven Durchbildung der wichtigsten Bauteile im Massivbau vermittelt. Auf die Besonderheiten bei wasserwirtschaftlichen Bauwerken aus Stahlbeton wird eingegangen.

Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, einfache Stahlbetonbauteile selbstständig zu konstruieren und zu bemessen.

PROJEKTARBEITEN | PROJECT WORKS

WINTERSEMESTER 11/12 | WINTER TERM 11/12

Im 9. Semester wird im Diplomstudiengang Bauingenieurwesen 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 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 fertigen die Studenten des englischsprachigen Masterstudiengangs „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies – ACCESS“ im dritten Semester eine Project Work an.



*Extended Life of Swimming Pools
through Life Cycle Costs
Photo: Stephan Kroll*

Stephan Kroll

Extended Life of Swimming Pools through Life Cycle Costs (Verlängerung der Nutzungszeit von Schwimmbädern durch Lebenszykluskosten) (Projektarbeit)

Swimming pools constructed with reinforced concrete require a high level of expertise within both, its planning and execution. To build waterproof concrete shells, extensive concrete technology knowledge, detailed planning of joint formation and high quality safety measures are needed. This thesis evaluates concrete technology features for swimming pool construction in Germany and Sweden. In particular, guidelines by DAfStb, DIN and DgfdB provide the planner with detailed advice and specifics about swimming pools.

It also gives an overview about the actual condition of swimming pools in Sweden that reached an age of at least 30 years and shows structural consequences of mistakes in planning and construction of swimming pools.

The aspect of financial consequences is also analyzed. With the support of the software "Legep", the methodology of LCC was used to estimate costs in the future. Additionally, a proposal of post tensioned concrete as a more sustainable technology for watertight concrete basins is shown and under equal aspects analyzed and compared.

Robert Bauch

Entwurf einer Basketball-Wettkampfhalle (Projektarbeit)

Auf Grundlage eines studentischen Wettbewerbs in Österreich wurde eine Basketball-Wettkampfhalle geplant. Diese soll nach ihrer Fertigstellung den ansässigen Heimteams eine moderne, barrierefreie und multifunktionale Spielstätte bieten. Neben dem Basketballstadion mit eigener VIP- und Presselounge sind ein Restaurant und ein Fanshop vorgesehen. Weiterhin wurde der gesamte Komplex als barrierefreies Bauwerk angelegt. Hierbei wurde neben dem Bereich für Zuschauer vor allem auch besonderes Augenmerk auf den Spielerbereich gelegt, da eines der ortsansässigen Teams Rollstuhl-Basketball spielt. Aufgeteilt sind die Bereiche für Zuschauer und Spieler in zwei autark voneinander funktionierende Geschosse, um Rücksicht auf die Privatsphäre der Spieler zu nehmen und größtmögliche Freiheit bei der Raumaufteilung zu erzielen. Der

Stadionbereich im dritten Obergeschoss wurde unter Zuhilfenahme einer Sichtlinienkonstruktion geplant und umfasst rund 2.550 Sitzplätze. Diese sind so angelegt, dass Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen ohne Hilfe an die eigens für sie angelegten Plätze gelangen können. Den horizontalen Abschluss bildet eine Stahlbetonschale.

Neben dem architektonischen Entwurf der dreigeschossigen Halle wurde weiterhin das Tragwerk auf Plausibilität untersucht und anschließend bemessen. Ausgeführt wird die gesamte Halle in Ortbetonbauweise, welche ein Kriterium des Wettbewerbs war.

Lukas Müller

Zur Auswertung und Visualisierung des Beanspruchungszustands von Stahlbetonbauteilen mithilfe von Hauptspannungstrajektorien

(Projektarbeit)

Beanspruchungszustände in Stahlbetonbauteilen können unterschiedlich visualisiert werden. Spannungsschnitte und Spannungshöhenlinien mit Farbskalen stellen die Größe der Hauptbeanspruchung dar. Übliche FE-Programme liefern außerdem punktuelle Aussagen über die Hauptspannungsrichtung und die Hauptspannungsgröße an den Elementknoten oder den Integrationspunkten. Mit Hilfe von Hauptspannungstrajektorien ist es jedoch möglich, die Hauptspannungsrichtungen innerhalb eines Bauteils kontinuierlich abzubilden. Das Ergebnis der Arbeit ist ein Programm, welches den Verlauf der Hauptspannungstrajektorien auf Grundlage der Ergebnisse einer FE-Berechnung numerisch ermittelt und grafisch darstellt.

Zunächst werden die unterschiedlichen Darstellungsformen der Hauptspannungstrajektorien in der Literatur vorgestellt, welche anfangs mittels aufwendiger spannungsoptischer Versuche bestimmt wurden. Das entwickelte Programm zur Ermittlung der Hauptspannungstrajektorien aus den FE-Ergebnissen besteht aus einem Hauptprogramm und 14 Unterprogrammen. Die Funktionsfähigkeit des entwickelten Algorithmus wird anhand von verschiedenen Beispielen demonstriert. Die Darstellung der Hauptspannungstrajektorien erfolgt durch farbige Linien. Mit der zugehörigen Farbskala kann der Spannungswert am betrachteten Punkt abgelesen werden.

Die Darstellung der Hauptspannungstrajektorien ist für die Entwicklung von Stabwerkmodellen eine große Hilfe. Auch Lernenden vermitteln die Hauptspannungstrajektorienbilder einen anschaulichen Eindruck über das Tragverhalten des Bauteils.

Nina Schäfer

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

(Projektarbeit)

Das Flachdeckensystem in einem Stahlbetonskelettbau wurde mit geeigneten Verfahren berechnet, bemessen und konstruiert. Zunächst werden Betonfestigkeitsklasse, erforderliche Plattendicke und Lasten ohne Vorspannung ermittelt. Die Schnittkräfte werden zum einen durch Verwendung eines Näherungsverfahrens nach der Plattentheorie und zum anderen durch ein vom Institut entwickeltes FEM-Programm bestimmt und die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit geführt.

Als alternative Variante wurde die Flachdecke noch einmal unter Einbeziehung einer Vorspannung ohne Verbund bemessen und konstruiert und die Möglichkeit der Verringerung der Deckendicke durch die den Lasten entgegenwirkende Vorspannung genutzt. Bei der Wahl der Vorspannung werden zwei Arten der Spanngliedführung betrachtet. Bei der freien Spanngliedlage wird das Spannglied nur an den Hoch- und Tiefpunkten fixiert und hängt ansonsten frei durch. Bei der parabolischen Spanngliedführung wird der

parabelförmige Verlauf des Spannglieds dagegen durch Unterstützungen gewährleistet.

Durch die Vorspannung kann im Grenzzustand der Tragfähigkeit theoretisch Bewehrungsstahl eingespart werden, jedoch wurde die Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite maßgebend. Außerdem übersteigen die hohen Kosten für den Spannstahl alleine schon die Gesamtkosten für die Decke ohne Vorspannung bei weitem, obwohl nur ein geringer Vorspanngrad erforderlich war.

Insgesamt ist zu sagen, dass durch Vorspannung zwar Einsparpotential an der Deckendicke möglich ist, aber die Wirtschaftlichkeit erst bei größeren Spannweiten hergestellt werden kann.

Ekkehard Schulze

Variantenuntersuchung eines Schwimmhallen-Dachbinders

(Projektarbeit)

Für den Neubau einer 50-Meter-Schwimmwettkampfhalle auf dem Gelände des Schwimmsportkomplexes Freiburger Platz in Dresden war die bestmögliche Ausführung eines knapp 40 m langen und nicht unterstützten Trägers zu ermitteln. Die Aufgabenstellung wurde in Zusammenarbeit des Ingenieurbüros Leonhardt, Andrä und Partner, Beratende Ingenieure VBI, GmbH und dem Institut für Massivbau der Technischen Universität Dresden erarbeitet.

Im Rahmen der durch den Bauherren, die Stadt Dresden, und das betreuende Architekturbüro Code Unique vorgegebenen Randbedingungen galt es zunächst, für einen vollwandigen Trä-



Berechnungen von punktgestützten Platten
– hier ein Foto der Alten Mensa Dresden
Bild: Ulrich van Stipriaan

Die Augustusbrücke in Dresden
Bild: Ulrich van Stipriaan



ger eine Materialstudie für einen 2,10 m hohen Brettschichtholz-, Stahl- und Spannbetonbinder durchzuführen. Die Lösung eines satteldachförmig ausgeprägten Betonbinders mit interner Spannbettvorspannung und externen Spanngliedern setzte sich durch.

Es wurden außerdem mehrere Fertigungsweisen miteinander verglichen. Als die wirtschaftlichste Lösung stellte sich trotz des Gewichtes und der Länge eine Variante heraus, die im Werk vollständig am Stück vorgefertigt wird und bei der die Montage der externen Spannglieder auf der Baustelle geschieht.

Unter Ausnutzung von Grenzzustandsfunktionen, die auf den maßgebenden Spannungszuständen im Bau- und Endzustand basieren, war es möglich, die optimalen Querschnittswerte und die bestmögliche Lage der Spannglieder zu ermitteln. Das Ergebnis der Untersuchung ergab eine Ausnutzung der Spannglieder von über 95 % und reduzierte das Gewicht des Binders von über 50 t auf 40 t.

Denise Vosseler

Instandsetzung / Sanierung historischer, denkmalgeschützter Gewölbebrücken am Beispiel der Augustusbrücke Dresden
(Projektarbeit)

Die Augustusbrücke über die Elbe in Dresden wurde zwischen 1907 und 1910 als Stampfbetonbogenbrücke errichtet. Sie verbindet die historischen Kerne der Altstadt und der Neustadt miteinander.

Die Brücke hat besonderen kulturhistorischen Wert und muss, um erhalten zu bleiben, regelmäßig instandgesetzt und saniert werden.

In der Projektarbeit wurde die historische Gewölbebrücke intensiv analysiert und ein Konzept für die Instandsetzung bzw. Sanierung erarbeitet. Bei dem Sanierungskonzept steht die Erhaltung des vorhandenen Mauerwerks im Vordergrund und es ist eine Beseitigung von vorhandenen Schäden durch Restauration, Ersatz mit den Originalbaustoffen möglichst ähnlichen Baustoffen geplant. Gleichzeitig waren neue Nutzungskonzepte zu beachten, gegeneinander abzuwägen und mit einzubeziehen.

Die Standsicherheit der bestehenden Bogen-tragwerke wurde rechnerisch überprüft, wofür entsprechende Materialparameter am Bauwerk ermittelt wurden. Für den Ersatzneubau des linkselbischen Bogens über dem Terrassenufer in Stahlbetonbauweise wurde eine Bemessung durchgeführt. Zu den einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen der historischen Bausubstanz wurden geeignete Restaurationssysteme und Ersatzbaustoffe untersucht und vorgeschlagen. Die Anforderungen durch Denkmalschutz sind bei allen Teilproblemen zu beachten gewesen, insbesondere bei den Sanierungsmöglichkeiten für Oberbau, Geländer, Beleuchtung und Verblendung. Für eine geplante Kompletterneuerung des Gleisbettes der Straßenbahn wurden verschiedene Schienenlagerungs- und Gleisbausysteme verglichen. Das Sanierungskonzept schlägt konkrete Instandsetzungsmaßnahmen und prinzipielle Bauabläufe vor.

„Markantes Stadttor
und Anregung zu weiteren
Erkundungen der Stadt Ahlen“ –
Projektarbeit von Robert Zobel



Hassan Youssef

Stützenverstärkung mit textilbewehrtem Beton

(Projektarbeit)

Nicht mehr ausreichend tragfähige Stahlbetonstützen können mit textilbewehrtem Beton auf effiziente Weise verstärkt werden. Die erhöhte Tragfähigkeit resultiert hierbei hauptsächlich aus einer Umschnürungswirkung der textilen Bewehrung. In der Projektarbeit sollte die Frage geklärt werden, inwieweit Modelle aus dem Bereich der mehraxialen Festigkeit von Beton für die Vorhersage der Tragfähigkeit umschnürter Stützen sinnvolle Ergebnisse liefern.

In der Projektarbeit wurden zunächst aus Versuchen vorhandene Messdaten an kurzen Stützen mit Kreis- und Quadratquerschnitt, unterschiedlicher Lagenanzahl sowie Carbonfasersteifigkeit ausgewertet. Anschließend wurden drei verschiedene Rechenmodelle zur Vorhersage der Tragfähigkeit geprüft.

Die Auswertung der Versuche ergab einen großen Einfluss der Bewehrungslagenanzahl sowie einen davon abhängigen Einfluss der Querschnittsform. Eine Umschnürungswirkung wird bei Kreisstützen erst bei größeren Lagenanzahlen erreicht. Die Verwendung von Hochmodulfasern aus Carbon wirkt sich – verglichen mit normalmoduligen Carbonfasern – negativ auf die Tragfähigkeit der umschnürten Stützen aus. Die Auswertung der Querdehnzahlen über die Last zeigt bis kurz vor dem Kernversagen einen annähernd konstanten Verlauf. Das Umschnürungsmodell nach Ortlepp/Lorenz/Curbach weist die geringste Abweichung von den gemessenen Versuchswerten im Vergleich zu den Modellen nach Dahl und DIN EN 1992-1-1 auf.

Robert Zobel

Überwindung des Bahndammes und Neugestaltung des Bahnhofs sowie des näheren Bahnhofsumfeldes der Stadt Ahlen

(Projektarbeit)

Die Stadt Ahlen liegt im westlichen Münsterland und es leben heute 54.000 Einwohner in der mittelständischen Stadt. Grundstein der industriellen Entwicklung in Ahlen bildete der Bau der Köln-Mindener-Eisenbahnlinie im Jahre 1847, die weite Teile Westfalens mit dem Rheinland und darüber hinaus Paris mit Moskau verband. Die wachsende Montanindustrie veränderte die Landschafts-, Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur der Stadt. Aufgrund der höheren Anforderung an die Verkehrsinfrastruktur wurde 1916 der Bahnkörper der Eisenbahnlinie nach oben gelegt, um den Güterverkehr reibungslos um die neu entstandenen Straßen zu legen. Der entstandene Bahndamm im Stadtgebiet bildet eine städtebauliche Zäsur und trennt dabei die Stadt in zwei Hälften.

Primäre Aufgabe der Projektarbeit ist es, den Bahnkörper zwischen dem bürgerlichen Stadtkern im Westen und dem vom Bergbau geprägten Osten aufzulockern und somit eine Verbindung zwischen den gegensätzlichen Gebieten herzustellen. Dies erfolgte durch eine Neustrukturierung des Bahnbereiches. Der Bahnhof dient schließlich als Verbindungsglied zwischen dem individuellen und öffentlichen Nah- und Fernverkehr. Einer der wichtigsten Grundsätze bei der Gestaltung des Bahnhofsumfeldes ist die Einhaltung möglichst kurzer Laufwege zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln. Des Weiteren enthält das neue Bahnhofsgebäude einen Kiosk, einen Zeitschriftenladen, eine Bäckerei mit Café und ein Reisezentrum und zudem wird ebenfalls eine Überdachung der Bahnsteige und des Busbahnhofes sichergestellt.



Mohamed Anndif:
Comparison of different
methods of strain gauge
application on reinforcing steel

Der erarbeitete Entwurf schafft ein markantes Stadttor und regt die An- und Abreisenden zu weiteren Erkundungen der Stadt Ahlen an.

Mohamed Anndif

Comparison of different methods of strain gauge application on reinforcing steel
(Project Work)

In recent years, many researchers involved in investigations of measuring strains of reinforced bars by using strain gauges. Moreover, the installation of strain gauges in reinforced concrete challenged because there are a lot of factors affected (independent of reinforced concrete).

The purpose of this study is to compare the results of four different methods (applied on steel rod surface (INTERN), subsequently applied on steel surface (FENSTER), applied to steel bars glued halves (GLUE), and applied to slotted into steel reinforcement (SPLIT)) of fixed strain gauges. Consequently, the advantages and disadvantages of each method will be analyzed. As reference value, the reinforced bar was also subjected to uniaxial tensile stress.

In conclusion, all methods have a good sensing in elastic regime. Some problems could be noticed in the case of the strain gauges which were fixed to the surface of the reinforced steel bar (bending effect). Depending on the application, each method has its right to exist, but it should be kept in mind that all measurement methods are not subject to negligible inaccuracies. This should be quantified in comparison test.

Madhi Ashrafi

Force transfer across rough concrete surfaces
(Project Work)

Both applied strengthenings with shotcrete or TRC and at the subsequent in-situ concrete addition, forces must be transferred about the bond joint. To ensure a force transmission, the bond joint must fulfil certain minimum requirements to the composition of the surface. In prevailing guidelines, only vague details can be found.

In the present project work a first step of approach was to investigate literature review to the available experimental database as well as usual characteristic quantities for the description of the surface roughness (e.g. rough depth after Kaufmann, fractal dimension etc.). Possible proposals for solution were worked out based on this. Moreover, corresponding characteristic parameters could be found out and whether it was possible to determine the load transmission capacity of such a joint from these parameters.

The main conclusions of the study were that the bond strength increases with the increment of roughness, the jack hammer preparation was useful for roughness but creates micro-cracks across the surface, to have a monolithic behaviour must be used the combination of a threshold level of roughness and a minimum level of adhesion. In addition, increasing time duration of surface treatment was harmful to the bond strength cracks increase and the effect of pre-wetting the substrate surface on bond capacity was still inconclusive.

Sunil John

Conceptual Design of a Soccer Stadium
(Project Work)

In a society where the sustainability and sustainable constructions are being appreciated increasingly more, the building industry has adopted the responsible approach. And the most important factor is the choice of the material.

In this study is given a solution for the conceptual design of a soccer stadium, the cost effectiveness and the material that would be the best choice to be used for the construction.

At the beginning, there are presented three preliminary drawing concepts with advantages and disadvantages. After, they are analyzed on the basis of cost effectiveness, material and safety parameters the best option is chosen and detailed.

Moreover, the steel system provided to be most beneficial. Decisive factors were the excellent fitting to the architectural design and the ease of erection.

The roof structure and the grandstands were detailed analyzed. The grandstands were divided in two tiers namely the upper tier and the lower tier. The elements of the grandstand are governed by vibrations and the main condition is that the grandstand support beams are infinitesimally stiff.

The seating system has also been explained and the viewing from different levels.

In addition to the calculations part, some drawings of the main elements were done.

Alexandros Mavromatis

Numerical Analyses of Reinforced Concrete Sandwich Elements and Columns with Changing Cross-Section
(Project Work)

Concrete elements with a constant cross section along element axis are widely used and allow economic constructions. Within the SPP 1542 "Leicht Bauen mit Beton" elements with changing cross sections are to be developed which enable to design very light and filigree structures. The object of this project work is the development of numerical models for both reinforced concrete

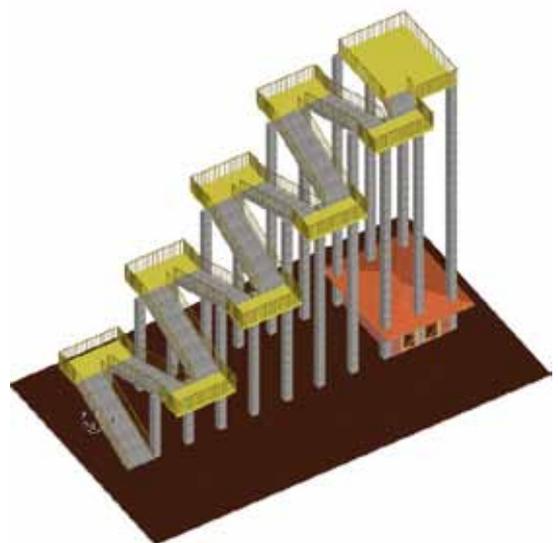
sandwich elements under flexural stress and reinforced concrete columns in the general purpose finite element code ANSYS and specialized for concrete ATENA finite element code. A basis for parametrical studies to investigate the influence of changing cross-sections is considered very important. The designed elements are based from experimental studies. The results of the programs are presented, analyzed and they are all compared with experimentally obtained data.

Abdul Hafeez

Design of an Observation Tower on Mount Oybin
(Project Work)

An observation tower is a structure used to view events from a long distance and to create a full 360 degree range of vision. The tourist association Oybin intends to build an observation tower on the Mount Oybin, which will increase the touristic attractiveness of the region. Topography of the site is located in the national grid latitude 50°50'40" N and longitude 14°44'24"E on the mount Oybin, height of which is 550 m above mean sea level.

There is platform at the height of about 25 m, offering space for approximately 20 people and shelter beside the tower to protect the visitors against the changeable weather. It is not a typical tower design for instance the length is more than



Abdul Hafeez

Design of an observation tower on mount Oybin

width. The tower features are that at each landing of stairs, the tourist can view the whole area from all dimensions. It is cost effective design from initial calculations. The shelter is inside the covered area observation tower. It has low maintenance cost. The design calculation of the tower was checked for the stability analysis using Eurocode/DIN. As the height is more, there is no shear wall in the structure system to stable the system from the wind load. So, to counter this situation one had to add diagonal members. The allowable deflection from the Eurocode is the 8 cm and the effective deflection from the analysis is 2 cm.

