



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

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



**JAHRESBERICHT 2013  
ANNUAL REPORT 2013**





**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

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

# **JAHRESBERICHT 2013**

# **ANNUAL REPORT 2013**

## 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, Manfred Curbach, Michael Frenzel, Torsten Hampel, Martin Just, Wolfgang Leiberg, Matthias Lieboldt, Enrico Lorenz, Harald Michler, Matthias Quast, Dirk Reischl, Robert Ritter, Gregor Schacht, Silke Scheerer, Frank Schladitz, Angela Schmidt, Nico Schmidt, Thoralf Schober, Elisabeth Schütze, Doreen Sonntag, Kerstin Speck, Ulrich van Stipriaan, Sabine Wellner, Jörg Weselek, Sebastian Wilhelm, Robert Zobel

### **Mitarbeit/Korrektur**

Lydia Dietz, Silvia Haubold, Angela Heller, Petra Kahle

### **Gestaltung**

Ulrich van Stipriaan

### **Druck**

addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz

# Inhalt

Eine einmalige Chance...	5
<b>Forschung · Research</b>	<b>6</b>
Textilbeton im Abwasserbereich	8
Carbon und Beton – Betonbau der Zukunft	10
Textilbeton – erweiterte Prüfungen für eine sichere Anwendung	12
Wie sicher ist Textilbeton?	14
Ideale Bedingungen für Behaglichkeit	16
Robuste Platten aus Textilbeton	18
Textilbeton wird gegossen	20
Straßenbrücken unter der Lupe	22
Roboter im Bauwerksmonitoring	24
Textilbeton-Sandwichplatten unter Stoßbelastung	26
Von Beton und Mikrosekunden	28
Viele Teilchen: Dominos und Stahlbeton	30
DEM-Simulation von Betonbruch	32
Bilder, die die Sicherheit erhöhen	34
Optimierung knickgefährdeter Stützen	36
Blechumformung mit Betonwerkzeugen	38
Verbund zwischen Beton und Betonstahl unter Querzug	40
Forschung unter Extrembedingungen	42
Leichte Deckentragwerke	44
Forschung koordinieren – SPP 1542	46
Der Sprung in die Praxis	48
<b>Lehre</b>	<b>51</b>
Lehrveranstaltungen des Instituts für Massivbau	52
Projektarbeiten · <i>Project Works</i>	59
Diplomarbeiten und Masterarbeiten im Jahr 2013	70
Wissenschaft ist mehr...	82
Dänemarks Brücken – Brückenbauexkursion 2013	83
Was in Zukunft wichtig sein könnte	84
Mess- und Versuchstechnik im Focus	85
Forschung zum Anfassen	86
Materialforschungstournee des MFD	87
Fachwerkbrücke im Test	87
Villen und Ruinen	88
Beyer-Preis an Anett Brückner	89
Gottfried-Brendel-Preis an Angela Schmidt	89
SLUB-Lounger aus Textilbeton: Eine Idee für den ganzen Campus?	90
Manos-Schülerinnen bauten und zerstörten Brücken aus Papier	91
Informationen beim Schnupperstudium	91
<b>Otto-Mohr-Laboratorium</b>	<b>93</b>
Arbeitsgebiete und Ausstattung	94
Ein eigener Fassadenprüfstand	100
Nachhaltiges Bauen mit Mauerwerk	101
Probelastung der Schützkapelle	102
Schwingungsmessung im GeoSN	103

<b>Institut .....</b>	<b>105</b>
Das Institut für Massivbau in Zahlen und Fakten .....	106
Promotionen .....	117
Publikationen 2013 .....	120
Mitarbeiter .....	124
Dank an unsere Förderer .....	125



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

## Eine einmalige Chance...

Unter dem Namen Zwanzig20 hatte das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Jahre 2012 Fördermittel ausgeschrieben, bei denen es um eine möglichst erfolgreiche Umsetzung von erfolgreicher Forschung in die Praxis geht. Zehn Konsortien sollten mit je 45 Millionen Euro Fördermitteln ausgewählt werden, wobei das Wissenschaftsgebiet vollständig offen gehalten wurde.