As the tower is located on the mountain, strictly following the specifications, for material delivery special equipment would be used. The construction type is cast in situ; avoid the prefabricated or modular construction. On site meetings of the contractor, client & consultant at every construction stage would help the project to finish in time.

Hesbon Omondi

Comparison of Different Theoretical Models for the Shear Strength of Reinforced Concrete Elements Without Web Reinforcement with a Numerical Analysis

(Project Work)

The shear capacity of the concrete beams without web reinforcement, though not yet fully solved, is assumed as the sum of individual contributions of shear in the uncracked concrete zone, interface shear transfer, dowel action and residual tensile stresses. However, different international building codes have suggested varying empirical relations involving several parameters to represent these contributions. In this project work, a number of theories that has contributed to this phenomena as well as various code provisions are discussed. It is intended to compare the calculated results with both experimental and simulation results to ascertain the extent to which they deviate from one another.

It is our belief that the amount to which the code models results deviate from either the experimented or simulated results is a good indicator of how well the parameters used in that particular model are representative of the actual behavior.

Nagadeepika Satrasala

A Finite Element Model of Concrete at Mesoscopic Scale

(Project Work)

Concrete is the major building material used for the construction purposes. Consequently, for a better understanding of its behaviour and properties and using different computation methods and multi scale approach are developed the concepts of 2D and 3D modeling of the concrete at the mesoscopic scale. As main software is used the finite element analysis tool ANSYS. The concept of generation of none aggregate model i.e, mortar matrix generation, one aggregate model, reduced aggregate model and full aggregate model with and without interface transition zone is generated so as to be able to be checked for the behavior under static and dynamic loading conditions.

Further, there are considered two types of mesh, Voxel and Tetrahedral meshing types.

As a conclusion the advantages and disadvantages of the 2D model are presented. The generation of 3D is also briefly discussed. The results obtained are further compared for the effects of meshing, types of meshing etc., and to analyze how the results are converging towards the actual response of the specimen. The change in material properties should also be incorporated into the model to account for inhomogeneities.

DIPLOMARBEITEN UND MASTERARBEITEN

IM JAHR 2012

Die Diplomarbeit bzw. die Masterarbeit bildet den berufsqualifizierenden Abschluss des Studienganges. In der Abschlussarbeit sollen die Studenten 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. Am Institut für Massivbau wurden im Jahr 2012 die folgenden Diplom- und Masterarbeiten betreut.

Stefanie Zalewski

Querkrafttragfähigkeit von Betonfertigteilstützen im Stumpfstoßbereich

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

Dipl.-Ing. Gregor Schacht

Dr.-Ing. Hubert Bachmann (Ed.Züblin AG)

Der Einsatz von Fertigteilen bewährt sich seit Jahrzehnten in der Bauindustrie. Die Vorteile der verbesserten Qualitätskontrolle, verringerten Herstellungskosten sowie einer verkürzten Bauzeit tragen dazu bei. Die Verbindung von Fertigteilstützen mittels eines Stumpfstoßes ermöglicht eine überaus rationelle und schnelle Montage.

In der Diplomarbeit wurden einführend Probleme, bisherige Untersuchungen, Tragmodelle sowie Ausführungsvarianten eines Stumpfstoßes von Fertigteilstützen im Allgemeinen erläutert. Anhand eines Bemessungsbeispiels wurde die Normal- und Querkraftbeanspruchung verschiedener Stützenpositionen untersucht. Dabei wurden die ständige und außergewöhnliche Bemessungssituation sowie der Sonderlastfall eines Flugzeugabsturzes betrachtet.

Nachfolgend wurde auf den Lastabtrag von Querkraften des regulären Stützenbereiches sowie im Speziellen des Fugenbereiches eingegangen. Eine Zusammenstellung von experimentellen und theoretischen Untersuchungen zu durch Schub beanspruchte Fugen komplettiert den Stand des Wissens. Zusätzlich wurden internationale norma-

tive Bemessungsmodelle zum Fugenwiderstand gegenübergestellt.

Durch eine Auswertung des Bemessungsbeispiels konnte gezeigt werden, für welche Lastsituationen die Fugentragfähigkeit unzureichend ist. Schließlich wurde eine allgemeingültige, vereinfachte Bemessungsregel zur Ermittlung der Grenzbeanspruchung von sehr glatten, unbewehrten Schubfugen abgeleitet. Eine Bemessungstabelle sowie ein Bemessungsdiagramm vereinfachen die praktische Anwendbarkeit dieser Regel und schließen die Arbeit ab.

Elisabeth Schütze

Untersuchung des Tragverhaltens eines leichten Schalentragwerks aus Textilbeton

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Enrico Lorenz M. Sc.

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

Es gibt für Textilbeton bereits zahlreiche Anwendungsgebiete im Bereich der Verstärkungen und des Fassadenbaus. Das geringe Eigengewicht, die freie Formbarkeit sowie die hohe Leistungsfähigkeit des Textilbetons legen aber auch nahe, Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der leichten Tragstrukturen zu suchen. Hier kommen insbesondere Schalentragwerke als gekrümmte, flächenaktive Tragsysteme in Frage.

Ein solches schalenförmiges Leichttragwerk wurde im Rahmen dieser Arbeit untersucht.



Gestaltungsvariante zum Kindergarten „Entdecke Dich“

Modellfoto:

Priebe Architects & Consultants

Hauptanliegen dabei war es, aus statischer Sicht die Umsetzbarkeit einer eiförmigen Schale aus Textilbeton zu beurteilen. Dazu wurde ein FEM-Modell des bestehenden Entwurfs erstellt, anhand dessen das Tragverhalten der Schale analysiert wurde.

Es wurden zwei verschiedene Varianten der Schalenkonstruktion betrachtet: zum einen die Form eines vollständigen Eies, das in das Erdreich gebettet ist, und zum anderen der kuppelförmige obere Abschnitt der Eiform, der unverschieblich auf einem Fundament gelagert ist. Um den Einfluss der Dicke auf das Tragverhalten abschätzen zu können, wurden Schalenstärken von 3 cm bis 50 cm modelliert und untersucht. Der Ermittlung der Schnittgrößen wurden Belastungen aus Eigenlast, Ausbaulasten, Wind- und Schneelasten sowie einer Nutzlast und im Falle des gebetteten Systems einer Belastung infolge Erddruck zugrunde gelegt.

Das Tragverhalten wurde zunächst getrennt für beide Systeme in Abhängigkeit von der Dicke analysiert und beurteilt. In einem Vergleich der beiden Schalen konnte festgestellt werden, dass die gebettete Konstruktion infolge der hohen Erddruckbelastung das deutlich ungünstigere Tragverhalten aufweist. Dabei ergab sich für beide Systeme das beste Tragverhalten bei einer Schalendicke von bis zu 10 cm.

Für eine gelagerte Schale mit einer Dicke von 3 cm wurde abschließend eine vollständige Vorbemessung durchgeführt und als Ergebnis die Umsetzbarkeit des Systems nachgewiesen.

Amaury Dhelf

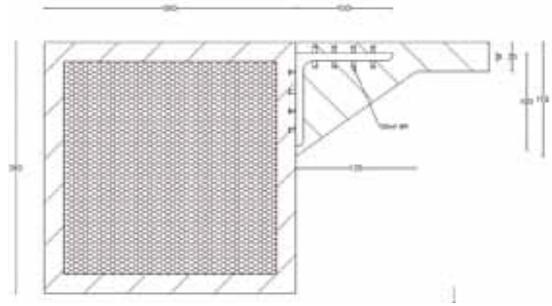
Konstruktive Detailausbildung einer Textilbetonbrücke

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dr.-Ing. Harald Michler

Im Brückenbau wurde Textilbeton bisher bei vorgefertigten Tragwerken oder Fertigteilen, die später komplettiert werden, verwendet. Problematisch sind hier oft konstruktive Details. Einer Lösung dieses Problems widmet sich die Diplomarbeit. Anhand des Beispiels einer Fußgängerbrücke im Raum Dresden wurde auf die Ausführung der einzelnen Textilbetonstäbe



Verbindung von Textilbetonbauteilen mit Stahlkernen

Grafik: Amaury Dhelf

und die Konstruktion der Knotenverbindungen eingegangen. Es handelt sich um eine eingehaute Gebäudeverbindungsbrücke in 10 m Höhe mit raumumschließendem Fachwerk aus Textilbetonstäben mit hohlem Rechteckquerschnitt.

Die Ausbildung des Knotens aus Textilbeton war nicht möglich, so dass Stahlkerne verwendet wurden. Diese Lösung wirft die Frage nach der Verbindung zwischen diesen beiden Materialien auf. Die Übertragung von Kräften mit Bolzen führte zu schlechten Ergebnissen. Deshalb wurden neue Lösungen gesucht.

Die einzige Bedingung für die Zusammenfügbarkeit von Rechteckhohlprofilen an sich ist, dass die äußeren Abmessungen des kleineren Hohlprofils gleich dem inneren Rechteck des größeren Hohlprofils sind. Wenn man nun ein Rechteckhohlprofil in ein anderes Rechteckhohlprofil schiebt, ergibt sich nur ein Bewegungsfreiheitsgrad, namentlich eine Bewegungsmöglichkeit in Längsrichtung. Um eine erfolgreiche Verbindung zu schaffen, muss man diesen Freiheitsgrad also blockieren. Erreicht werden kann dies mithilfe von in den Stahl eingearbeiteten Nuten, in die der Textilbeton eingegossen wird.

Die Verbindung zwischen den Fachwerkstäben und der Decke wird über ungleichschenkligen Winkelstahl mit Minikopfbolzen in Form von Schrauben der Klasse M3 realisiert. Durch die Kopfbolzen sollte zum einen die Kraftübertragung aus dem Verbundquerschnitt in den Knoten gewährleistet werden und zum anderen ein Aufspalten der Profile, wie es bei Lochblechen teilweise beobachtet wurde, verhindert werden.

Mirko Bartelt

Konstruktion und Berechnung einer semi-integralen Straßenbrücke

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Gregor Schacht; Dipl.-Ing. Jens Tikalsky
(BUNG Ingenieure, München)

Semi-integrale Brücken haben innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte, im Gegensatz zu gelagerten Brücken, zunehmend an Bedeutung gewonnen. Durch bessere Berechnungsmethoden ist es möglich, die durch das statisch unbestimmte Tragsystem entstehenden Zwangsschnittgrößen einfacher und genauer zu ermitteln. Allerdings kommt es durch Schwankungen von nicht beeinflussbaren Parametern trotzdem zu Streuungen in den Zwangsmomenten.

Nach einer kurzen Einführung in die Thematik der Brückenbauwerke wurde eine 5-feldrige, semi-integrale Straßenbrücke im Entwurf hinsichtlich der Geometrie vorgestellt. Anschließend wurde die numerische Modellierung des Bauwerks mit Hilfe eines 3D-Stubwerkmodells erläutert und eine beispielhafte Bemessung nach DIN durchgeführt. Des Weiteren wurde aufgrund der Lage im Erdbebengebiet eine manuelle Berechnung einer Erdbebeneinsatzlast durchgeführt.

Durch Rissbildung, die durch Zwangsmomente in den Stützen entsteht, ist eine Abminderung der Steifigkeit der Pfeiler bei der Berechnung zu beachten. Diese wird nach DIN FB 102 lediglich vereinfacht auf der Lastseite berücksichtigt. Aufgrund dessen wurde eine genauere, physikalisch und geometrisch nicht-lineare Untersuchung der Stützen durchgeführt, die zu dem Ergebnis führte, dass eine Steifigkeitsabminderung der Stützen auf 50 % des Ursprungswertes auftritt. Das wurde in der weitergehenden Berechnung berücksichtigt. Zudem wurde eine Stützenoptimierung in Form einer Änderung der Geometrie umgesetzt, die zu einem weiteren Abfall der Steifigkeiten der Pfeiler führte. Anschließend wurden beide Steifigkeitsabminderungen in das Gesamtsystem integriert, was zu einer Reduzierung des Zwangsmomentes von etwa 50 % führte. Die Untersuchung einer Streuung der Bodenkennwerte zeigte, dass das optimierte Tragwerk weniger sensibel als das Ausgangssystem reagierte und somit ein robusteres Tragwerk darstellt.

Lukas Müller

Schubtragverhalten von Stahlbetonplatten-tragwerken

(Diplomarbeit)

Betreuer:

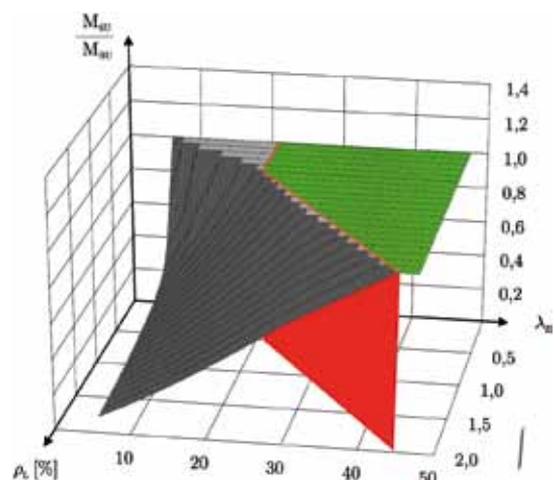
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Gregor Schacht, Enrico Lorenz M.Sc.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Untersuchung der Schubbruchgefährdung von Stahlbetonplatten-tragwerken. Dazu wird zunächst die Entwicklung der Schubbemessung und der konstruktiven Regelungen für Platten in der Normengeschichte des Stahlbetonbaus seit 1904 vorgestellt. Sofern die Errichtungszeit bekannt ist, kann somit eine erste Abschätzung der Querkrafttragfähigkeit bestehender Stahlbetonplatten-tragwerke erfolgen.

Von den vier Schubversagensarten (Biegeschubversagen, Verankerungsversagen, Stegzugversagen und Druckstrebenversagen) sind bei Platten lediglich Biegeschubversagen und Verankerungsversagen zu erwarten.

Anhand von Schubversuchen an einachsigen gespannten Platten aus der Literatur erfolgt eine Überprüfung der Bemessungsgleichung nach EC2. Bei hochbautypischen Konstruktionen zeigten sich deutlich höhere Querkrafttragfähigkeiten als normativ zugelassen werden.

In der Diplomarbeit wurden ausgewählte Stahlbetonplattentragwerke hinsichtlich ihrer Schub-



Normatives Schubtal (nach EC2)
Grafik: Lukas Müller

bruchgefahr rechnerisch untersucht. Dabei wurden die Plattenabmessungen entsprechend der Vorbemessungsempfehlung der Schneider Bautabellen gewählt. Bei der Bemessung wurden Eigenlasten, Ausbaulasten und hochbautypische Nutzlasten berücksichtigt. Es zeigt sich, dass entsprechende Platten mit Stützweiten im Bereich zwischen 2 m und 6 m bei wirtschaftlicher Ausführung der Biegebewehrung nicht schubbruchgefährdet sind. Es wird stets Biegeversagen und damit duktilen Versagen maßgebend.

In Anlehnung an Kani's Schubtal wurde ein normatives Schubtal ermittelt, welches sich aus den Bemessungsgrundlagen des EC2 ergibt. Als Resultat kann für Bauteile mit $f_{ck} \geq 20 \text{ N/mm}^2$ formuliert werden: Es besteht keine Schubbruchgefahr bei Platten bei Längsbewehrungssätzen unter 0,5 %, wenn die Schlankheit $\lambda_E = l/d = 21$ ist und bei einem Längsbewehrungsgrad $\rho_l = 2,0 \%$, wenn die Schlankheit $\lambda_E > 45$ ist. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Die Festlegung dieser Grenzbedingung erfolgte ausschließlich anhand theoretischer Überlegungen. Weiterführende Versuche an Platten zur Bestätigung dieser Grenze sind wünschenswert.

Nora Hoffmann

Federgelenke

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Gregor Schacht, Enrico Lorenz M.Sc.

Zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts wurde mit den Betongelenken eine leistungsfähige und robuste Ausführungsvariante für konstruktive Gelenke im Brückenbau gefunden. Nachdem sich Gregor Schacht 2009 ausführlich mit massiven Gelenkkonstruktionen im Allgemeinen und mit unbewehrten Betongelenken im Speziellen beschäftigt hatte, werden in der vorliegenden Arbeit bewehrte Betongelenke näher beleuchtet. Diese auch als Federgelenke bezeichnete Konstruktionslösung wurde 1907 erstmalig vom französischen Ingenieur Augustin Mesnager erwähnt und wird seitdem im Brücken- und Hochbau eingesetzt.

Die Vorteile von Federgelenken bestehen in ihrer Wartungsfreiheit, Wirtschaftlichkeit und ihren Kapazitäten im Querkraftabtrag. Sie eignen sich



Federgelenke an der Brücke Mühlberg
Bild: Deutscher Brückenbaupreis

für die Anwendung in integralen Bauwerken mittlerer Spannweite, bei denen aufgrund von Schwind-, Kriech- und Temperaturverformungen oder Widerlagersenkungen ein statisch bestimmtes Tragwerk notwendig ist. Durch die Zusammenstellung ausgeführter Anwendungsbeispiele von Federgelenken wird ein Überblick über ihr konstruktives Potential gegeben. Komplettiert wird dieser durch die Zusammenfassung und Bewertung wissenschaftlicher Versuche zu dieser Gelenkform.

Aus den gesammelten Informationen wird im Hinblick auf die aktuelle Normenlage ein Berechnungsvorschlag erarbeitet, der dem Anwender Hilfestellung bei der Entscheidung für Federgelenke und ihrer Konzeption gibt.

Holger Kunz

Die Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand – Inhalt, Strategie und Anwendung am Beispiel einer vorgespannten Plattenbalkenbrücke

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Holger Flederer (HTW Dresden),
Dipl.-Ing. Nico Schmidt

Die Altersstruktur, der Erhaltungszustand, die überproportionale Zunahme des Güterverkehrs, die Weiterentwicklung der Regelwerke sowie heute bekannte Schwächen alter Bauweisen erfordern neben bautechnischen Erhaltungsmaßnahmen auch eine aktuelle Beurteilung der Standsicherheit und Restnutzungsdauer der Brückenbauwerke in Deutschland. Im Auftrag des BMVBS wurde daher die „Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie – Ausgabe 05/2011)“ erarbeitet.

Ziel der Diplomarbeit war es, die Nachrechnungsrichtlinie in ihren wesentlichen Aspekten – Grundlagen, Strategie der Nachrechnung, bauart- und bauteilspezifischen Regelungen – vorzustellen und zu analysieren. Es wurden das mehrstufige Verfahren sowie die wesentlichen Unterschiede zwischen der Nachrechnungsstufe 2 und einer Neubemessung auf der Grundlage der DIN-Fachberichte erläutert.

Ergänzend wurde über die erst geringen Erfahrungen mit der Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie berichtet und gezeigt, wie z. B. in Österreich und in der Schweiz mit der Problematik umgegangen wird.

Abschließend wurde die Nachrechnungsrichtlinie anhand einer vorgespannten Plattenbalkenbrücke (Bj. 1961) angewendet. Die Nachrechnung erfolgte zunächst nach den DIN-Fachberichten. Anschließend wurde das Längstragsystem, das so nicht nachgewiesen werden konnte, in Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie genauer untersucht.

Das größte Problem stellte die Schubtragfähigkeit der Längsträger dar, da die Mindestschubbewehrung erst ab 1966 mit der überarbeiteten DIN 4227 eingeführt wurde. Während der Untersuchung wurde festgestellt, dass aufgrund der vorhandenen Defizite ein Ersatzneubau die wirtschaftlichste und technisch sinnvollste Variante war. Es wurden Maßnahmen zur Instandsetzung und Ertüchtigung vorgeschlagen, die für das Bauwerk die erforderliche Standsicherheit bis zu seinem Abbruch gewährleisten.

Hesbon Omondi

Shear Bearing Behavior of Hollow-Core Slabs (Master Thesis)

Supervisors:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Gregor Schacht

Based on previous research and tests on pre-stressed hollow-core slabs, there is need to investigate the shear bearing behavior of these slabs. The objective of this research program is to identify consistent behaviors that predict failure of hollow-core slabs, through testing a series of full-scale in-situ slabs to failure in shear. This was instigated after a problem arose that made worse the suitability of concrete at the support of hollow-core slabs on the upper exposed deck of a car park in Greiz.

The damage which was evident from the spalling of concrete at the supports was caused by the infiltration of rain water and deicing salts resulting into possible chloride damage. To repair the slabs, a test to verify their already doubted shear bearing capacity was inevitable and it had to be non-destructive in nature.

In order to carry out research on pre-failure and damage indicators, a total of five hollow-core slabs with 200 mm depth on the car park were load tested in shear. The test variable was load while the results included; strain, inclination, vertical expansion, deflection. The failure mode and crack profiles are recorded in photographs. The results are presented in graphs plotted against load,



Straßenbrücke Schiersteiner Kreuz
ÜF A643 bei Wiesbaden,
4stegiger Plattenbalken in
Spannbeton, Baujahr 1961
Bild: Holger Kunz

time or photograph numbers. The photographs were also used to analyze the strains' patterns and magnitude with the help of photogrammetry.

The decompression and failure loads of the slabs are compared to theoretical values from referenced calculations based on DIN 1045-1.

It was concluded that the experimental failure loads compared well with the theoretical results. The parameters used for prediction of damage indicators were found to be suitable as long as they were collected at correct positions and analyzed well.

Robert Zobel

Modellierung des Verbundverhaltens von Betonstahl unter Querzug

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Robert Ritter, Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer

Das komplexe Verbundverhalten von Beton und Betonstahl wird von vielen Faktoren beeinflusst, unter anderem dem Querzug, der eine signifikante Auswirkung auf die Versagensart hat. Querzugbelastungen treten unter anderem in der Betonschutzhülle bei Siede- und Druckbehältern auf. Aufbauend auf experimentell am Institut für Massivbau durchgeführte Ausziehversuche mit Querzugbelastung unterhalb der Risslast erfolgte in der Diplomarbeit die Modellierung des Verbundverhaltens mithilfe der Methode der finiten Elemente bei Verwendung des Programmes ANSYS.

Ausgangspunkt war die Ermittlung des gegenwärtigen Kenntnisstandes der Verbundforschung. Dazu erfolgte die Erarbeitung der Verbundarten, der Verbundmechanismen, der Wirkungsweise des Verbundes, die experimentelle Ermittlung des Verbundverhaltens sowie der Einflussfaktoren auf das Verbundverhalten. Des Weiteren wurde die bereits in der Vergangenheit stattgefundenen mathematische Beschreibung der experimentell ermittelten Versuchsergebnisse analysiert. Dabei stellt sich die analytische Beschreibung des komplexen Verbundverhaltens als problematisch heraus.

Für die Simulation wurde ein dreidimensionales FE-Modell verwendet, bei dem die Stabgeometrie

exakt abgebildet wurde. Der Kontakt zwischen Beton und Betonstahl konnte mithilfe von Oberflächenelementen unter Berücksichtigung eines Reibungsgesetzes in ANSYS umgesetzt werden. Die Simulationen wurden mit verschiedenen Modellen für die Betoneigenschaften durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen den qualitativen Verlauf der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung eines Ausziehversuches. Speziell die innere Rissbildung und die Spannungszustände wurden sichtbar gemacht. Auffallend war jedoch, dass sich das FE-Modell zu weich verhielt. Die Ursache war die Geometrie der Rippen und das verwendete Versagenskriterium des Betons.

Um die Auswirkungen der Querzugbelastung auf das Verbundverhalten zu untersuchen, wurden die Rissbilder der unterschiedlichen Querzugniveaus miteinander verglichen. Mit zunehmender Querzugbelastung bei gleichbleibender Betondeckung war ein immer weiteres Ausbreiten der Risse in Richtung der Betonoberfläche erkennbar. Einen Einfluss auf den Verlauf der Verbundspannungs-Schlupf-Kurve wurde nicht festgestellt.

Christoph Maulhardt

Numerische Modellierung fußgänger-induzierter Schwingungen von Fußgängerbrücken mit nichtlinearen Systemeigenschaften

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Gregor Schacht,
Dipl.-Ing. Ronald Stein (GMG)

Das dynamische Verhalten seilverspannter Fußgängerbrücken lässt sich numerisch gut nachvollziehen, wenn die Modellparameter anhand von Messergebnissen kalibriert werden. Bei der numerischen Modellierung wird ersichtlich, dass kleine Änderungen von Belastungs- oder Modellparametern sehr große Auswirkungen auf den Verlauf und die Amplitude der Schwingungen haben. Da es sich um schwach gedämpfte Tragwerke handelt, ist der Abstand zwischen Anregungs- und Eigenfrequenz von großer Bedeutung.

Generell können die Schwingungsamplituden von Brücken mit nichtlinearen Systemeigenschaften nicht unbegrenzt wachsen. Zum einen steigt die Steifigkeit von Seilen bei größeren Schwingweiten an und bewirkt somit eine Versteifung



Hüpfen für die Wissenschaft: StudentInnen halfen bei der Gewinnung der Messwerte.
Bild: Ulrich van Stipriaan

des Systems, was zu einer Verschiebung der Eigenfrequenzen führt, sodass Differenzen zur Erregerfrequenz entstehen. Zum anderen gibt es Frequenzinterferenzen zwischen den Überbau- und Seileigenfrequenzen. Dabei schwächen die zurückwirkenden Seilschwingungen die Überbaubewegungen zu bestimmten Zeitpunkten ab. Die Systemdämpfung wirkt. Bei Fußgängerbrücken mit vielen Seilen führt dieser Effekt zu einer günstig wirkenden hohen Systemdämpfung. Große Bedeutung kommt den Frequenzverhältnissen zwischen Seil- und Überbaueigenfrequenzen zu. Liegen diese nah zusammen oder gibt es Seileigenfrequenzen im Bereich von halben Überbaueigenfrequenzen, können in einem größeren Bereich der Erregerfrequenz große Seil- und Überbauschwingungen entstehen.

Sollten bei einer Schrägseilfußgängerbrücke starke Schwingungen auftreten, ist das Nachspannen einzelner, stark schwingender Seile eine effiziente Sanierungsmöglichkeit. Zudem kann eine Verstimmung zwischen den Seilen (Verbindung über dünne Zugglieder) eine kostengünstigere Alternative zum Einbau eines Schwingungstilgers sein.

Andreas Apitz

Einfluss des Verbundes und des Bewehrungsgrades auf das Tragverhalten von Stahlbetonbalken

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing Gregor Schacht, Enrico Lorenz M.Sc.

Das Anliegen der Diplomarbeit war die theoretische und versuchstechnische Untersuchung des Einflusses des Verbundes und des Längsbewehrungsgrades auf das Trag- und Versagensverhalten von biegebeanspruchten Stahlbetonbauteilen.

In einer eigenen Versuchsreihe konnten die aus der Theorie gewonnenen Erkenntnisse erklärt und verifiziert werden. Die Testreihe bestand aus 20 kleinen Stahlbetonbalken mit den Abmessungen 1.120 x 153 x 100 mm. Mittels induktiven Wegaufnehmern wurden die Durchbiegung, die Verformungen der Druck- und der Zugzone sowie die Vertikalverformungen in Schubfeldmitte gemessen. Zusätzlich wurden die Rissentwicklung dokumentiert und die Bruchvorgänge videot technisch aufgezeichnet.

Infolge unterschiedlicher Bewehrungsgrade und der Einführung verbundgestörter Bereiche zeigten die Balken verschiedene Versagensarten. Um das Biege- und Schubversagen gegeneinander abzugrenzen, wurden Kriterien ermittelt, anhand derer sich die Versagensarten bestimmen lassen. Beispielsweise kann die Entstehung eines Schubrisses anhand des Verlaufes der Vertikalverformungen erkannt werden. Findet daraufhin das Versagen statt und zeigen sich gleichzeitig keine plastischen Verformungszuwächse in der Zugzone, deutet dies auf ein Schubversagen hin.

Weiterhin wurden aus dem Versagensverhalten von Beton unter zweiaxialer Beanspruchung Grenzdehnungen für die Rissentstehung im Schubfeld abgeleitet. Hierbei lieferte eine Dehngrenze von $\epsilon_t = 0,08\%$ die beste Übereinstimmung mit den Rissdehnungen, die anhand von überproportionalen Zuwächsen der Vertikalverformungen bestimmt wurden.

Fabian Konrad

Standsicherheit und Weiterverwendbarkeit teilabgebrochener Widerlager von Eisenbahnbrücken im Bauzustand

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Reiner Tobian (DB ProjektBau GmbH),
Martin Just M.Sc., Dipl.-Ing. Steffen Schröder,
Dr.-Ing. Andreas Winkler (Institut für Geotechnik)

Für den Ersatzneubau bestehender mehrgleisiger Eisenbahnbrücken ist es oftmals erforderlich, einen Teil der vorhandenen Brücke für die Aufrechterhaltung des laufenden Zugbetriebes zu erhalten. Für die teilabgebrochenen Widerlager ist dabei der Nachweis der äußeren Standsicherheit nach den aktuell gültigen Regelwerken zu erbringen. Da hier weder in der Vorschriftenlage, noch in der Nachweisführung eine einheitliche Linie existiert, wurde im Rahmen der Diplomarbeit ein Lösungsvorschlag entwickelt, mit dem zukünftig ein frühzeitiger und problemorientierter Nachweis möglich ist.

Die unterschiedlichen Ansätze in den Regelwerken sowie der Nachweisführung wurden durch die Auswertung der Standsicherheitsnachweise von Beispielbrücken ermittelt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Qualität und Quantität der Ergebnisse in hohem Maße von der Art und Weise der Nachweisführung abhängig sind. Durch die hier vorhandene unklare Linie weichen in vielen Fällen die angesetzten Randbedingungen erheblich von den tatsächlichen Verhältnissen vor Ort ab. Erschwerend kommt hinzu, dass das Gros der aktuellen Regelwerke primär für die Bemessung von neu zu errichtenden Bauwerken ausgelegt

ist. So werden z. B. oftmals Verkehrslasten angesetzt, die die tatsächlich auf die Brücke einwirkenden um ein Vielfaches übersteigen. Infolgedessen stellt sich die numerisch ermittelte Standsicherheit oft schlechter dar als die tatsächlich vorhandene.

Für eine einheitliche und effiziente Nachweisführung wurde aufbauend auf den zuvor gewonnenen Erkenntnissen ein Handlungsleitfaden für den Nachweis der äußeren Standsicherheit teilabgebrochener Widerlager im Bauzustand entwickelt. Basierend auf den aktuell gültigen Regelwerken ermöglicht der Leitfaden eine einfache, Schritt für Schritt aufgebaute Nachweisführung. Neben den allgemeingültigen Ansätzen zeigt der Leitfaden dabei Alternativen für eine situationsgerechte Ermittlung der Standsicherheit auf.

Abdul Hafeez Abdul Qayyum

Design Comparison of a Commercial & Residential Building

(Master Thesis)

Supervisor:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dipl.-Ing. Nico Schmidt

The main purpose of a commercial building is to provide enough space to meet the primary needs of the building including the function of being residential. Knowing all the issues up front will streamline integration of cost of implementation, method of construction and design solutions into the whole building system.

The objective of this Master Thesis is to analyze the structural design of a commercial and residential building, performing a detailed investigation on



Weiterverwendung
teilabgebrochener Widerlager,
Papiermühlenstraße in Leipzig
Bild: Fabian Konrad

three types of boundary conditions: cast in-situ, prestressed and precast type.

In order to reach the best solution, there were made both hand calculations and also FEM modeling for three types of slabs. The best suggested slab as per client requirement was the flat slab design. A flat slab is a reinforced concrete slab supported directly by concrete without the use of beams. The structure is simple and regular and all the computations and drawings were done according to British Standard code. Besides the structural design, also the safety of the building has been insured. Proper exit routes and regulations in case of fire were taken into account.

As tools for designing the flat slabs were mainly used SAFE and ETABS.

In conclusion, it was made a comparison between the three types of slabs. The prestressed slab obtained the best score as cost. The cast in-situ slab it is not recommended because of its labor cost but it behaves better in case of an earthquake. The precast and prestressed slabs have many economic and environmental benefits. However, the best solution for future is the hybrid construction.

Sebastian Wilhelm

Bauen auf dem Mond – Möglichkeiten und Grenzen für die Herstellung eines mineralischen Baustoffs aus mondeigenen Ressourcen

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

Für die dauerhafte Besiedelung des Mondes werden robuste Gebäude und Unterkünfte benötigt, die den lunaren Umgebungsbedingungen widerstehen können. Die Nutzung von mondeigenen Ressourcen in diesem Erschließungsprozess spielt dabei eine wichtige Rolle. Im Rahmen der HGF-Allianz „ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments“ sollen als Teilprojekt die Möglichkeiten und Grenzen für die Herstellung eines mineralischen Baustoffs aus mondeigenen Ressourcen erarbeitet werden. In der Diplomarbeit wurde als erster Schritt ein Überblick über bereits geleistete Forschungsarbeit zum Thema „Lunar Concrete“ dargelegt.



Probenentnahme – Apollo 16 (AS16-108-17629)

Bild: NASA

Die Beschreibung des Mondes, seiner Umgebung und seiner Zusammensetzung zeigt, wie stark er sich von der Erde unterscheidet. Allein Vakuum, Mikrometeoriten und extreme Temperaturschwankungen stellen Herausforderungen an das Baumaterial und seine Herstellung dar, die bisher von der Erde nicht bekannt waren.

Da Probenmaterial vom Mond auf der Erde nur begrenzt vorhanden ist, sind Ersatzstoffe für die Herstellung von Baustoffproben notwendig. Unterschiedlich verfügbare Regolithsimulanten wurden hinsichtlich chemischer Zusammensetzung und Korngrößenverteilung miteinander verglichen.

Des Weiteren wurden unterschiedliche Verfahren zur Herstellung eines lunaren Baustoffs und dessen Zusammensetzung dargelegt. Die Gewinnung eines lunaren Zements aus Gestein und Regolith sowie Verfahren zur Verringerung des Wasserbedarfs konnten gezeigt werden. Aufgrund der bisherigen Ungewissheit über das Vorhandensein von verwertbaren Wasserressourcen und unter Berücksichtigung der möglichen, aber aufwendigen Wassergewinnung durch chemische Reaktion wurden Möglichkeiten, einen wasserlosen Beton herzustellen, betrachtet. Dabei wurde der Einsatz von Schwefel und Polymeren diskutiert sowie das bindemittelfreie Sintern und das Schmelzen durch Thermitreaktion. Die Auswertung von Versuchen unter Vakuum und Belastung durch Temperaturwechselbeanspruchung haben jedoch die Grenzen aufgrund möglicher Sublimation und Bindungsverlust aufgewiesen.

Arnaud Pavis D'Escurac

Entwurf einer Behelfsbrücke aus ultrahochfestem Beton

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,
Dr.-Ing. Hubert Bachmann (Züblin),
Dr.-Ing. Kerstin Speck, Martin Just M.Sc.

Das Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war es, eine Behelfsbrücke aus ultrahochfestem Beton zu entwerfen, die eine wettbewerbsfähige Alternative zu den typischen Behelfsbrücken aus Stahl darstellt. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, sollte die Gesamtkonstruktion so materialsparend wie möglich konzipiert werden. Verschiedene Varianten von Brückengrundstrukturen sowie Materialverbunden wurden zunächst untersucht und verglichen. Für die materialeffizienteste Variante wurde schließlich die Bemessung vorgenommen und eine Auswahl erforderlicher Tragsicherheitsnachweise geführt.

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit entworfene Brücke besteht aus zwei Fachwerkträgern, über die Plattenelemente spannen. Im Hinblick auf das Gewicht bleiben Brücken aus Stahl solchen aus UHFB überlegen. In einem anderen Aspekt ist die Behelfsbrücke aus UHFB jedoch durchaus wettbewerbsfähig: ihre Transportier- und Montierbarkeit. Ihre Schrägmontage sollte kurze Montagezeiten ermöglichen. Die Behelfsbrücke ist so dimensioniert worden, dass sie mit Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 50 km/h befahren werden kann. Im Gegensatz zu dem Plattenelement stellt das gewählte Fachwerk noch keine zufriedenstellende und optimale Lösung dar. Einige Punkte, wie Stabilitätsprobleme, gilt es noch genauer zu untersuchen.

UHFB weist hohe Druck-, aber relativ geringe Zugfestigkeiten auf. Um UHFB so gut wie möglich auszunutzen, werden große Vorspannkkräfte vorgesehen. Bei im Verbund vorgespannten Lösungen treten große Spannkraftverluste auf. Große erforderliche Vorspanngrade bedingen in der Regel eine hohe Anzahl Spannglieder, was in den Verankerungsbereichen problematisch sein kann. Dazu gibt es noch keine allgemeine Aussage, ebenso wenig wie für die Betondeckungen.

Nagadeepika Satrasala

A Finite Element Model of Concrete at Mesoscopic Scale

(Master Thesis)

Supervisor:

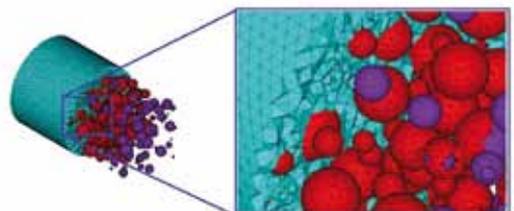
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,
Tino Kühn M.Sc.

Concrete is the major building material and it mainly constitutes of cement, aggregates, admixtures and water. The objective of this Master Thesis is to perform a 2D and 3D analysis of the concrete at the mesoscopic scale using as Finite Element Analysis tools ANSYS and MATLAB. The model behavior is considered to be linearly elastic in nature.

Concrete is considered as a homogenous material at a macro scale. Its heterogeneity is taken into account starting with the meso level which is the intermediate scale between the micro and the macro scale. At this level, concrete is described as a three phase composite consisting of aggregates, mortar matrix and the interfacial transition zone (ITZ) in between. The volume element is of order of magnitude of 10² mm at this scale.

Consequently, it was developed the 2D model. Because of its limitations, it made it necessary the development of the 3D model which resembles the specimen in reality and converges to actual specimen response that would give the actual test results. However, the 3D model is created but can be cut to 2D to analyse the results. Since, the concrete test specimens are mostly in cubic, rectangular or cylindrical in shape, the models were created with these geometries.

A key role in an analysis is played by the type of mesh. The two types of mesh considered in the study are Voexel and the Tetrahedral mesh. Concrete is a brittle material in nature, strong in



*A typical mesoscale cylindrical model with mortar matrix, aggregates and interface
Visualization: Nagadeepika Satrasala*

Balkonplatte im Versuchsstand
Bild: Michael Frenzel



compression but weak in tension and it is necessary to understand its behavior under different loading conditions such as static or dynamic. The development and the propagation of crack leading to the failure are also very important.

Five types of models were considered to explain the different combinations of modeling and meshing with respect to single aggregate model.

The conclusion of the study is that the model generated is capable of being analyzed under different types of loadings and also to test the specimens for standard concrete tests.

Hannes Reinhold

Prüfung und Optimierung einer oberflächenfertigen vollkomplettierten textilbewehrten Balkonbodenplatte mit integrierten Anschlusselementen

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Heins (HTW Dresden)

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

Der neue Verbundwerkstoff Textilbeton verspricht gestalterische, konstruktive und wirtschaftliche Vorteile gegenüber derzeit auf dem Markt befindlichen Erzeugnissen für Balkonbodenplatten. Im Vorfeld dieser Diplomarbeit wurden im Rahmen eines Industrieforschungsprojektes drei Prototypen einer textilbewehrten Balkonplatte entwickelt, geplant und berechnet. Die Platten hatten eine Grundfläche von 3,75 m × 1,75 m und waren in den Ecken vierpunktgelagert. Sie bestanden aus einem Plattenspiegel konstanter

Dicke und einem umlaufenden Obergurt. Die Platten unterschieden sich in der Geometrie des Randbalkens, der Plattendicke und den Stahl- und Textilbewehrungsgraden. Die Diplomarbeit hatte zum Ziel, die Eignung der gewählten Geometrien und der bereits aufgestellten Berechnungsmodelle anhand von Experimenten zu überprüfen, anschließend die Platte weiter zu entwickeln und noch offene Optimierungspotentiale aufzuzeigen.

Die Arbeiten umfassten zunächst die Begleitung und Analyse des Herstellprozesses sowie die Anfertigung eines Messstellenplanes. Nach der Belastung der drei Prototypen übernahm der Diplomat die Auswertung der Messstellen und die Nachrechnung der Bruchlast. Danach entwickelte er in Zusammenarbeit mit seinem Betreuer eine weitere, optimierte Platte. Dabei berücksichtigte der Entwurf besonders die gewonnenen bautechnologischen Erfahrungen und Randbedingungen, die ermittelten Tragreserven und Detailpunkte, wie z. B. das Entwässerungsgefälle einschließlich Abfluss. Die optimierte Platte wurde zweimal hergestellt und im zweiaxialen Vierpunkt-Biegeversuch im Otto-Mohr-Laboratorium bis zum Versagen belastet. Sowohl die geforderte Tragfähigkeit als auch geringe Verformungen unter Gebrauchslast konnten nachgewiesen werden. Am Ende der Arbeit steht eine leistungsstarke Balkonbodenplatte, die mit einer Plattenspiegellhöhe von im Mittel 7 cm besonders schlank ist. Ihr Gewicht beträgt ca. nur 50 % einer herkömmlichen, massiven Platte identischer Tragfähigkeit. Die Diplomarbeit dokumentiert ausführlich die einzelnen Entwicklungsschritte, wertet die durchgeführten Versuche aus und stellt eine statische Berechnung der Platte bereit.



WISSENSCHAFT IST MEHR...