Es fällt dem Leser sicher nicht schwer, sich die Freude vorzustellen, die bei den Antragstellern herrschte, als das Konsortium  $C^3$  – *Carbon Concrete Composite* unter Konsortialführerschaft des Instituts für Massivbau der TU Dresden als eines der zehn bekanntgegeben wurde. Damit besteht nun die wahrscheinlich einmalige Chance, die in der Forschung bisher gesammelten Erfahrungen zum Thema „Textilbeton“ zusammen mit weiterer Forschung zur Verwendung von Carbonfasern als Bewehrung in Beton in die Praxis zu überführen.

Allzu verlockend sind die Aussichten: Schonung der natürlichen Ressourcen, Verringerung des Energiebedarfs und Reduktion des  $CO_2$ -Ausstoßes bei der Herstellung von Beton – und das letztlich weltweit. Dazu kommen die jetzt in ihrer Gesamtheit noch gar nicht abschätzbaren Chancen beim Entwurf neuer Tragwerke mit hohem ästhetischem Anspruch.

Parallel zu Antragstellung, Präsentation und – nach Bewilligung – ersten Schritten zur Schaf-

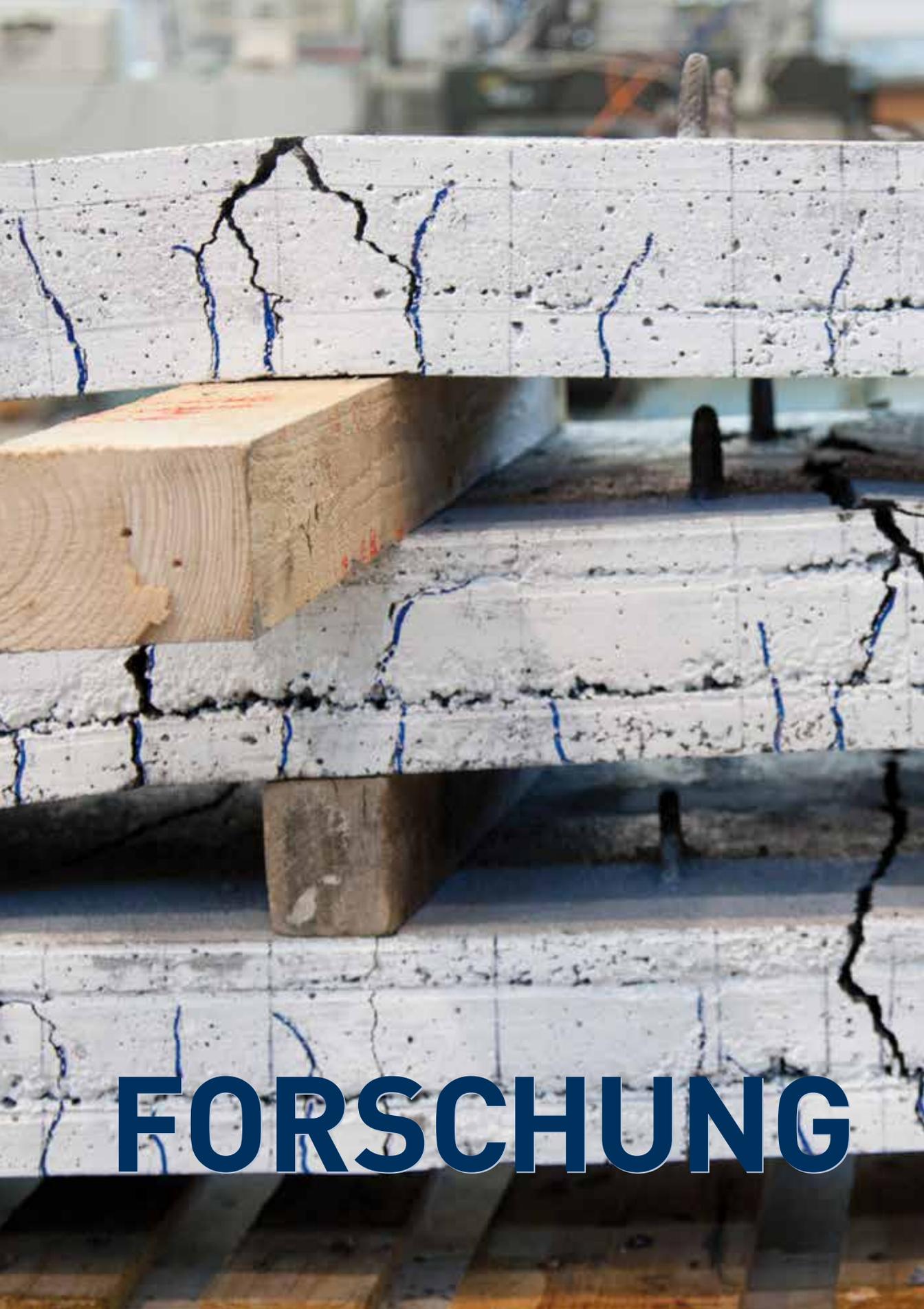
fung einer adäquaten Organisationsform des Zwanzig20-Projekts liefen selbstverständlich die weiteren Arbeiten des Instituts weiter: Forschung und Lehre auf dem Gebiet des Massivbaus.