Neben Forschung und Lehre passiert im Uni-Alltag noch mehr. Von der alljährlichen Exkursion zu großen und bedeutenden Brücken, die Mitarbeiter unseres Instituts organisieren (siehe Bericht rechts) über öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen wie Uni-Tag und Lange Nacht der Wissenschaften bis zu Schüler-Praktika: Die Arbeit des Instituts ist transparent und sie macht Spaß.

Alltag an der Uni ist aber auch das tägliche Miteinander. Beim Kaffee oder Espresso können durchaus auch einmal Probleme gelöst werden, und wenn das ganze Team sich im Sommer zum Ausflug oder im Winter zur Weihnachtsfeier trifft, ist für Gesprächsstoff immer gesorgt.

Maillart, Menn, Matterhorn – Brückenbauexkursion 2012

Die neuntägige Brückenbauexkursion des Instituts für Massivbau führte 2012 über die Nord- in die Ostschweiz, weiter über die Alpen nach Bern und Fribourg, von wo aus es dann wieder in den Norden und über Zürich zurück nach Dresden ging.

Der Kanton Graubünden bietet eine große Vielzahl von unterschiedlichen Brückentypen und -tragsystemen. Statistisch gibt es auf jedem Kilometer Straßennetz eine Brücke, die es zu erhalten bzw. neu zu bauen gilt. Robert Maillart, einer der wohl bekanntesten Bauingenieure der Welt, hat die Graubündener Brückenbaukultur in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts maßgeblich geprägt – und so wurden die Tössbrücke, die Zuozbrücke und natürlich die Salginatobelbrücke eingehend begutachtet und erforscht.

Ein zweiter Bauingenieur, der die Brückenbaukultur der Schweiz bis heute prägt, ist Prof. Christian Menn. Die von ihm entworfene Sunnibergbrücke wurde den Besuchern in einem Vortrag von Dipl.-Ing. Heinrich Figi, Tiefbauamt Graubünden,

und bei einer anschließenden Begehung näher gebracht.

Aber nicht nur Brückenbauwerke standen auf dem Programm. Der Kernenergieausstieg und die zukünftige Absicherung der Energieversorgung beschäftigt auch die Schweiz, weshalb zahlreiche Pumpspeicherbauwerke zur Abdeckung von Spitzenzeiten erweitert bzw. neu gebaut werden.

Im Russeinertal, in dem eine historische Holzfachwerkbrücke, ein Eisenbahn-Natursteinviadukt und eine Stahlbetonbogenbrücke aus den 1930er Jahren direkt nebeneinander liegen, erfuhren die Exkursionsteilnehmer mehr über die Herausforderungen der Erweiterung der bestehenden Infrastruktur infolge des zunehmenden Straßenverkehrs. Im Zuge des Ausbaus des Straßennetzes wurden von der bestehenden Bogenbrücke mit aufgeständerter Fahrbahn große Teile des Überbaus abgebrochen und das Verbleibende als Lehrgerüst für den Ersatzneubau verwendet.

Gregor Schacht / Robert Ritter



Lavoitobelbrücke im Schweizer Kanton Graubünden (1966-1967 gebaut)

Bild: Gregor Schacht

Schüler zu Gast am Institut

Im März des Jahres waren für eine Woche zwei Schüler der 7. Klasse des Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums am Institut, um sich anhand des Themas „Brücken aus Papier“ mit der Konstruktionsweise von Brücken zu beschäftigen und einen Einblick zu bekommen in diesen faszinierenden Bereich des Konstruktiven Ingenieurbaus.

Zuerst haben sich die Beiden anhand einer Literaturrecherche einen Überblick über die verschiedenen Bauweisen und Baustoffe bei Brücken verschafft und anschließend aus Papier mehrere Brücken mit einer Spannweite von einem halben Meter gebaut und hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit getestet.

Zum Abschluss wurde ein Poster erstellt, welches im Rahmen einer Posterausstellung aller Schülerpraktika der Schule auch Mitschülern, Lehrern und Eltern das erlangte Wissen strukturiert und leicht verständlich vermitteln sollte.

Betreuer der Praktikanten waren Martin Just M.Sc. und Dipl.-Ing. Michael Frenzel.

Im April waren im Rahmen des Berufspraktikums, welches in der 9. Klasse an Gymnasien stattfindet, je ein Schüler des Drei-Königs-Gymnasiums und des Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums



Prüfung der selbst gebauten Brücken Bild: Ulrich van Stipriaan

am Institut, welche sich ebenfalls mit Brücken beschäftigt haben. Dabei beschränkte sich die Auswahl an Baustoffen jedoch nicht nur auf Papier, denn es galt, eine Spannweite von einem Meter zu überbrücken.

Nach anfänglicher Literaturrecherche und einem praktischen Einblick in den Alltag im Otto-Mohr-Laboratorium sind insgesamt sechs Brücken entstanden, vier aus Papier und 2 aus textilbewehrtem Beton. Diese wurden im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften im Juni geprüft.

Betreuer der Praktikanten waren Dr.-Ing. Silke Scheerer und Martin Just M.Sc.

Früher Einstieg in bionisches Denken



Arbeit am Modell Bild: Ulrich van Stipriaan

Im Rahmen eines zehntägigen Praktikums war ein Schüler der 10. Klasse der Regelschule Bad Lobenstein zu Gast am Institut.

Für den Hornbach-Wettbewerb, der im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ stattfand, fertigte der Praktikant einen bionisch geformten Blumenständer für Außenanlagen an. Dabei konnte er besonders das für ihn bis dahin unbekannt Material Textilbeton in seiner Anwendung kennen lernen. Betreut und angeleitet wurde er von Dipl.-Ing. Michael Frenzel.

Erfolgreich geschnuppert

Viele Fragen, viele Antworten – und dazu ein bisschen Spaß: Zahlreiche Schülerinnen und Schüler nutzten den Schnuppertag der TU Dresden Anfang des Jahres, um die Uni live zu erleben. Mit großem Interesse verfolgten die zukünftigen Studis Vorlesungen oder besuchten Veranstaltungen, die eigens an diesem Tag angeboten wurden.

Die Frage "Was macht eigentlich ein Bauingenieur?" beantwortete Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen, der Studienfachberater der Fakultät Bauingenieurwesen. Über die Anwendung experimenteller Forschung im Bauwesen sprach Dr.-Ing. Torsten Hampel vom Otto-Mohr-Laboratorium, in dem die Arbeit nahezu täglich getreu dem Vortragsmotto "Zerstören – damit es hält!" abläuft. So konnten die Schülerinnen und Schüler schon einen Eindruck von der Verantwortung des Bauingenieurs mit auf den Weg nehmen.

Einen Laboreinblick gewährte Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, der "Klassifikationseigenschaften von Böden" ermitteln ließ. Immer wieder spannend: eine Führung durchs Wasserbaulabor (Hubert-Engels-Labor) mit Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner – und noch einen Einblick ins Studium: "Skizzieren für Ingenieure" führte Dipl.-Ing. Architekt Friedrich May vor.



Einführung mit Dr. Torsten Hampel vom Otto-Mohr-Laboratorium
Bild: Ulrich van Stipriaan

Alarm auf Textilbeton aussitzen



Probealarm ist was Feines – so lange draußen die Sonne scheint und das Wetter auch mitspielt. Manchmal hat man auch Glück, und dann kann man den Alarm auf den von Studentinnen und Studenten im Rahmen eines Projektes gefertigten Elementen aus Textilbeton aussitzen...

Bild: Ulrich van Stipriaan



Damit noch bessere Forschung möglich wird Eröffnung des Technikums des Otto-Mohr-Laboratoriums

Der zweite Bauabschnitt des Technikums des Otto-Mohr-Laboratoriums (OML) wurde am 1. Februar 2012 im Rahmen einer kleinen Feier, zu der Prof. Manfred Curbach als Direktor des OML geladen hatte, seiner Bestimmung übergeben. Über hundert Gäste waren der Einladung gefolgt – nicht wenige davon waren am Bau direkt oder indirekt beteiligt.

„Die Fertigstellung des 2. Bauabschnitts und damit des gesamten Technikums bildet eine Grundlage für die Meisterung der aktuellen und kommenden, umfangreichen Forschungsarbeiten des Massivbaus und der anderen Institute der Fakultät,“ sagte Prof. Curbach in seiner kurzen Ansprache. Und nach einer langen Zeit der Umgestaltung des Labors, während der die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unter teils sehr schwierigen Umständen arbeiten mussten, habe sich nun die Situation des Arbeitsumfelds der

Mitarbeiter des Otto-Mohr-Laboratoriums deutlich verbessert.

Die Gesamtkosten des neuen Technikums belaufen sich auf ca. 3,1 Mio. EUR, davon rund 1,8 Mio. EUR für den 2. Bauabschnitt. Im neuen Teil des Technikums befinden sich für die aktuelle Forschung wichtige Einrichtungen wie ein Aufspannfeld für die Materialprüfung mit einer Kapazität von bis zu 50 t/m und der weltweit erste 2axiale Split-Hopkinson-Bar, an dem das Materialverhalten von Betonen unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten untersucht wird. Hohe Geschwindigkeiten treten bei vielen Ereignissen auf, z. B. bei extremen Winden (Tornados), Erdbeben, Springfluten, Erdbeben, aber auch beim Anprall von Fahrzeugen aller Art (z. B. auf Brückenpfeiler) oder Explosionen. Mit einem Demonstrationsversuch führten Anja Hummeltenberg und Matthias Quast von der Impakt-Forscherguppe des Instituts für Massivbau die Funktionsweise der Anlage vor. (Wer sich wundert, dass auf dem Bild zum Artikel sich die Gäste die Ohren zuhalten: Sie taten das nicht während der Rede, sondern beim Versuch: Impakt ist kurz, aber laut!)



Eröffnung des Technikums Bilder (2): Ulrich van Stipriaan

Seit 1995 sind rund 6 Mio. EUR durch Initiative des Instituts für Massivbau in die apparative Ausstattung des OML geflossen, das mittlerweile ein national wie international anerkanntes Forschungslabor im Bereich des Massivbaus ist.

Beyer-Preis an Matthias Quast

Der Kurt-Beyer-Preis 2011 wurde am 2. August 2012 im Rahmen einer Feierstunde im Rektorat der Technischen Universität Dresden verliehen. Ausgezeichnet wurden der Bauingenieur Dipl.-Ing. Matthias Quast für seine Diplomarbeit mit dem Thema "Erarbeitung eines Brückenentwurfs für eine wartungsarme Fußgängerbrücke in Ruanda unter Berücksichtigung der hiesigen Gegebenheiten und Verwendung lokaler Baustoffe" und die Architektin Dipl.-Ing. Cornelia Schmidt für ihre Diplomarbeit zum Thema "Licht ins Dunkel bringen? Differenzierte Beleuchtung städtischer Grünräume." Dipl.-Ing. Stephan Otto von der HOCHTIEF Solutions AG, die den mit 5.000 Euro dotierten Preis stiftet, und Prof. Dr. Dr.-Ing. habil. Hans Müller-Steinhagen, Rektor der Technischen Universität Dresden, überreichten die beiden Preise.

"Zu einer Exzellenz-Universität gehört nicht nur exzellente Forschung, sondern auch exzellente Lehre und damit exzellente Absolventen", sagte der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen.

In seiner Laudatio auf den Preisträger Matthias Quast hob der Dekan der Fakultät Bauingenieurwesen, Prof. Rainer Schach, besonders dessen ehrenamtliche Tätigkeit beim Verein Ingenieure ohne Grenzen seit dem Sommer 2007 hervor. Quast war im Mai und Juni 2010 in Ruanda, um vor Ort den Bedarf für Fußgängerbrücken an verschiedenen Standorten zu untersuchen. "Aus dieser Arbeit heraus entstand die Idee zu seiner Diplomarbeit, die schon im vergangenen Jahr mit dem Preis der Sächsischen Bauindustrie prämiert wurde, und die auch heute mit dem Kurt-Beyer-Preis der Technischen Universität Dresden honoriert wird", sagte Prof. Schach.

Matthias Quast ist seit Frühjahr 2011 Mitarbeiter

am Institut für Massivbau und befasst sich dort mit den Eigenschaften von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten. Prof. Schach: "Ich freue mich, dass wir solch einen hervorragenden Ingenieur mit hohem gesellschaftlichen Engagement zu den Mitgliedern unserer Fakultät zählen können."

Die beiden Ausgezeichneten trugen die Ergebnisse ihrer Arbeit vor – und den Festgästen wurde schnell klar, warum sie es aufs Siegertreppchen gebracht hatten: spannende Themen, engagiert angegangen und umgesetzt. Und schöne Vorträge waren es obendrein, die auch zeigten, dass die wissenschaftliche Ausbildung an der TU Dresden durchaus zu sehr praxistauglichen Ergebnissen führt.

So sah das auch Dipl.-Ing. Stephan Otto, Mitglied der Geschäftsleitung der HOCHTIEF Solutions AG, die den Preis stiftet. „Die hervorragende Ausbildung der Fakultäten ist das unabdingbare Fundament für solche Leistungen!“, sagte er. Die Theorie sei das Fundament für die Baupraxis, meinte Otto. "Je größer und standsicherer das Fundament, desto größer können Sie Ihre Baupraxis darauf aufbauen."



Offizielles Preisträger-Foto:
Dipl.-Ing. Stephan Otto, Mitglied der Geschäftsleitung der HOCHTIEF Solutions AG, die Architektin Cornelia Schmidt, der Bauingenieur Matthias Quast und der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen (v.l.n.r.)
Bild: Ulrich van Stipriaan

Auch im Kleinen groß sein

Eindrücke vom 22. Dresdner Brückenbausymposium

Beim 22. Dresdner Brückenbausymposium haben sich über 1.400 Bauingenieurinnen und Bauingenieure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Behörden im Hörsaalzentrum der TU Dresden getroffen, um in zwölf Fachvorträgen die ganze Bandbreite des Brückenbaus zu diskutieren.

Prof. Manfred Curbach vom veranstaltenden Institut für Massivbau hielt in seinem Begrüßungsvortrag ein Plädoyer für kleine Brücken. „Die Verantwortung des Bauingenieurs“ leitete Prof. Curbach vom „Prinzip Verantwortung“ (Hans Jonas im gleichnamigen Buch 1979) her. In einer von Bauwerken geprägten Umwelt bestehe Verantwortung auch darin, die ungeheuren Werte (Curbach sprach von 25 Billionen Euro, die alle Bauwerke in Deutschland wert seien) zu erhalten. „Eine Riesenherausforderung“ für Bauingenieure sei, Bauwerke „im Sinne einer möglichst effizienten Nutzung unserer Rohstoffe“ für mindestens 200 Jahre Lebensdauer zu entwerfen und zu bauen. Eine Utopie? Vielleicht, aber „Ich halte einen Paradigmenwechsel für dringend geboten. Hier müssen wir größer denken!“, sagte Prof. Curbach.

Größer denken, kleiner bauen: Das klingt nur wie ein Widerspruch. Curbach plädierte dafür, „dass neue Bauwerke eine Ästhetik aufweisen, die wir auch in einigen Dutzend Jahren noch immer als positiv empfinden werden.“ Eine Art „zeitlose Schönheit“ sei für ihn „eine der Hauptaufgaben unserer Baukunst.“ Die Denkanstöße, die durch die Verleihung des Deutschen Brückenbaupreises gegeben würden, seien ein „unglaublich wichtiger Schritt in die richtige Richtung.“

Natürlich gebe es wunderbare große Brücken – aber, so regte Prof. Curbach an, man solle die vielen kleinen Brücken mit geringer Spannweite nicht vergessen. Er forderte eine neue Bescheidenheit – „eine Verbesserung, oder weitere neue Entwürfe für Eisenbahnbrücken mit 25 m oder 30 m Spannweite wären ein Segen für die Bahn, den Ressourcenverbrauch und vielleicht



Impressionen vom Brückenbausymposium 2012
Bilder: Ulrich van Stipriaan

auch für unser Auge“, sagte er angesichts der Tatsache, dass 96 % aller Eisenbahnbrücken in Deutschland eine Spannweite von unter 30 m haben. Seiner abschließenden Forderung konnten die versammelten Brückenbauer nur zustimmen: „Wir sollten die Meisterschaft im Kleinen anstreben, um wirklich groß zu sein.“

Im weiteren Verlauf der Tagung kamen dann (natürlich!) doch auch wieder große Brücken zur Sprache – und die geplante ganz große nahm sich Prof. Giuseppe Mancini (SINTECNA, Torino) vor: Die Beton-Fundamente der geplanten weitest gespannten Brücke der Welt über die Straße von Messina stellte er in einem (Premiere beim Brückenbausymposium!) englischsprachigen Vortrag vor.

Prof. Peter Marti (ETH Zürich) sprach über den Ingenieur, Unternehmer und Betonbauer Robert Maillart. Diese Besinnung auf die Leistung berühmter Brückenbauer soll auf den kommenden Brückenbausymposien fortgesetzt werden.

Ein Vortrag von Prof. Mike Schlaich (TU Berlin / schlaich bergemann und partner) über neue Brücken für die Deutsche Bahn schloss den Spannungsbogen zur Verleihung des Brückenbaupreises am Vorabend: Baukultur, das wurde klar, ist kein leerer Begriff: Er wird von den Bauingenieuren gelebt.

Sieger aus Dresden

Hornbach-Wettbewerb im SPP 1542

Forschung kann fürchterlich anstrengend und trocken sein – aber sie kann auch, trotz aller Anstrengung, Spaß machen und, trotz aller Grundlagenforschung, Praktisches hervorbringen. Beste Beispiele dafür lieferten eine Reihe von Nachwuchswissenschaftlern, die im Rahmen eines bundesweiten Forschungsprogramms zum "Leicht Bauen mit Beton" ausloteten, was mit den Neuentwicklungen dieses Baustoffs alles machbar ist.

Beim Jahrestreffen 2011 der Forscherinnen und Forscher des Schwerpunktprogramms 1542 hatte man an einem Abend mit dem Baumarkt-Unternehmer Albrecht Hornbach einen Wettbewerb ausgeschrieben. Beim Treffen 2012 an der Uni Braunschweig wurden die Sieger ermittelt: Eine unabhängige Fachjury bewertete die eingereichten Exponate – und kürte drei gleichberechtigte Sieger. Zwei davon kommen vom Institut für Massivbau der TU Dresden (der dritte aus Kaiserslautern).

Aus der Begründung der Jury:

Der **Fahrradständer** (TU Dresden, Dipl.-Ing. Robert Ritter) folgt dem Grundprinzip „Form follows Force“. Das Potential des Textilbetons mit eingelegten Glas- bzw. Carbon-Fasern wird vor allem bezüglich der freien Formbarkeit sehr gut ausgeschöpft. Der Preis [Verkaufspreis im

Baumarkt, Anm. der Red.] ist angemessen. Das Produkt ist sofort vermarktbar und einsetzbar. Auch das geringe Gewicht überzeugt.

Das **Winkelstützelement** (TU Dresden, Dr.-Ing. Regine Ortlepp) nimmt das Grundprinzip „Form follows Force“ exzellent durch das innenliegende Zugband und die Aussparungen auf. Durch den Einsatz hochfesten Betons (Textilbeton mit Carbon-Fasern) kann die Konstruktion besonders dünn und damit leicht ausgeführt werden. Damit ist das Bauteil mit Muskelkraft gut bewegbar und hat entsprechende Vermarktungschancen. Der Preis bleibt im Rahmen herkömmlicher Produkte, und variable Größen sind herstellbar.



Dr.-Ing. Regine Ortlepp ist eine der Preisträgerinnen beim Hornbach-Wettbewerb. Sie entwarf eine Stütze für Grundstücke am Hang
Bild: Ulrich van Stipriaan



Den Deutschen Brückenbaupreis 2012 in der Kategorie „Straßen- und Eisenbahnbrücken“ erhielt die Scherkondetalbrücke im Weimarer Land. Mit der 576,5 m langen Scherkondetalbrücke sei ein Meilenstein des modernen Eisenbahnbrückenbaus gelungen, befand die Jury. Ausgezeichnet wurden die verantwortlichen Ingenieure Ludolf Krontal, Stephan Sonnabend sowie Frank Ehrlicher und das gesamte Team – darunter Prof. Manfred Curbach als Prüfingenieur.



Stand des
Instituts beim
Brückenbau-
symposium 2012



Institutsausflug
ins Stahlwerk
Riesa





Weihnachtsfeier 2012 im Otto-Mohr- Laboratorium







OTTO-MOHR- LABORATORIUM



OTTO-MOHR- LABORATORIUM

Arbeitsgebiete und Ausstattung

Das Otto-Mohr-Laboratorium ist aufgrund seiner modernen und umfangreichen Ausstattung für eine Vielzahl von Prüfungen sowohl in unserer Versuchshalle als auch in situ ausgestattet. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit und den regen Austausch von Fach- und Praxiswissen zwischen dem Institut für Massivbau der Technischen Universität Dresden und den Praxispartnern können wir ein breites Arbeitsgebiet anbieten und abdecken. Wir sind spezialisiert auf verschiedenste Untersuchungen sowohl im Bereich der zerstörungsfreien wie auch im Bereich der zerstörenden Belastungsversuche.

Seit dem 1. Februar 2012, an dem der Erweiterungsbau zum OML-Technikum offiziell eingeweiht wurde, steht uns nun noch mehr Platz für die Vorbereitung und Durchführung von Prüfungen sowie für die Umsetzung anspruchsvoller Forschungsprojekte zur Verfügung. Im Technikum des Otto-Mohr-Laboratoriums sind die Beton-

mischanlage, Lagerflächen sowie eine Klimakammer untergebracht. Außerdem befinden sich hier ein weiteres Aufspannfeld für die Prüfung von Lasten auf einem Trägerrost, welches für bis zu 50 t/m ausgelegt ist, und der weltweit erste zweiaxiale Split-Hopkinson-Bar, an dem das Materialverhalten von Betonen unter hohen biaxialen Belastungsgeschwindigkeiten untersucht wird.

I Leistungen

Unser Leistungsspektrum beruht auf einer großen Basis an technischen Möglichkeiten und wissenschaftlicher Erfahrung und reicht von standardisierten Prüfungen, die für die verschiedenen Materialien im Bauingenieurwesen üblich sind, bis zu maßgeschneiderten Prüfungen im Labor oder in situ. Dazu gehört auch die Neuentwicklung von Versuchsaufbauten für spezielle vom Auftraggeber oder Forscher gewünschte Prüfaufgaben, die nicht mit genormten Tests gelöst werden können. Neben verschiedenen Methoden der zerstörenden und zerstörungsfreien Materialprüfungen beherrschen wir die Planung, Durchführung und Auswertung von experimentellen Tragfähigkeitsanalysen.

Auf dem Gebiet des Massivbaus sind unsere Erfahrungen besonders hervorragend. Neben dem Umgang mit den verschiedensten Normalbetonen und Bewehrungen sowie den Hochleistungsbetonen der neuen Generation besitzen wir eine herausragende Expertise hinsichtlich aller Themen, die Textilbeton betreffen. Das betrifft sowohl die Herstellung neuer Bauteile als auch die Ausführung von Verstärkungsarbeiten oder auch der Bau- und Qualitätsüberwachung.

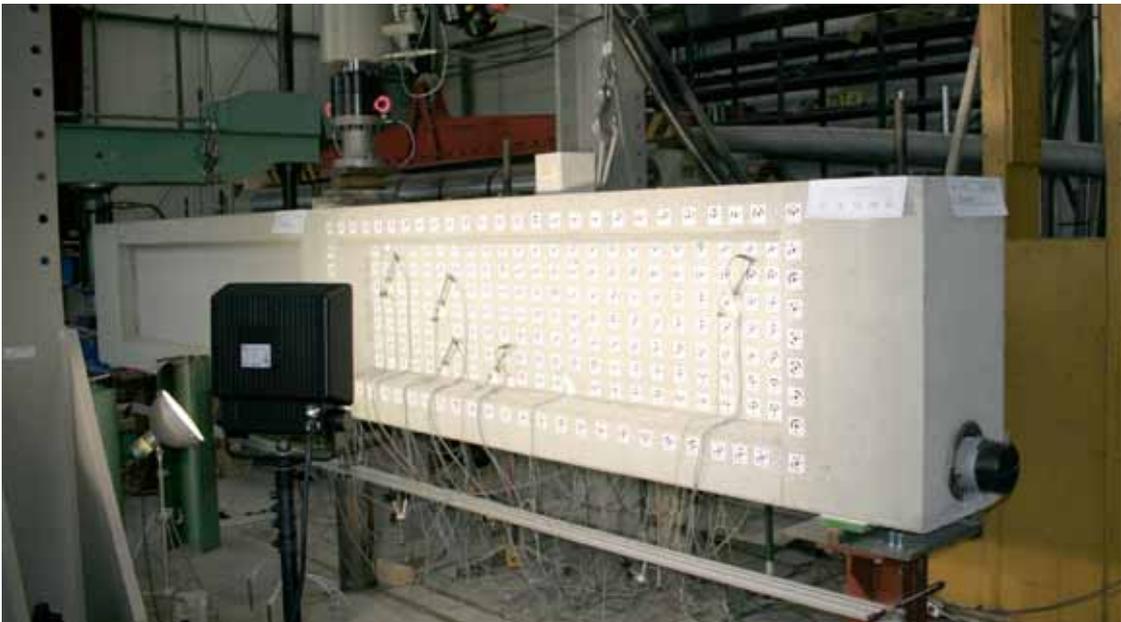
Nachfolgend wurde ein Auszug aus unserem Leistungsangebot zusammengestellt:

I.1 Zerstörende Materialprüfungen

- Druck- und Zugfestigkeit
- Biegeversuche
- Spaltzug- und Haftzugfestigkeit
- Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl
- Arbeitslinien
- Bruchmechanische Kennwerte
- Mehraxiale Druck- und Zugfestigkeit
- Kennwerte von Textilbeton
- Verbundversuche
- Materialeigenschaften bei hoher Belastungsgeschwindigkeit
- Tests bei statischer oder zyklischer Belastung
- Versuche bei erhöhten Temperaturen
- Spezialversuche an Prüfkörpern unterschiedlichster Geometrie und Beschaffenheit

I.2 Zerstörungsfreie Materialprüfungen

- Ultraschallmessungen
- Rückprallwerte
- Bewehrungssuche
- Kraft-, Verschiebungs- und Dehnungsmessungen inkl. Photogrammetrie
- (Video-)Endoskopie
- Kriech- und Schwindversuche
- Dauerstandversuche



Querkraftuntersuchungen am Spannbetonbalken Bild: Doreen Sonntag



In-situ-Tests an Bauwerken aller Art
Bild: Ludwig Beier

I.3 Experimentelle Tragsicherheitsanalyse an bestehenden Bauwerken

Bauwerke werden in der Regel auf eine begrenzte Nutzungsdauer ausgelegt und die Funktion des Bauwerks wird im Normalfall vor seiner Errichtung genau definiert. Im Laufe der Zeit kommt es durch verschiedene Einflüsse wie z. B. steigende Verkehrsbelastung, mangelnde Unterhaltung, unvorhergesehene Umwelteinflüsse, Alterung der Materialien oder eine geplante Umnutzung dazu, dass die aktuelle Tragsicherheit nicht bekannt ist. Erschwerend kommt hinzu, dass vor allem bei Bestandsbauwerken häufig keine oder nur ungenügende Bauwerksunterlagen vorhanden sind, um die Tragfähigkeit rein rechnerisch bewerten zu können. Deshalb kann es sinnvoll sein, diese experimentell zu bestimmen, um darauf aufbauend Restnutzungsdauern zu ermitteln oder für eine Umnutzung die Tragfähigkeit nachzuweisen. Das Otto-Mohr-Laboratorium kann dabei folgende Aufgaben übernehmen:

- Ermittlung der aktuellen Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken oder Bauwerksteilen als Grundlage für die Einschätzung der Restnutzungsdauer und der Kostenplanung
- In-situ-Tests (vertikale oder auch horizontale Belastung) an Bauwerken aller Art auch unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes
- Realistische Ermittlung der Randbedingungen für eine geplante Nutzungsänderung

II Ausstattung

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 aber auch die Bearbeitung anderer Werkstoffe.

Aktuell stehen uns ein 126 m² großes Aufspannfeld und eine große Anzahl von Prüfportalen und Prüfzylindern unterschiedlichster Geometrie und Leistungsfähigkeit zwischen 10 kN und 10 MN zur Verfügung. Weiterhin besitzen wir verschiedene Spezial-Prüfmaschinen, z. B. zur Bestimmung von mehraxialen Materialfestigkeiten oder zur Durchführung von Versuchen unter Temperatureinfluss. Für Bauwerksprüfungen ist eine große Anzahl von Belastungsrahmen vorhanden. Zur Datenerfassung verfügen wir über eine umfangreiche Mess- und Speichertechnik, die verschiedenste Messgeräte und Messmittel einschließlich Photogrammetrie umfasst.

Im Folgenden wieder eine Übersicht über die Ausstattung unseres Labors:

II.1 Betonherstellung

Formen

- Stahl-Standardformen für 10er und 15er Würfel, Zylinder (Durchmesser 150 mm) und Prismen (mit 3 Formfächern je 160 × 40 × 40 mm)
- Spezialformen für Zylinder mit Einschnürung (Betonzugfestigkeit)

- ❑ Schalungen zur Herstellung der Standard-Textilbetonproben
- ❑ Verschiedene Sonderanfertigungen

Mischer

- ❑ Zyklus ZK 50 HE (12 – 50 Liter)
- ❑ Pemat/Zyklus ZK 150 HE (50 – 170 Liter)
- ❑ Pemat PMPR 500 (120 – 500 Liter)
- ❑ Zement-Mörtelmischer, Otto Mondschein Maschinenbau Typ ZMM5

Verdichtung

- ❑ Flaschenrüttler
- ❑ Rütteltisch
- ❑ Schocktisch
- ❑ Nadelprüfgerät
- ❑ Porenvolumen-Messgerät

Sonstige Ausstattung

- ❑ Diverse Waagen, Laborheizplatten, Vibratoren
- ❑ Mörtelausbreittisch und Betonausbreittisch, jeweils mit Metallform
- ❑ Grundplatte und Metallform für Slump-Prüfung
- ❑ Zwei Klimakammern im Normklimabereich und Trockenschränke



Balkenbetonage
Bild: Doreen Sonntag

- ❑ Klimaschränke für den Temperaturbereich von -40 bis 80 °C
- ❑ Temperatur- und Feuchtigkeitsschreiber
- ❑ Betonsägen, Kernbohrgeräte (verschiedene Durchmesser)
- ❑ Bohrhämmer
- ❑ Doppel-Planarschleifmaschine
- ❑ Schrank zur Wärme(nach)behandlung von Betonbauteilen

II.2 Aufspannfelder und Portale

- ❑ Aufspannfeld in der Mohr-Halle (Fläche: 21,0 × 6,0 m, Raster: 1,50 m, Kapazität je Prüfportal bis 1 MN kombinierbar, Prüfung von Einzelelementen bis zu 10 t Gewicht und 5 m Höhe möglich)
- ❑ Aufspannfeld im Technikum (Fläche: ca. 15,0 × 10,5 m, Raster: 1,50 m, Lastkapazität bis 1 MN)
- ❑ Mehrere variable Portale ($H_{\max} = 4,0$ und 5,25 m sowie zwei Portale mit $H_{\max} = 6,00$ m)

II.3 Prüfmaschinen

und -vorrichtungen für Standard- und Spezialprüfungen

Prüfmaschinen für statische

Druck-, Zug- und Biegeversuche

- ❑ DB 6000-4,0 (Maximallast: 6.000 kN Druck, lichte Einbauhöhe: bis 4,0 m)
- ❑ DB 6000-1,5 (Maximallast: 6.000 kN Druck, lichte Einbauhöhe: bis 1,5 m)
- ❑ DB 3000-0,6 (Maximallast: 3.000 kN Druck, lichte Einbauhöhe: bis 0,6 m)
- ❑ DB 600 (Maximallast: 600 kN Druck)
- ❑ ZD 1000 (Maximallast: 1 MN Druck bzw. Zug)
- ❑ ZD 100 (Maximallast: 100 kN Druck bzw. Zug)
- ❑ Zug-Druck-Prüfmaschine (Typ Zwick) mit drei Lastachsen (Maximallasten von 10, 50 und 250 kN Druck bzw. Zug möglich)

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

- ❑ Prüfzylinderanlage (mit mindestens je zwei Prüfzylindern mit maximalen Lasthöhen zwischen 10 und 1.000 kN)
- ❑ Pulsatoranlage (Lastwechselfrequenzen 1 – 12 Hz möglich in Abhängigkeit der zugehörigen Prüfkörperverformung)

- ❑ 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)
- ❑ ZD 25
(Maximallast: 25 kN Druck bzw. Zug)
- ❑ Fallgewichtsversuchsstand ($H_{\max} = 5,00 \text{ m}$, maximales Fallgewicht 49,1 kg)
- ❑ 10-MN-Bauteilprüfmaschine (Prüfkörpergröße bis $B \times L \times H = 2,5 \times 15,0 \times 4,0 \text{ m}$, maximales Prüfkörpergewicht: derzeit 60 t (auf 120 t aufrüstbar)
- ❑ Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche (max. Belastungsgeschwindigkeit bis 35 m/s, Prüfkörper: Durchmesser 50 mm und Länge 50 mm, kinetische Energie des Impaktors: bis zu 1,8 kJ)
- ❑ Zweiaxialer Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche (max. Belastungsgeschwindigkeit: 35 m/s, Prüfkörper: $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$, kinetische Energie des Impaktors: je Achse bis zu 1,8 kJ)

Spezielle Prüfmaschinen und sonstige Ausstattung

- ❑ Triaxial-Prüfmaschine (Maximallast: 500 kN Zug oder 5.000 kN Druck je Achse, Lasteinleitung: starre Platten oder Belastungsbürsten unterschiedlicher Geometrie, maximale Prüfkörpergröße: Quader mit 30 cm Kantenlänge)
- ❑ Biaxial-Prüfmaschine (Maximallast: 100 kN Zug je Achse)
- ❑ Triaxialzelle (maximale Vertikallast: 125 kN Druck, maximaler Radialdruck: 5 MPa, Prüfkörpergröße: $\varnothing = 2,54 \text{ cm}$ und $h = 5,08 \text{ cm}$, Temperaturen bis 150 °C möglich)
- ❑ Horizontaler 20-MN-Belastungsrahmen (Maximallast: derzeit 10 MN (auf 20 MN aufrüstbar), maximale Prüflänge (freie Länge): 5,0 m bei Druckversuchen bzw. bis zu 7,50 m bei Zugversuchen)
- ❑ Horizontale Kettenzugmaschine (Maximallast: 400 kN, maximale Einspannlänge: 6,5 m)

Sonstige Ausstattung

- ❑ Vorrichtungen für 3- und 4-Punkt-Biegeversuche für Standardprüfungen
- ❑ Modellstatik-Prüfstände zur Untersuchung von Stabwerk- und Flächenmodellen
- ❑ Kriechstände mit mechanischer oder pneumatischer Lasterzeugung
- ❑ Plattenprüfstand
- ❑ Stand für Schubversuche
- ❑ Ausstattung zur Durchführung von Versuchen mit variabler Temperaturbeanspruchung
- ❑ Mehrere Steuerpulte



Flächenbelastung einer vorgespannten Decke aus Trockenmauerwerk Bild: Doreen Sonntag

II.4 Ausrüstung für Bauwerksprüfungen

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

- Inclinometer LSOC-0120 (Winkelbestimmung bis +/-3°)
- Verschiedene mechanische Längenmessgeräte (u. a. Messuhren, Setzdehnungsmesser (Bauart Pfender/Setzdehnungsmesser), Messschraube bzw. Mikrometerschraube)
- Hand-held-Shaker
- Magnet-Messstativ
- Federzugkraftmesser
- Verschiedene Kraftmessbügel
- Drahtauslenkungsmesser

II.5 Messtechnik

Messdatenerfassung

- Messverstärker: MGC, MGCplus, Quantum MX840 und Spider 8
- Vielstellenmessgerät: UPM100
- Nahbereichsphotogrammetrie:
 - AICON-3D-System mit vier Kameras und Zubehör
 - GOM ARAMIS 5 M mit zwei Kameras und Zubehör
- Verschiedene Spiegelreflex- und Kompaktkamerasysteme
- Transientenrekorder für Messungen bei Hochgeschwindigkeitsversuchen
- AOS-Messgerät für Faser-Bragg-Gitter-Sensoren
- Hochgeschwindigkeitskamera Photron Fastcam SA5

Sensorik

- Verschiedene Kraftmessdosen zwischen 1 und 10.000 kN
- Dehnmessstreifen
- Induktive Wegaufnehmer
- Faser-Bragg-Gitter
- Dehnungsaufnehmer
- Beschleunigungsaufnehmer
- Dynamische Kraftsensoren
- Thermoelemente und Feuchtesensoren
- Extensometer
- Seilzugsensor

Vermessung

- Nivelliergerät
- Theodolit
- Verschiedene Entfernungsmessgeräte

Sonstiges

- Neigungsmessgerät (Winkelbestimmung bis +/- 30°)

II.6 Metallwerkstatt

- Umfangreiche, gut sortierte Auswahl an Standard-Werkzeugen
- Drehbänke
- Fräse
- Säge
- Ständerbohrmaschinen
- Drehmomentenschlüssel
- Nivelliergeräte
- Stahlhobelmaschine

II.7 Holzwerkstatt

- Umfangreiche, gut sortierte Auswahl an Standardwerkzeugen
- Fräse
- Abrichte
- Werkbänke
- Ständerbohrmaschine
- Bandsäge
- Kreissäge
- Hobelmaschine

II.8 Sonstige Ausrüstung

- Zwei Brückenkrane (Tragkraft je 5 t) in der Mohr-Halle, ein Brückenkran (Tragkraft 5 t) im Technikum (Bereich Betonierhalle), ein Brückenkran (Tragkraft 10 t) im Technikum (Bereich Betonierhalle)
- Gabelstapler (Tragkraft 3 t)
- Schweißerausrüstung, elektro und autogen
- Mobile Druckölaggregate
- Aggregat zum Sandstrahlen
- Schwerlastwagen bis 60 t Tragkraft

Belastungstests an Balkonen

An Dresdner Wohnblöcken (Baujahr 1956) wiesen einige Balkone Risse im Dichtungsbeleg auf. Im Rahmen einer Untersuchung, in der die Ursachen für diese Risse gefunden werden sollten, wurde auch eine Bewehrungstiefenprüfung durchgeführt. Dabei wurden erhebliche Abweichungen zwischen der geplanten Lage der Bewehrung und der tatsächlichen und bei der Bewehrungsmenge festgestellt. Wird dies in der Statik für aktuelle Normlasten berücksichtigt, kann keine ausreichende Standsicherheit nachgewiesen werden. Eine komplette Sanierung der mehr als 100 Balkone würde aber einen erheblichen finanziellen Aufwand darstellen. Deshalb sollte die Tragsicherheit durch einen Vor-Ort-Belastungstest nachgewiesen werden. Die Versuche hatten Aussicht auf Erfolg, da die Balkone nach über 50-jähriger Nutzung keine Schäden bezüglich der Tragfähigkeit aufwiesen.

Um alle Balkone repräsentativ abbilden zu können, wurden für den Test vier übereinander liegende, 3,80 m breite Balkone mit einer Auskragung von 1,50 m ausgewählt. Die nach DIN 1055 nachzuweisende Flächenlast wurde durch eine äquivalente Linienlast realisiert, die in Balkonmitte über 30 × 60 cm große Holzplatten eingetragen wurde. Die Belastung erfolgte über Zugstangen, die an je zwei U-Trägern befestigt waren. Als Auflager dienten zwei Betonplatten. Die Zugkräfte wurden über hydraulische Pressen erzeugt. Obwohl durch den online beobachteten



Belastungstests an Balkonen

Eigentümer

Wohnungsgenossenschaft Post Dresden eG

Prüfingenieur

Dipl.-Ing. Jochen Simon (VPI)

Beauftragter Koordinationsingenieur

Dipl.-Ing. Christian Wuttke

Gutachter

Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. habil. Heinz Opitz

Versuchsdurchführung

Otto-Mohr-Laboratorium

Versuchsleiter

Dipl.-Ing. Thomas Popp

Zeitraum

06 – 07/12

Anstieg der Durchbiegung während der Belastung ein Versagen rechtzeitig erkannt werden und eine sofortige Entlastung erfolgen kann, wurde vorsorglich ein Absturzsicherung der Balkonplatten vorgesehen.

Die Versuchsgrenzlast von 6,0 kN/m² wurde aus den charakteristischen Werten der Einwirkung ermittelt. Die Last wurde stufenweise mit zwischenzeitlicher Entlastung aufgebracht. Die Laststufen wurden relativ klein gewählt, um ein eventuelles Versagen rechtzeitig erkennen zu können. Anschließend wurde eine Dauerlast von 4,0 kN/m² 20 min lang eingetragen. Dabei blieben bei allen vier Balkonen die Durchbiegungen konstant.

Die In-situ-Tests ergaben u. a., dass die nach DIN vorgeschriebene charakteristische Nutzlast für Balkone von 4,0 kN/m² ohne Schäden von den untersuchten Bauteilen ertragen werden kann. Die Durchbiegungen am Kragarmende blieben auch bei Eintragen der Versuchsziellast so gering, dass die Zugfestigkeit des Betons an der Oberseite nicht überschritten wurde. Durch die Belastungstests ist es nun möglich, die Balkone in der jetzigen Form ohne teure Sanierungsmaßnahmen weiter zu nutzen.

Hochduktiler Beton mit Bewehrung

Das Institut für Baustoffe erforscht unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine den Einfluss von Stabstahlbewehrung auf das Tragverhalten von kurzfaserbewehrtem hochduktilen Beton. Das Forschungsprojekt verfolgt das Ziel, konstruktive Elemente aus hochduktilen Beton für den Einsatz im Brückenbau zu entwickeln. Außerdem muss eine geeignete Herstellungstechnologie gefunden werden. Die Brückenelemente sollen als Alternative für die Überbrückung von Bauwerksfugen, zwischen einzelnen Überbauteilen oder im Übergang zwischen Überbau und Unterbau Anwendung finden.

Um das angestrebte Projektziel zu realisieren, müssen die Betonrezeptur, die Herstellungstechnologie und die Konstruktion der Bauteile mit den Anforderungen an Übergangskonstruktionen in Einklang gebracht werden. Ausgangspunkt sind Versuche auf Material- und Bauteilebene, mit denen die maßgebenden Parameter für die technische Entwicklung bestimmt werden. Auf dieser Grundlage werden Konstruktion und Herstellung der Elemente ermöglicht.

Neben Materialversuchen zur Bestimmung der Wirkung der Fasern auf die Baustoffeigenschaften werden Ausziehversuche an stahlbewehrten Pull-out-Körpern sowie zentrische Zugversuche an stahlbewehrten Dehnkörpern durchgeführt. Die zuletzt genannten Bauteilversuche wurden im Otto-Mohr-Laboratorium durchgeführt. Die zu



Versuchsaufbau der einaxialen Zugversuche

Titel

Untersuchung von hochduktilen Beton für die Entwicklung von konstruktiven Brückenelementen

Förderer

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Förderungszeitraum

10.2011 – 02.2014

Leiter

Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine

Bearbeiter

Dipl.-Ing. Eric Mündecke

untersuchenden Parameter sind die Dehnungen des bewehrten Bauteils sowie die Dehnungen bzw. die Spannungen in den Bewehrungsstäben und die Rissbildung auf der Betonoberfläche.

Für die Untersuchungen wurden plattenförmige Versuchskörper mit Außenabmessungen von $3,00 \times 1,00 \times 0,24$ m und einer zweilagigen Bewehrung hergestellt. Die geschweißten Bewehrungskörbe wurden in einer Firma in Großrückerswalde vorbereitet und zur Herstellung an ein Chemnitzer Mischwerk transportiert. Nach der Betonage und anschließender Aushärtung erfolgte der Transport der ca. 2 t schweren Platten zum Otto-Mohr-Laboratorium, wo anschließend die Messtechnik installiert wurde. Nach dem Einbau der Platten in den 10-MN-Prüfrahmen wurden die Platten bis zum Bruch mit einer Belastungsgeschwindigkeit von $0,01$ mm/s belastet. Die Gesamtverformungen auf der Bauteiloberfläche wurden mit insgesamt 16 induktiven Wegaufnehmern sowie einem optischen 3D-Messsystem aufgezeichnet. Zur Messung der lokalen Verformungen kamen 15 Dehnmessstreifen, die auf der Stahlbewehrung appliziert wurden, und eine optische 2D-Messung auf der Betonoberfläche zum Einsatz.

Beschleunigung von Betonermüdungsversuchen

Die durch die Energiewende stetig wachsende Anzahl an Windenergieanlagen für die Energiegewinnung in Deutschland erfordert eine wirtschaftliche und dauerhaft sichere Bemessung dieser Anlagen gegen ein Ermüdungsversagen. Windenergieanlagen sind stark dynamisch beanspruchte Bauwerke mit bis zu 10^9 Lastwechseln bei einer geplanten Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren.

Das Verhalten von Beton bei einer Anzahl von mehr als 2 Millionen Lastwechseln ist aber derzeit noch nicht hinlänglich erforscht. Hauptgrund ist, dass Belastungsversuche im Bereich sehr hoher Lastwechselzahlen $\geq 10^7$ in der bisher durchgeführten Form äußerst zeitaufwendig sind. Deshalb werden in dem vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb) geförderten Forschungsprojekt verschiedene Möglichkeiten im Hinblick auf eine Verkürzung der Prüfzeit von Betonprobekörpern bei sehr hohen Lastwechselzahlen untersucht.

Das aktuelle Forschungsvorhaben gliedert sich in drei Arbeitspakete. Im derzeit in Bearbeitung befindlichen Arbeitspaket 1 werden an 10er Würfeln aus Beton C 30/37 Druckversuche unter einer Schwellbelastung mit 10^6 Lastwechseln bei Prüffrequenzen von 5, 10 und 50 Hz durchgeführt. Durch den Einsatz von Temperatursensoren im



Prüfwürfel im Ermüdungsversuch

Titel

Möglichkeiten zur Beschleunigung von Untersuchungen zur Betonermüdung unter sehr hohen Lastwechselzahlen

Förderer

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)

Förderungszeitraum

01.2012 – 08.2014

Leiter

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

Bearbeiter

Dr.-Ing. Torsten Hampel.
Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

Versuchsdurchführung

Otto-Mohr-Laboratorium

Inneren des Würfels werden zudem Erkenntnisse über den Temperaturverlauf während der dynamischen Beanspruchung gewonnen, um abzuklären, ob sich die Probekörper während des Versuchs erwärmen, was im jungen Betonalter möglicherweise eine Festigkeitssteigerung bewirken könnte.

Die Prüfung der Probekörper erfolgt durch eine sinusförmige, kraftgesteuerte Druckschwellbelastung. Die Höhe der zyklischen Schwellbelastung wurde anhand der zuvor durchgeführten Druckversuche unter ruhender Belastung bestimmt. Das Schwingenspiel wurde, ausgehend vom Mittelwert der Bruchfestigkeit, mit einer Oberlast von 80 % sowie einer Unterlast von 60 % festgelegt. Die Schwingungsamplitude beträgt somit 20 %.

Während der dynamischen Beanspruchung der Prüfkörper wurde bisher nur ein geringer Anstieg der Temperatur im Inneren des Würfels festgestellt. Ob die Veränderung des Temperaturverhältnisses von innen zu außen jedoch ausschließlich aus der Druckschwellbeanspruchung resultiert, kann bisher noch nicht vollständig belegt werden.

Holzfachwerke mit Betonknoten

Die zielgerichtete Verwendung unterschiedlicher Materialien in sogenannten Hybridtragwerken findet in der Forschung des Bauwesens zunehmend Beachtung. Ein Beispiel dafür ist die Holz-Beton-Verbundbauweise, für die in diesem Forschungsvorhaben des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen der Fakultät Bauingenieurwesen ein neuer Aspekt untersucht wurde.

Das Ziel war die Entwicklung effizienter Anschlussdetails für Fachwerke aus Holz. Das neuartige Anschlusskonzept sieht vor, die an den Gurten endenden Stäbe in Ausnehmungen eingreifen zu lassen, die mit Vergussbeton verfüllt werden. Druckstäbe werden aus Holz hergestellt. Für die Zugstäbe, die mit Ankerplatten im Beton rückverankert werden, wird hingegen Stahl verwendet. Der Vergussknoten wird damit einem mehraxialen Druckspannungszustand ausgesetzt. Zu den Vorteilen dieses Konzepts zählen die Passgenauigkeit der Anschlüsse, die zu vergleichsweise geringen Verformungen der Fachwerke beiträgt und die hauptsächlich faserparallele Belastung des Holzes, sodass ungünstige Belastungen senkrecht zur Faser vermieden werden. Da äußerlich keine Verbindungsmittel zu erkennen sind, besitzen derartige Tragwerke zudem ein positives Erscheinungsbild.

Titel

Eingegossene Betonknoten-Verbindungen für hochbeanspruchte Stab- und Fachwerkstrukturen im Ingenieurholzbau

Förderer

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

Förderungszeitraum

11.2009 – 08.2012

Leiter

Prof. Dr.-Ing. Peer Haller

Bearbeiter

Dr.-Ing. Jens Hartig, Dr.-Ing. Andreas Heiduschke, Dipl.-Ing. Robert Putzger

Projektpartner

Hess Timber GmbH & Co. KG

Die umfangreichen experimentellen Untersuchungen zum Forschungsprojekt wurden im Otto-Mohr-Laboratorium durchgeführt. Neben Traglastversuchen an einzelnen Verbindungen und Fachwerksystemen wurden auch Dauerstandversuche bei Freibewitterung über den Zeitraum von mehr als einem Jahr durchgeführt. Das Highlight des Versuchsprogramms war die Prüfung eines Fachwerksystems mit bauwerksnahen Abmessungen von 10 m Spannweite und 2 m Höhe in der 10-MN-Säulenprüfmaschine des Otto-Mohr-Laboratoriums.



Versuchsträger mit 10 m Spannweite in der Prüfmaschine





INSTITUT

DAS INSTITUT FÜR MASSIVBAU IN ZAHLEN UND FAKTEN

1 Organisationsstruktur

Die Organisationsstruktur des Instituts hat sich in den zurückliegenden Jahren bewährt und wurde auch 2012 beibehalten. Aufgrund der Inanspruchnahme der Elternzeit durch Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer wurde Dipl.-Ing. Robert Ritter mit der Leitung der Forschungsgruppe 1 „Verbund, Leicht Bauen“ betraut. Die Leitung der Forschungsgruppe 3 „Textilbeton“ wurde Ende 2012 von Dr.-Ing. Regine Ortlepp an Dr.-Ing. Frank Schladitz übergeben. Regine Ortlepp wechselte mit der Übernahme des Projektes „Querschnitts-adaption für stabförmige Druckbauteile“ in die Forschungsgruppe 1.

Auf unserem Weg, die fachliche Kommunikation und den Erfahrungsaustausch auszubauen, sind wir ein weiteres Stück vorangekommen. Heute verfügen wir über ein breites Spektrum an Kommunikationswegen. In den Beratungen der Forschungsgruppen und der Admin-Gruppe, in Institutsversammlungen und in Protokollen der Beratungen der Institutsleitung wird über alle wichtigen Themen informiert. In Projektmeetings und Projektreviews werden Ergebnisse diskutiert, die in den Projekten erzielt wurden. Im Lehre-

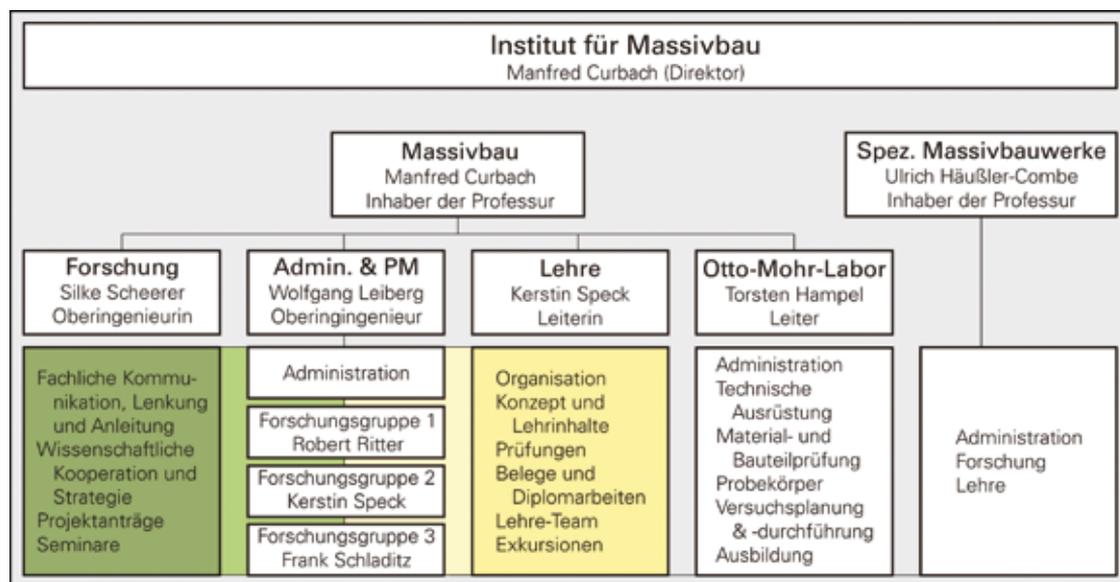
Team arbeiten alle Kolleginnen und Kollegen zusammen, welche sich mit viel Engagement den verschiedensten Lehraufgaben widmen. Im Doktoranden-Kolloquium hat jeder Doktorand die Gelegenheit, seine Ergebnisse und fachlichen Probleme dem gesamten wissenschaftlichen Personal der Fakultät zu präsentieren und oftmals wertvolle Hinweise zu erhalten. Im Messtechnik-zirkel wird sich projektübergreifend über Probleme und Möglichkeiten verschiedenster Messverfahren und Messgeräte ausgetauscht.

Schwerpunkt für 2013 wird die Verstärkung dieser Kommunikationsmaßnahmen sowie die verstärkte, konsequente Nutzung der Ergebnisse sein.

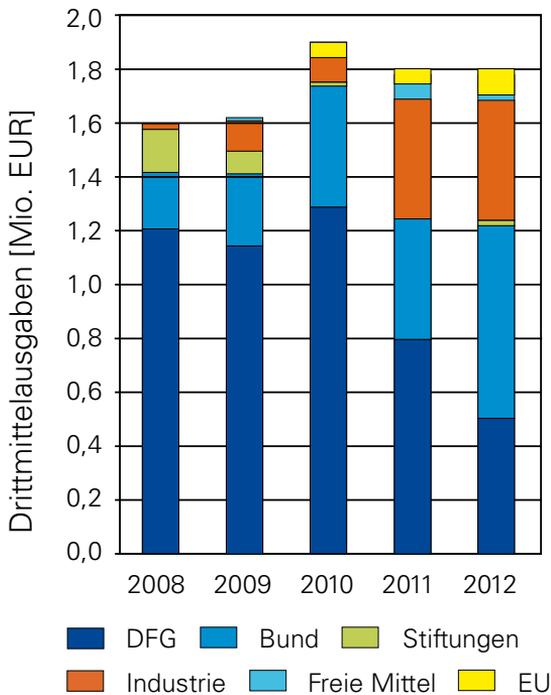
2 Grundausrüstung und Drittmittel

Die Grundausrüstung des Instituts für Massivbau bestand im Jahr 2012 aus 34.033 € Sachmitteln, einer Bürofläche von 618 m² und einer Laborfläche von 2.442 m².

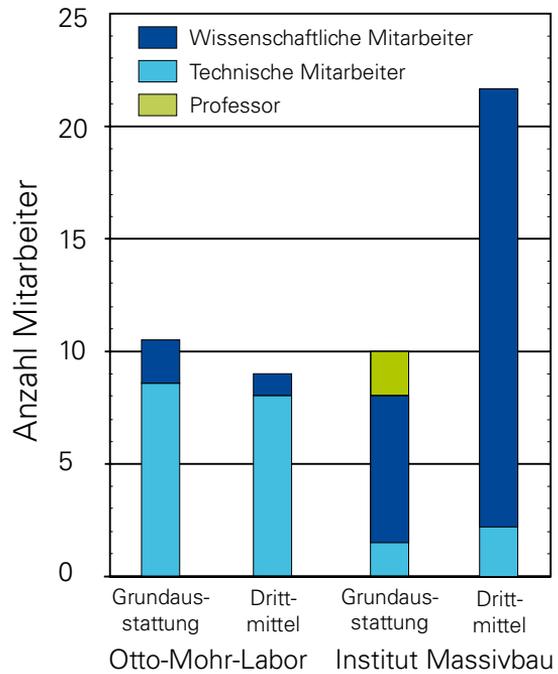
Der Drittmittelumsatz im Jahr 2012 konnte auf dem hohen Niveau des Vorjahres gehalten wer-



Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand: 31.12.2012)



Entwicklung der Drittmittelausgaben in den Jahren 2008 – 2012



Planstellen und Drittmittelstellen im Jahr 2012

den. Das Auslaufen der finanziellen Förderung des Sonderforschungsbereiches 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) zum 30.06.2011 konnte durch die Bewilligung neuer Forschungsprojekte seitens des Bundes kompensiert werden. Die Bearbeitung von Projekten der industriellen Forschung konnte auf dem gleichbleibend hohen Niveau des Jahres 2011 fortgeführt werden.

Die Anzahl unserer Mitarbeiter blieb 2012 nahezu konstant. Im Otto-Mohr-Laboratorium konnten ein technischer Mitarbeiter und eine wissenschaftliche Mitarbeiterin drittmittelfinanziert eingestellt werden.

Auf der Grundlage der erfolgreichen Arbeit aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts konnten wir auch 2012 die Arbeitsbedingungen deutlich verbessern.

Mit der Inbetriebnahme weiterer Rechentechnik (drei Server, Switches, unterbrechungsfreie Stromversorgung) sind wir in der Lage, mehr Backups, mehr Rechenressourcen, ein schnelle-

res Netzwerk und mehr Speicher bereitzustellen sowie eine höhere Ausfallsicherheit zu gewährleisten.

Mit der Umgestaltung der Institutsbibliothek (Handapparat) konnten wir uns im Jahr 2012 einen lange gehegten Wunsch erfüllen. Allen Institutsangehörigen wird damit ein schneller Zugriff auf wichtige und wertvolle Publikationen unseres Fachgebiets in einem ansprechenden Ambiente ermöglicht.

Auch die Verbesserung der Raumsituation konnten wir in 2012 erreichen. Mit der Zuweisung, Renovierung und Modernisierung von vier Büros und eines kleinen Archivs konnten nicht nur die Arbeitsplätze von sechs Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, sondern auch die Zusammenarbeit einer ganzen Forschungsgruppe durch räumliche Zusammenlegung deutlich verbessert werden.

3 Leistungen in der Forschung

Wie bereits in den vergangenen Jahren konzentrierten sich die Aktivitäten im Bereich der industriellen Forschung auf den Transfer von Forschungsergebnissen zum Textilbeton in die Industrie. Wir beabsichtigen, diesen Trend weiter zu stärken, um letztlich die herausragenden Forschungsergebnisse des SFB 528 einer breiten industriellen Nutzung zuzuführen.

Ein wichtiger Meilenstein hierbei ist die Erlangung einer Allgemeinen baurechtlichen Zulassung. Diese zu erreichen stellt sowohl an unserem Institut als auch an das Deutsche Zentrum Textilbeton (DZT) und den TUDALIT e. V. hohe Anforderungen.

Die Bewilligung des Projektes „Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitsbehälter (Flugzeugtanks)“ ermöglicht es unserem Institut, den bereits seit zwei Jahren im Ausbau befindlichen Forschungsschwerpunkt „Dynamische Beanspruchung von Beton“ weiter voran zu bringen. Bereits im zurückliegenden Jahr konnten auf diesem Gebiet ausgezeichnete Ergebnisse erzielt werden.

Im Folgenden sind die Forschungsprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2012 bearbeitet wurden.

Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten

Förderer: GRS
 Laufzeit: 01.07.2009 – 31.12.2012
 Anteilige Fördersumme: 199.008 €

Multifunktionale Baustoffverbunde

Förderer: AiF
 Laufzeit: 01.09.2009 – 31.07.2012
 Anteilige Fördersumme: 9.650 €

Entwicklung einer Prinziplösung für Gebäude aus tragfähigen Textilbetonfertigteilen

Förderer: AiF
 Laufzeit: 01.07.2010 – 31.05.2012
 Anteilige Fördersumme: 49.462 €

Simulation von Impaktvorgängen mittels Diskrete-Element-Methode

Förderer: GRS
 Laufzeit: 01.10.2010 – 30.09.2013
 Anteilige Fördersumme: 59.764 €

Entwicklung einer flexiblen mechanisierten Technologie und deren Anlagentechnik zur Herstellung textildbewehrter flächenhafter Betonbauteile

Förderer: AiF
 Laufzeit: 01.07.2010 – 31.05.2012
 Anteilige Fördersumme: 79.401 €

Anpassung und Weiterentwicklung der Prüfmethode für Verbundverhalten und Dauerhaftigkeit von textildbewehrtem Beton, Stufe 1

Förderer: TUDAG
 Laufzeit: 01.09.2010 – 30.06.2012
 Anteilige Fördersumme: 85.600 €

Anpassung und Weiterentwicklung der Prüfmethode für Verbundverhalten und Dauerhaftigkeit von textildbewehrtem Beton, Stufe 2

Förderer: TUDAG
 Laufzeit: 01.04.2012 – 30.06.2013
 Anteilige Fördersumme: 23.800 €

Entwicklung hochtemperaturbeständiger gitterartiger Basalttextilien zur Verstärkung mineralischer Matrices (Basaltbewehrungen)

Förderer: AiF
 Laufzeit: 01.07.2011 – 31.12.2013
 Anteilige Fördersumme: 69.050 €

Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile

Förderer: DFG / SPP 1542
 Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014
 Anteilige Fördersumme: 125.997 €

Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen

Förderer: DFG / SPP 1542
 Laufzeit: 01.10.2011 – 30.09.2014
 Anteilige Fördersumme: 126.161 €

Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit des SPP 1542

Förderer: DFG /SPP1542

Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014

Anteilige Fördersumme: 122.147 €

Erarbeitung und Umsetzung eines Konzeptes zur Vorbereitung der Standardisierung eines Verfahrens für die Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit TUDALIT®

Förderer: DLR

Laufzeit: 01.07.2011 – 31.03.2013

Anteilige Fördersumme: 119.076 €

Materialscreeningversuche zur Beschichtungs- und Optimierung von Textilbewehrung

Förderer: SMWK

Laufzeit: 01.09.2011 – 30.04.2012

Anteilige Fördersumme: 40.000 €

Untersuchungen zur Querkraftverstärkung mit Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung

Förderer: DAfStb

Laufzeit: 01.02.2011 – 31.07.2012

Anteilige Fördersumme: 10.000 €

ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments

Förderer: Helmholtz-Gemeinschaft

Laufzeit: 01.10.2012 – 30.09.2017

Anteilige Fördersumme: 17.250 €

Modellierung des Verbundverhaltens von Beton- und Spannstahl unter Querkraft

Förderer: GRS

Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2015

Anteilige Fördersumme: 49.484 €

Klimaneutrale Strahlungsheizung aus Textilbeton – Entwicklung von tragenden Textilbetonbauteilen mit adaptiven Heizstrukturen aus Kohlenstofffasern für klimaneutrale Gebäudeenergiekonzepte

Förderer: AiF

Laufzeit: 01.06.2012 – 31.05.2015

Anteilige Fördersumme: 41.415 €

Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitsbehälter (Flugzeugtanks)

Förderer: GRS

Laufzeit: 01.07.2012 – 31.12.2014

Anteilige Fördersumme: 399.830 €

DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.03.2012 – 28.02.2014

Anteilige Fördersumme: 58.800 €

Raumabschließende Bauelemente aus Textilbeton unter Temperaturbeanspruchungen

Förderer: AiF

Laufzeit: 01.10.2012 – 31.03.2015

Anteilige Fördersumme: 18.200 €

Möglichkeiten zur Beschleunigung von Untersuchungen zur Betonermüdung unter sehr hohen Lastwechselzahlen

Förderer: DAfStb

Laufzeit: 01.01.2012 – 30.08.2014

Anteilige Fördersumme: 18.750 €

Entwicklung eines kletterfähigen Roboters an linearen Führungen zur Bauwerksinspektion

Förderer: AiF

Laufzeit: 01.09.2012 – 31.08.2014

Anteilige Fördersumme: 18.328 €

Entwicklung und Erprobung von Versuchsgrenzlastindikatoren bei der experimentellen Tragfähigkeitsanalyse bestehender Hochbaukonstruktionen mit geringem Ankündigungsverhalten

Förderer: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

Laufzeit: 01.12.2012 – 01.12.2013

Anteilige Fördersumme: 45.600 €

Entwicklung und Erprobung eines Abstandhaltersystems für textile Bewehrungen im Beton

Förderer: AiF

Laufzeit: 01.10.2012 – 30.09.2014

Anteilige Fördersumme: 17.226 €

Entwicklung einer Bemessungssoftware für Bauteilverstärkungen aus Textilbeton; Aufbereitung von theoretischen Grundlagen zum Textilbeton und der Textilbetonverstärkung zur Integration in Bemessungsprogramme

Förderer: AiF

Laufzeit: 01.07.2012 – 31.12.2014

Anteilige Fördersumme: 17.336 €

4 Wichtige Publikationen 2012

Beckmann, B.; Hummeltenberg, A.; Weber, T.; Curbach, M.: Strain Behaviour of Concrete Slabs under Impact Load. *Structural Engineering International* 22 (2012) 4, p. 562-568 – DOI: 10.2749/101686612X13363929517893

Beckmann, B.; Schicktanz, K.; Reischl, D.; Curbach, M.: DEM simulation of concrete fracture and crack evolution. *Structural Concrete* 13 (2012) 4, p. 213-220 – DOI: 10.1002/suco.201100036

Häußler-Combe, U.; Hartig, J.: Evaluation of Concrete Cracking due to Restrained Thermal Loading and Shrinkage. *ACI Structural Journal* 109 (2012) 1, p. 41-52

Hummeltenberg, A.; Curbach, M.: Entwurf und Aufbau eines zweiaxialen Split-Hopkinson-Bar. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012) 6, S. 394-400 – DOI: 10.1002/best.201200013

Schladitz, F.; Curbach, M.: Torsion tests on textile-reinforced concrete strengthened specimens. *Materials and Structures* 45 (2012) 1-2, p. 31-40 – DOI: 10.1617/s11527-011-9746-5

Schladitz, F.; Frenzel, M.; Ehlig, D.; Curbach, M.: Bending load capacity of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforced concrete. *Engineering Structures* 40 (2012) 7, p. 317-326 – DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.02.029

5 Wichtige Konferenzbeiträge und Vorträge 2012

Beckmann, B.; Schicktanz, K.; Curbach, M.: Discrete Element Simulation of Concrete Fracture and Crack Evolution. In: Rossi, P.; Tailhan, J.-L. (Ed.): *Conference for Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures SSCS 2012*, 29.05.-01.06.2012 in Aix-en-Provence, France, 2012, paper No. 301 (Proceedings on CD)

Curbach, M.: Change as an opportunity · Wandel als Chance. *BFT International* 78 (2012), S. 5 [Proceedings der 56. Betontage, 07.-09.02.2012 in Neu-Ulm]

Curbach, M.; Beckmann, B.; Quast, M.; Hummeltenberg, A.: Stoßeinwirkungen auf Betonkonstruktionen · experimentelle Untersuchung von Impaktvorgängen. *BFT International* 78 (2012), S. 10-12 [Proceedings der 56. Betontage, 07.-09.02.2012 in Neu-Ulm]

Curbach, M.; Scheerer, S.: Die Verantwortung des Brückenbauingenieurs – Ein Plädoyer für



kleine Brücken. In: Curbach, M. (Hrsg.): *Tagungsband zum 22. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken*. 12.-13.03.2012 in Dresden, Eigenverlag; Technische Universität Dresden, 2012, S. 13-28 – ISBN 987-3-86780-240-6

Curbach, M.; Scheerer, S.: Wie die Baustoffe von heute das Bauen von morgen beeinflussen. In: KIT (Hrsg.): *Baustoffe und Betonbau · Lehren, Forschen, Prüfen, Anwenden*. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller, zusammengestellt von M. Haist und N. Herrmann, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2012, S. 25-36 – ISBN 978-3-86644-795-0

Kühn, T.; Häußler-Combe, U.: Strain Rate Sensitive Failure Modelling of Concrete with a novel Visco-Elastic-Retarded-Damage material formulation. In: *Proceedings of 10th World Congress on Computational Mechanics (WCCM 2012)*, 8.7.2012 in Sao Paulo, Brazil: Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo, 2012, 4 p. (CD)

Scheerer, S.: Leicht Bauen mit Beton – Von der Vision zur Realität. Vortrag auf der VDZ-Jahrestagung, Düsseldorf, 28.09.2012

Ein Plädoyer für kleine Brücken hielt Prof. Manfred Curbach auf dem 22. Dresdner Brückenbausymposium
Bild: Ulrich van Stipriaan

6 Leistungen in der Lehre

Wesentliche Aufgabe der Universität und des Instituts ist – neben der Forschung – die Ausbildung von Studenten und die Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. In Vorlesungen, Seminaren und Übungen wird Wissen vermittelt und gefestigt. In Hausaufgaben und Belegen zeigen die Studenten, ob sie das Gelernte anwenden können. Neben den Vorlesungen und Übungen für Studenten des Diplom-Studien- bzw. Aufbaustudienganges Bauingenieurwesen (BIW) werden vom Institut für Massivbau auch Lehrveranstaltungen im englischsprachigen Masterstudiengang „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies“ (ACCESS) und in den Studiengängen Wasserwirtschaft



Studentinnen und Studenten während einer Übung
Bild: Ulrich van Stipriaan

(WaWi), Wirtschaftsingenieurwesen (WiWi) und Erziehungswissenschaften (EW) angeboten.

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende	SWS	Studiengang
Stahlbetonbau	V/Ü	5.	Speck, Ritter	1/1	BIW
Mauerwerksbau	V	5.	Häußler-Combe	1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V	7.	Curbach, Schwiteilo	2	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	V	7.	Schacht	2	BIW
Massivbrückenbau	V	7.	Curbach, Just	2	BIW
Schrägbelbrücken	V	7.	Svensson	1	BIW
Nachhaltige Tragwerksplanung	V	7.	Speck	1	BIW, EW
Projektarbeit	B	9.	Häußler-Combe, Ortlepp, Ritter, Schacht, Schröder, Schwiteilo	780 h	BIW
Project Work	B	4.	Frenzel, Just, Kühn, Ortlepp, Quast, Schacht, Schmidt, Schwiteilo	720 h	ACCESS

Tab. 1: Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2011/2012

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende	SWS	Studiengang
Stahlbetonbau	V	4.	Speck	2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Speck, Ritter	2/2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Scheerer, Just	2/2	Wawi, WiWi
Stahlbetonkonstruktionslehre	V/Ü	6.	Häußler-Combe, Michler	2/1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V/Ü	8.	Schwiteilo, Schröder, Michler, Schmidt, Curbach	1/3	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	Ü	8.	Schacht, Ortlepp	1,5	BIW
Mess- und Versuchstechnik	V/Ü	8.	Hampel	1/0,5	BIW
Spezialbauwerke des Wasserwesens	V	8.	Häußler-Combe	1	BIW
Computational Engineering im Massivbau	V/Ü	8.	Häußler-Combe	2/1	BIW
Design of Concrete Structures	V/Ü	2.	Ortlepp	2/1	ACCESS

Tab. 2: Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2012



Anschauliche Lehre im Otto-Mohr-Laboratorium Bild: Ulrich van Stipriaan

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende	SWS	Studiengang
Stahlbetonbau	V/Ü	5.	Speck, Ritter	1/1	BIW
Mauerwerksbau	V	5.	Häußler-Combe	1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V	7.	Curbach, Scheerer, Michler	2	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	V	7.	Schacht, Zobel	2	BIW
Massivbrückenbau	V	7.	Curbach, Just	2	BIW
Nachhaltige Tragwerksplanung	V	7.	Speck	1	BIW
Projektarbeit	B	9.	Häußler-Combe, Ehlig, Just, Lorenz, Michler, Ortlepp, Ritter, Schacht, Schladitz, Schütze, Speck	780 h	BIW
Project Work	B	4.	Frenzel, Just, Kühn, Michler, Ortlepp, Quast, Reischl, Schacht, Schmidt, Schütze, Zobel	720 h	ACCESS

Tab. 3: Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2012/2013

Die Einbindung der Studenten in die laufenden Forschungsprojekte stellt einen wesentlichen Aspekt der Lehre, aber auch der Forschung dar. Durch die Mitarbeit an konkreten Projekten als studentische Hilfskraft oder im Rahmen von Belegen, Projektarbeiten/Project Works, Diplom-

und Masterarbeiten lernen die Studenten sowohl Methoden der wissenschaftlichen Arbeit als auch die Vielfalt der Forschungsgebiete kennen. Zugleich bedeutet die Einbeziehung der Studenten eine nennenswerte Erhöhung des Forschungspotentials.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Diplomarbeiten	5	9	1	2	6	3	8	13
Masterarbeiten	–	1	1	1	4	1	1	3

Tab. 4: Diplom- und Masterarbeiten am Institut für Massivbau in den Jahren 2005 – 2012

7 Wissenschaftlicher Nachwuchs

Neben der Ausbildung von Studierenden ist es unsere Aufgabe, wissenschaftlichen Nachwuchs heranzubilden. Dafür die Bedingungen immer weiter zu verbessern, ist unser Ziel. Durch die Entwicklung einer offenen Kommunikation, der Übertragung von Verantwortung bei der Bearbeitung von Projekten und dem Angebot von Weiterbildungsmaßnahmen wollen wir neben der Aneignung von Fachwissen auch die Weiterentwicklung der sogenannten „Soft Skills“ fördern. Eine enge Betreuung unserer Doktoranden auf diesem Weg ist Aufgabe der Institutsleitung und der Forschungsgruppenleiter. Ein messbares Ergebnis dieses mehrjährigen Prozesses ist letztlich die erfolgreiche Promotion.



Erstrebenswert: Der Doktorhut. Aus Marzipan mit Schokoglasur auch für den jüngsten Nachwuchs...
Bild: Ulrich van Stipriaan

Im Jahr 2012 verteidigte Steffen Schröder erfolgreich seine Arbeit. Derzeit haben 16 wissenschaftliche Mitarbeiter das Ziel, am Institut für Massivbau zu promovieren.

Zudem betreut Prof. Curbach aktuell sieben externe Doktoranden, fünf davon in einem kooperativen Promotionsverfahren mit der HTWK Leipzig, der HTW Dresden und der HTW des Saarlandes.

Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2007 – 2012

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Promotionen	3	2	4	1	5	1

Promotionen als Erstgutachter 2012

Schröder, Steffen

Der Einfluss der zweiaxialen Zugbelastung auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Beton und gemischt bewehrten Bauteilen

Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2007 – 2012

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Promotionen	5	2	5	1	1	1

Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2012

Fitik, Birol

Ermüdungsverhalten von Ultra-Hochfestem Beton bei zyklischen Beanspruchungen im Druck-Zug-Wechselbereich

8 Austausch und Zusammenarbeit

Wir sehen die Förderung und Entwicklung der fachliche Kommunikation und des Erfahrungsaustauschs innerhalb und außerhalb des Instituts als einen wesentlichen Weg zu exzellenten Forschungsergebnissen. Die Einbeziehung der Expertise aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie das Lernen aus Erfolgen und Fehlern hilft uns, Projekte effizienter, innovativer und damit letztlich erfolgreicher durchzuführen. In der Mehrzahl der am Institut bearbeiteten Projekte arbeiten unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eng mit Partnern aus Firmen und anderen Instituten zusammen.

Ausdruck der Anerkennung und Wertschätzung der von den Mitarbeitern des Instituts geleisteten Arbeit ist die zunehmende Nachfrage bzgl. Mitarbeit unserer führenden Wissenschaftler in nationalen und internationalen Fachgremien.

Der Institutsdirektor und Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, ist Mitherausgeber der Schriftenreihe „Konstruktiver Ingenieurbau Dresden (KID)“ sowie Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der Zeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“. Außerhalb der TU Dresden fungiert Prof. Curbach als Leiter der Deutschen Delegation des Internationalen Beton-Verbandes fib (federation internationale du beton) sowie, bis zum 31.03.2012, als Sprecher des engeren Vorstands des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb). Er arbeitet im Landesfachausschuss der CDU „Wirtschaftspolitik, Wissenschaft und Innovation“ sowie im Materialforschungsbund Dresden e. V. mit.

Prof. Curbach ist Mitglied der Thüringer Programmkommission zur Auswahl der zu fördernden Forschungsprojekte, Mitglied des wissenschaftlichen Beirates der Bundesanstalt für Wasserbau, Mitglied im Fachgremium Konstruktiver Ingenieurbau der IHK Dresden und des Fachkollegiums Bauwesen und Architektur der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Des Weiteren ist Prof. Curbach Vorsitzender im Begutachtungsverfahren der wissenschaftlichen Kommission Niedersachsen für die Niedersächsische Technische Hochschule.

Der Inhaber des Lehrstuhls für Spezielle Massivbauwerke, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, ist ECTS-Beauftragter (European Credit Transfer System) der Fakultät Bauingenieurwesen, Mitglied der Graduiertenkommission der TU Dresden und Mitglied des Promotionsausschusses der Fakultät Bauingenieurwesen. Außerhalb der Technischen Universität Dresden ist Prof. Häußler-Combe Mitglied im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, in der German Association for Computational Mechanics, in der Deutschen Gesellschaft für Erdbeningenieurwesen und Baudynamik und im Verein der Straßenbau- und Verkehrsingenieure.

Als Dienstleistung für andere Universitäten und Institute erstellt das Institut für Massivbau Gutachten im Rahmen von Berufungsverfahren. 2012 wurden durch Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach folgende Gutachten erstellt:

- Gutachten im Rahmen des Promotionsverfahrens zur Verleihung der Ehrendoktorwürde der Universität der Bundeswehr München an O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. MSc. Dr.phil. Dr.techn. Konrad Bergmeister
- Gutachten im Rahmen des Berufungsverfahrens der Hochschule Magdeburg-Stendal für die Professur Konstruktiver Ingenieurbau/Bausanierung.
- Gutachten zur Ernennung eines Honorarprofessors an der TU Braunschweig.



9 Tagungen und Kongresse

Deutscher Brückenbaupreis 2012 und 22. Dresdner Brückenbausymposium

Zeitraum: 12. – 13.03.2012

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach in Zusammenarbeit mit dem Verein „Freunde des

Baugenieurwesens der TU Dresden e. V.“ und der TUDIAS GmbH

Teilnehmer:

1.300 (Brückenbaupreis)
1.350 (Symposium)

10 Anerkennungen

Im Jahr 2012 wurden einige der hervorragenden Leistungen von Mitarbeitern des Instituts für Massivbau mit Preisen gewürdigt.

Kurt-Beyer-Preis: Dipl.-Ing. Matthias Quast
Diplomarbeit zum Thema „Erarbeitung eines Brückenentwurfes für eine wartungsarme Fußgängerbrücke in Ruanda unter Berücksichtigung der hiesigen Gegebenheiten und Verwendung lokaler Baustoffe“

Verleihende Einrichtung: HOCHTIEF Solutions AG

Gottfried-Brendel-Preis,

1. Preis: Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm
Großer Beleg: „Tragwerksentwurf für die „Arena da Amazônia“ in Manaus“
Verleihende Einrichtung: BilfingerBerger AG

Gottfried-Brendel-Preis,

2. Preis: Dipl.-Ing. Robert Zobel
Großer Beleg: „Überwindung des Bahndammes und Neugestaltung des Bahnhofes sowie des näheren Bahnhofsumfeldes der Stadt Ahlen“
Verleihende Einrichtung: Bilfinger SE

Hornbachwettbewerb des SPP 1542

Dr.-Ing. Regine Ortlepp
Produktentwurf Winkelstützelement
Dipl.-Ing. Robert Ritter
Produktentwurf Fahrradständer
Verleihende Einrichtung: Hornbach Baumarkt AG

Schlaun-Wettbewerb

Dipl.-Ing. Robert Zobel

PROMOTION



Steffen Schröder

Der Einfluss einer zweiaxialen Zugbelastung auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Beton und gemischt bewehrten Bauteilen

Das Zugtragverhalten von bewehrten und unbewehrten Bauteilen wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Maßgeblich wird es von der Festigkeit des verwendeten Betons, dem Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton sowie vom vorhandenen Spannungszustand im Bauteil bestimmt. In der Regel werden im täglichen Planungsgeschäft des Ingenieurs einaxiale Spannungszustände unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften des Betons aus den Standardprüfungen betrachtet. Jedoch treten in einer Vielzahl von Anwendungen mehraxiale Spannungszustände auf. Beispielhaft sollen hier Bereiche von zweiachsig spannenden Deckenplatten, Bereiche von Rahmenecken, rotations-symmetrischen Bauwerkshüllen sowie bei Brückenbauwerken mit durchlaufender Fahrbahn der Bereich der Stützen genannt werden. Normative Regelungen sehen bisher im Falle einer zweiaxialen Druckbeanspruchung lediglich die Erhöhung der Druckfestigkeit bzw. Verbundspannung vor. Der Fall der zweiaxialen Zugbelastung wird dagegen nicht betrachtet.

Daraus abgeleitet stellt sich die Frage, welchen Einfluss eine zweiaxiale Zugbeanspruchung auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten von unbewehrten und bewehrten Bauteilen ausübt. Mit Blick auf übliche Konstruktionsbetone sollen diese Fragestellungen für einen Beton C20/25 und C40/50 geklärt werden.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden hierzu Versuche an unbewehrten Betonsscheiben und gemischt bewehrten Bauteilen durchgeführt. Das im CEB-FIP Model Code 90 vorgestellte Modell zur Beschreibung des einaxialen Spannungs-Dehnungs-Verhaltens bildet das reale Verhalten von Beton unter zweiaxialer Zugbelastung nur ungenügend ab. Deshalb werden Modelle zur Beschreibung des Verformungsverhaltens von Beton unter Berücksichtigung von zweiaxialen Spannungszuständen für Betone C20/25 und

C40/50 entwickelt. Weiterhin werden Bruchkriterien für die zwei Betonsorten vorgestellt, mit denen die Zugfestigkeit des Betons unter zweiaxialer Zugbelastung bestimmt werden kann. Während beim Beton C20/25 die zweiaxiale Zugfestigkeit annähernd der einaxialen Zugfestigkeit entspricht, so nimmt die Zugfestigkeit des Betons C40/50 unter zweiaxialer Zugbelastung um ca. 25 % ab. Hinsichtlich der Bruchdehnungen unter zweiaxialer Zugbelastung wurde festgestellt, dass diese mit steigendem Spannungsverhältnis $\sigma_1 : \sigma_2$ abnehmen. Darüber hinaus bilden die Modelle zur Bestimmung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens des unbewehrten Betons die Versuchsergebnisse sehr gut ab. Mit Hilfe der hier vorliegenden Ergebnisse können somit das Verformungs- und Festigkeitsverhalten von Beton unter zweiaxialer Zugbelastung sehr gut abgebildet werden.

In Bauteilversuchen wurde das Verformungsverhalten unter zweiaxialer Zugbelastung von gemischt bewehrten Bauteilen untersucht. Die Bestimmung der Verformungen erfolgte hierbei mittels Dehnmessstreifen auf der Betonoberfläche, dem schlaffen Bewehrungsstahl und dem im nachträglichen Verbund liegenden Spannstahl. Ein indirekter Nachweis des Einflusses auf das Verbundverhalten des Spanngliedes erfolgte. Es wurde aufgezeigt, dass unter zweiaxialer Zugbelastung die Dehnungen im Spannstahl infolge der Längsrisssbildung über dem Hüllrohr abnehmen. Dies lässt die Aussage zu, dass die Verbundwirkung des Spanngliedes durch eine orthogonal wirkende Zugbelastung negativ beeinflusst wird. Aufbauend auf den Versuchsergebnissen wird eine Empfehlung für den Einsatz von Dehnmessstreifen zur Bestimmung der Verformungen auf einbetonierten Betonstählen gegeben. Die Berechnung der Erstrisslasten aus den Bauteilversuchen mit den entwickelten Bruchkriterien hat eine sehr gute Übereinstimmung ergeben.



PUBLIKATIONEN 2012

Monografien

Brückner, A.: Querkraftverstärkung von Bauteilen mit textilbewehrtem Beton. Dissertation, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2011, veröffentlicht 2012 unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-85729> und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden. KIT-Heft 27, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2012, 277 S. – ISSN 1613-6934

Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2011 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2012, 126 S.

Curbach, M. (Hrsg.): Hans-Volker Mixsa – Skulpturen in Beton. Katalog zu einem Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des SFB 528 mit Fotos und Texten von Ulrich van Stipriaan, 2. erw. Auflage, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2012, 48 S.

Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 22. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 12.-13.03.2012 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2012, 241 S. – ISBN 987-3-86780-240-6

Jesse, D.: Tragverhalten von textilbewehrtem Beton unter zweiachsender Zugbeanspruchung. Dissertation, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2011, veröffentlicht in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden. KIT-Heft 26, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2012, 173 S. – ISSN 1613-6934

Lindorf, A.: Ermüdung des Verbundes von Stahlbeton unter Querkraft. Dissertation, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2011, veröffentlicht 2012 unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-83503> und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden. KIT-Heft 26, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2012, 228 S. – ISSN 1613-6934

Schladitz, F.: Torsionstragverhalten von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen. Dissertation, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2011, veröffentlicht 2012 unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-81686> und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden. KIT-Heft 28, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2012, 311 S. – ISSN 1613-6934

Ausgewählte Forschungsberichte

Curbach, M.; Brückner, R.; Ortlepp, R.; Wellner, S.: Untersuchungen zur Querkraftverstärkung mit Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung. Abschlussbericht zum DAfStb-Vorhaben V 472, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, 139 S.

Curbach, M.; Just, M.: Grenzzustände kleiner Rissbreiten in Dichtkonstruktionen aus Stahlbeton. Abschlussbericht zum DIBt-Vorhaben ZP 52-5-7.275.1-1345/10, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, 46 S.

Curbach, M.; Just, M.: Grenzzustandsuntersuchungen zur Beurteilung des Zuverlässigkeitsniveaus

- von Stahlbetonbauteilen mit kleinen Trennrissen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben US 2.11 – G 2.11 der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, gefördert durch das Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, 60 S.
- Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): Sonderforschungsbereich 528 – Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung – Abschlussbericht (gekürzte Fassung). TU Dresden, SFB 528, Forschungsbericht, 2012 – open access, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-86425>.
- Curbach, M.; Ritter, R.; Tekkaya, A. E.; Hussain, M.: Entwicklung von formgebenden Werkzeugen aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen für die wirkmedienbasierte Blechumformung. Abschlussbericht zum DFG-Forschungsvorhaben CU 37 / 7-2, Institut für Massivbau der TU Dresden & Institut für Umformtechnik und Leichtbau der TU Dortmund, 2012, 24 S.
- Curbach, M.; Ehlig, D.: Entwicklung einer Prinziplösung für Gebäude aus tragfähigen Textilbetonfertigteilen. Sachbericht des Instituts zu einem ZIM-Projekt, FKZ IMB: KF 2505602K10, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, 11 S.
- Hausding, J.; Engler, T.; Younes, A.; Ortlepp, R.; Brückner, A.; Ehlig, D.: Räumlich geformte, hitzebeständige sowie schalldämmende Leichtbauelemente aus textilbewehrten mineralischen Baustoffen (Multifunktionale Baustoffverbunde). Forschungsbericht zum IGF-Forschungsvorhaben Nr. 329 ZBR, Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik und Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, 136 S.
- Lohf, U.; Fugmann, P.; Curbach, M.; Mechtcherine, V. u. Mitarbeiter: Entwicklung einer flexiblen mechanisierten Technologie und deren Anlagentechnik zur Herstellung textilbewehrter flächenhafter Betonbauteile mit integrierten Befestigungselementen. Schlussbericht zu einem ZIM-Projekt, FKZ IMB: KF 2505603AT0, 2012, 63 S.
- Scheerer, S.; Hampel, T.; Curbach, M.: Überprüfung des Risikos der Spannungsrissskorrosion (SpRK) von Hennigsdorfer Spannstahl für den Produktionszeitraum bis 1993. Abschlussbericht zu einem Forschungsvorhaben mit Förderung des Landesamtes für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Massivbau der TU Dresden, 28.03.2012, 118 S. + Anh.
- Beiträge in Zeitschriften oder Monografien**
- Beckmann, B.; Hummeltenberg, A.; Weber, T.; Curbach, M.: Strain Behaviour of Concrete Slabs under Impact Load. *Structural Engineering International* 22 (2012) 4, p. 562-568 – DOI: 10.2749/101686612X13363929517893
- Beckmann, B.; Hummeltenberg, A.; Weber, T.; Curbach, M.: Concrete slabs under impact load – drop tower experiments. *Studies and Researches* 31 (2012), p. 135-153 – ISBN: 9788896225400
- Beckmann, B.; Hummeltenberg, A.; Weber, T.; Curbach, M.: Untersuchung von Betonverhalten unter hohen Verzerrungsraten. *Messtechnik im Bauwesen, Ernst & Sohn Spezial*, Berlin, 2012, S. 78-81
- Beckmann, B.; Schick Tanz, K.; Reischl, D.; Curbach, M.: DEM simulation of concrete fracture and crack evolution. *Structural Concrete* 13 (2012) 4, p. 213-220 – DOI: 10.1002/suco.201100036
- Ehlig, D.; Schladitz, F.; Frenzel, M.; Curbach, M.: Textilbeton: Ausgeführte Projekte im Überblick. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012) 11, S. 777-785 – DOI: 10.1002/best.201200034
- Hartig, J.; Jesse, F.; Schick Tanz, K.; Häußler-Combe, U.: Influence of experimental setups on the apparent uniaxial tensile load-bearing capacity of Textile Reinforced Concrete specimens. *Materials and Structures* 45 (2012) 3, p. 433-446 – DOI: 10.1617/s11527-011-9775-0
- Häußler-Combe, U.; Kühn, T.: Modeling of Strain Rate Effects for Concrete with Viscoelasticity and Retarded Damage. *International Journal of Impact Engineering* 50 (2012) 12, p. 17-28 – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2012.08.002
- Häußler-Combe, U.; Hartig, J.: Evaluation of Concrete Cracking due to Restrained Thermal Loading and Shrinkage. *ACI Structural Journal* 109 (2012) 1, p. 41-52
- Hummeltenberg, A.; Curbach, M.: Entwurf und Aufbau eines zweiaxialen Split-Hopkinson-Bar. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012) 6, S. 394-400 – DOI: 10.1002/best.201200013
- Lindorf, A.; Curbach, M.: Experimentelle Untersuchungen zur Ermüdung des Verbundes von Stahlbeton unter Querkzug. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012) 5, S. 280-288 – DOI: 10.1002/best.201100089
- Michler, H.: Messtechnische Erfassung der Rissentstehung und Rissbreitenentwicklung mittels 2D-Photogrammetrie. *Messtechnik im Bauwesen, Ernst & Sohn Spezial*, Berlin, 2012, S. 72-75
- Quast, M.; Hummeltenberg, A.; Curbach, M.: Hochleistungsleichtbeton unter Impakt. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012) 1, S. 15-22 – DOI: 10.1002/best.201100076
- Schladitz, F.; Curbach, M.: Torsion tests on textile-reinforced concrete strengthened specimens. *Materials and Structures* 45 (2012) 1-2, p. 31-40 – DOI: 10.1617/s11527-011-9746-5
- Schladitz, F.; Frenzel, M.; Ehlig, D.; Curbach, M.: Bending load capacity of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforced concrete. *Engineering Structures* 40 (2012) 7, p. 317-326 – DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.02.029
- Younes, A.; Seidel, A.; Ehlig, D.; Engler, T.; Cherif, C.: Mechanical Behaviour of Carbon and Glass Filament Yarns under High Temperatures for Composite Applications. *Journal of The Textile Institute* (2012), p. 1-9 – DOI: 10.1080/00405000.2012.717752

Beiträge in Tagungsbänden und Vorträge

- Beckmann, B.; Schicktanz, K.; Curbach, M.: Discrete Element Simulation of Concrete Fracture and Crack Evolution. In: Rossi, P.; Tailhan, J.-L. (Ed.): Conference for Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures SSCS 2012, 29.05.-01.06.2012 in Aix-en-Provence, France, 2012, paper No. 301 (Proceedings on CD)
- Berger, U.; Lorenz, E.; Cherif, Ch.; Zeidler, G.; Plagenborg, B.: Neue Erkenntnisse zur 50K Carbonfaser-Verarbeitung auf der Malitronic® MULTIA-XIAL für textile Betonbewehrungen. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 7, 09/2012, S. 27
- Brückner, A.: Einfluss einer Querkraftverstärkung auf die Tragfähigkeit von Stahlbetonbalken. Vortrag auf dem 19. Brandenburgischen Bauingenieurtag BBIT2012, 12.03.2012 an der BTU Cottbus
- Brückner, A.; Curbach, M.: Leichte Deckenbekleidungen für Schall- und Wärmeschutz – Eine Vision mit Perspektive? BFT International 78 (2012), S. 122-123 [Proceedings der 56. Betontage, 07.-09.02.2012 in Neu-Ulm]
- Brückner, A.; Ortlepp, R.; Ehlig, D.: Multifunktionale Fertigteile aus textilbewehrten mineralischen Baustoffverbunden. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 7, 09/2012, S. 31
- Curbach, M.: Change as an opportunity · Wandel als Chance. BFT International 78 (2012), S. 5 [Proceedings der 56. Betontage, 07.-09.02.2012 in Neu-Ulm]
- Curbach, M.; Beckmann, B.; Quast, M.; Hummeltenberg, A.: Stoßeinwirkungen auf Betonkonstruktionen · experimentelle Untersuchung von Impaktvorgängen. BFT International 78 (2012), S. 10-12 [Proceedings der 56. Betontage, 07.-09.02.2012 in Neu-Ulm]
- Curbach, M.; Häußler-Combe, U.; Kühn, T.; Beckmann, B.: Experimentelle und numerische Untersuchung von Stahlbetonplatten unter Impakt. In: Gebekken, N. et al. (Hrsg.): Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser. Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau 12/4, Universität der Bundeswehr München, 2012, S. 119-125 – ISSN: 1431-5122
- Curbach, M.; Scheerer, S.: Die Verantwortung des Brückenbauingenieurs – Ein Plädoyer für kleine Brücken. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 22. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 12.-13.03.2012 in Dresden, Eigenverlag; Technische Universität Dresden, 2012, S. 13-28 – ISBN 987-3-86780-240-6
- Curbach, M.; Scheerer, S.: Wie die Baustoffe von heute das Bauen von morgen beeinflussen. In: KIT (Hrsg.): Baustoffe und Betonbau · Lehren, Forschen, Prüfen, Anwenden. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller, zusammengestellt von M. Haist und N. Herrmann, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2012, S. 25-36 – ISBN 978-3-86644-795-0
- Curbach, M.; Schmidt, N.: Chronik des Brückenbaus. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 22. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 12.-13.03.2012 in Dresden, Eigenverlag; Technische Universität Dresden, 2012, S. 205-234 – ISBN 987-3-86780-240-6
- Ehlig, D.: Vom Pavillon bis zum Versammlungsraum: Gebäude aus dünnen, frei geformten Fertigteilen. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 7, 09/2012, S. 30
- Frenzel, M.: Numerical simulation of single-span lightweight concrete sandwich slabs. In: Müller, H. S.; Haist, M.; Acosta, F. (Ed.): Proceedings of the 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22-25 July 2012, Karlsruhe, Germany. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2012, p. 309-315 – DOI: <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000028287>
- Hampel, T.; Scheerer, S.: Materialuntersuchungen bei Brückenbauwerken im Hinblick auf Spannungsrissskorrosion. Vortrag, gehalten auf dem Seminar „Brückenbau – Ausgewählte Kapitel der Brückeninstandsetzung“ bei Straßen.NRW am 30.10.2012 in Gelsenkirchen
- Häußler-Combe, U.; Kühn, T.: Failure modeling of concrete with a novel strain rate sensitive viscoelastic retarded damage material formulation. In: Eberhardsteiner, J.; Böhm, H. J.; Rammerstorfer, F. G. (Ed.): CD-ROM-Proceedings of the 6th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2012), 10.-14.09.2012, Vienna, Austria, Publisher: Vienna University of Technology, Austria, 2012, ISBN: 978-3-9502481-9-7
- Just, M.; Curbach, M.: Limit state analysis for evaluating the reliability level of reinforced concrete elements with small separating cracks. In: Cairns, J. W.; Metelli, G.; Plizzari, G. A. (Ed.): Proceedings of the 4th Conference Bond in concrete, 17.-20.6.2012 in Brescia (Italy), Vol. 1, p. 499-504
- Just, M.; Curbach, M.: Betonbau in LAU-Anlagen, Prognostizierung kleiner Rissbreiten und das Eindringverhalten von Flüssigkeiten in kleine Trennrisse. In: Tagungsband des „DIBt-Treffpunkt 2012: Betonbau und Betoninstandsetzung in LAU-Anlagen“ am 27.11.2012 in Berlin, S. 64-87
- Kühn, T.; Häußler-Combe, U.: Strain Rate Sensitive Failure Modelling of Concrete with a novel Visco-Elastic-Retarded-Damage material formulation. In: Proceedings of 10th World Congress on Computational Mechanics (WCCM 2012), 8.7.2012 in Sao Paulo, Brazil : Escola Politéchnica da Universidade de Sao Paulo, 2012, 4 p. (CD)
- Lemnitzer, L.; Just, M.; Curbach, M.: Bond in reinforced concrete under transverse tension. In: Cairns, J. W.; Metelli, G.; Plizzari, G. A. (Ed.): Proceedings of the 4th Conference Bond in concrete, 17.-20.6.2012 in Brescia (Italy), Vol. 2, p. 613-620

- Lindorf, A.; Curbach, M.: Bond fatigue in reinforced concrete under transverse tension. In: Cairns, J. W.; Metelli, G.; Plizzari, G. A. (Ed.): Proceedings of the 4th Conference Bond in concrete, 17.-20.6.2012 in Brescia (Italy), Vol. 2, p. 621-628
- Lorenz, E.: Research on the End Anchorage and Overlapping of Textile Reinforcements in Textile Reinforced Concrete. In: Müller, H. S.; Haist, M.; Acosta, F. (ed.): Proceedings of the 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22.-25.07.2012, Karlsruhe, Germany. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2012, p. 685-690 – DOI: <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000028287>
- Marx, S.; Schacht, G.: Belastungsversuche an gering-duktilen Stahlbetontragwerken. In: Gebekken, N. et al. (Hrsg.): Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser. Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau 12/4, Universität der Bundeswehr München, 2012, S. 43-49 – ISSN: 1431-5122
- Michler, H.; Curbach, M.: A Simpler Model for Shear Lugs. In: Fuchs, W.; Hoffmann, J. (Hrsg.): Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. R. Eligehausen, Befestigungstechnik, Bewehrungstechnik und ... II, S. 187-200, ibidem-Verlag Stuttgart, ISBN 13:978-3-8382-0397-3
- Michler, H.: Shear Lugs – comparison of models. Vortrag, gehalten auf dem 37th Meeting of fib SAG4 „Fastenings to Concrete and Masonary Structures“, Kyoto Terrsa, 14.-15.05.2012
- Schacht, G.; Ritter, R.: Auf den Spuren Telfords – Brückenbauexkursion 2011 nach Schottland. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 22. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 12.-13.03.2012 in Dresden, Eigenverlag; Technische Universität Dresden, 2012, S. 255-267 – ISBN 987-3-86780-240-6
- Scheerer, S.: Leicht Bauen mit Beton – Von der Vision zur Realität. Vortrag auf der VDZ-Jahrestagung, Düsseldorf, 28.09.2012
- Schladitz, F.; Ehlig, D.; Rupp, M.: Abstandshalter für textile Bewehrungen in Beton. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 7, 09/2012, S. 21
- Schladitz, F.; Lorenz, E.; Assmann, U.: Stand der Untersuchungen zur Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Verstärkungssystem Textilbeton. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 7, 09/2012, S. 28
- Schwiteilo, K.: Concrete columns formed by nature. In: Müller, H. S.; Haist, M.; Acosta, F. (ed.): Proceedings of the 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22-25 July 2012, Karlsruhe, Germany. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2012, p. 303-308 – DOI: <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000028287>
- Wellner, S.; Curbach, M.: Dynamische Belastungen großformatiger, textiltbewehrter Plattenbalken. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 7, 09/2012, S. 19

MITARBEITER

Stand: 31.12.2012

Institut für Massivbau

Professur für Massivbau

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

Gastprofessor Dr.-Ing. Frank Jesse
(z. Zt. *BTU Cottbus, Lehrstuhl für Massivbau*)

Prof. Dr. rer. nat. Klaus Thoma
Honorarprofessor, Fachgebiet Kurzzeitdynamik

Geschäftsführende Oberingenieurin

Dr.-Ing. Silke Scheerer

Oberingenieur Projektmanagement

Dipl.-Krist. Wolfgang Leiberg

Organisation Lehre

Dr.-Ing. Kerstin Speck

Sekretariat

Silvia Haubold
Rebecca Schramm

Professur für Spezielle Massivbauwerke

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

Sekretariat

Angela Heller

Wissenschaftliche MitarbeiterInnen Forschungsgruppe 1: Verbund / Leicht Bauen

Dipl.-Ing. Robert Ritter
Dipl.-Ing. Michael Frenzel
Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer
Dipl.-Ing. Viet Anh Nguyen
Dr.-Ing. Regine Ortlepp
Dipl.-Ing. Gregor Schacht
Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm
Dipl.-Ing. Robert Zobel

Forschungsgruppe 2: UHPC / DEM / Impakt

Dr.-Ing. Kerstin Speck
Dipl.-Ing. Birgit Beckmann
Joachim Finzel M.Sc.
Martin Just M.Sc.
Tino Kühn M.Sc.
Dipl.-Ing. Matthias Quast
Dipl.-Math. Dirk Reischl

Forschungsgruppe 3: Textilbeton

Dr.-Ing. Frank Schladitz
Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt
Enrico Lorenz M.Sc.
Dr.-Ing. Harald Michler
Dipl.-Ing. Thomas Popp
Dipl.-Ing. Nico Schmidt
Dr.-Ing. Thoralf Schober
Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze
Dipl.-Ing. Jörg Weselek

Technische Mitarbeiter

Ulrich van Stipriaan M.A.
Martin Weller

Otto-Mohr-Laboratorium

Leiter OML

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Stellvertreter OML

Dipl.-Ing. Kathrin Dietz

Sekretariat

Petra Kahle

Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen

Dr.-Ing. Silke Scheerer
Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

Technische Mitarbeiter

Versuchsplanung und -durchführung
Dipl.-Ing. Kathrin Dietz
Doreen Sonntag
Christian Dittrich (bis 31.10.)
Heiko Günther
Heiko Wachtel
Thomas Wagner
Felix Philipp

Prüfkörperherstellung

Rainer Belger
Jens Hohensee
Mario Polke-Schminke

Applikation Messtechnik

Annett Pöhland
Maik Patricny
Bernd Wehner

Werkstatt

Ludwig Beier (Werkstattleiter)
Tino Jänke
Andreas Thieme

Dank an unsere Förderer

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

DFG



**HELMHOLTZ
GEMEINSCHAFT**



Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

STAATSMINISTERIUM
FÜR WISSENSCHAFT
UND KUNST



Freistaat
SACHSEN



Ideen eine Zukunft geben



Bund/Länder-
Arbeitsgemeinschaft Wasser



»Wissen schafft Brücken.«