Die Themenvielfalt ist in beiden Gebieten groß und fordert die Kreativität aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts. Ob nun in der Forschung nach Lösungen auf den unterschiedlichsten Gebieten gesucht wird oder ob zur Vermittlung unseres Wissens an die Studierenden besondere Ideen entstehen, immer basieren die neuen Gedanken auf dem Wissen und den Erfahrungen der Vergangenheit. Dabei sollten wir uns dessen immer bewusst sein, dass wir heute nur deshalb neue Wege beschreiten können, weil Generationen von Wissenschaftlern vor uns ein unglaublich wertvolles Wissen geschaffen haben, für das wir nicht dankbar genug sein können.

Einen ganz besonderen Dank möchten die Unterzeichner allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aussprechen, die mit all ihrem Engagement, ihrer Begeisterung und auch ihrer Beharrlichkeit zum Erfolg des Instituts für Massivbau beigetragen haben.

Allen Lesern wünschen wir eine vergnügliche und vielleicht auch anregende Zeit mit unserem Jahresbericht.

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



**FORSCHUNG**



***RESEARCH***

# Textilbeton im Abwasserbereich

Deutschland verfügt über ein ausgedehntes Kanalnetz mit einer Gesamtlänge von mehr als 541.000 km. Davon sind ca. 55.000 km begehbare Kanäle, welche meist aus Beton bestehen. Zusätzlich sind ca. 13,5 Millionen Schachtbauwerke vorhanden. Allerdings sind viele der baulichen Anlagen schon recht alt und sehr häufig sanierungsbedürftig. Der Investitionsstau bei öffentlichen Abwasserbauwerken wird in Deutschland auf ca. 55 Milliarden Euro geschätzt.

Vor allem die Kanäle, aber auch die Schachtbauwerke, sind ständig starken Belastungen ausgesetzt. Neben dem Erddruck und den Verkehrslasten sind die Bauwerke vor allem durch die chemischen und mechanischen Beanspruchungen belastet, die der Transport des Abwassers mit sich bringt. Durch die im Vergleich zu vielen anderen Bauwerken überdurchschnittlich hohen Belastungen kommt es häufig zu Schäden, wobei Risse, Wurzeleinwuchs und korrosionsbedingte Oberflächenschäden zu den häufigsten Schadensfällen gehören. Diese Schäden führen u. a. dazu, dass Abwässer aus dem Entsorgungssystem in das Erdreich und in das Grundwasser infiltrieren können und somit zu einer Umweltbelastung beitragen. Ebenso kann durch von außen eindringendes Grund- oder Sickerwasser die Menge des zu reinigenden Wassers erheblich

ansteigen, was wiederum mit einer Kostensteigerung verbunden ist.

Die Leistungsfähigkeit derzeit verfügbarer Sanierungssysteme genügt hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften, ihrer Wirtschaftlichkeit, Umweltgerechtigkeit und Langlebigkeit in vielen Fällen nicht mehr den gestiegenen Anforderungen. Deshalb entstand die Idee, die Eignung von Textilbeton, der ursprünglich für die Tragwerksverstärkung und Betonsanierung im Hochbau entwickelt worden ist, zu überprüfen. Die bisherigen Erfahrungen des Instituts für Massivbau mit diesem Verbundwerkstoff lassen vermuten, dass mit ihm Verstärkungen und Sanierungen auch erfolgreich im Kanal-, Wasser- und Tiefbau durchführbar sind. Infolge der speziellen Exposition von Baustoffen in Abwassersystemen im Vergleich zum üblichen Hochbau sind noch zahlreiche Fragen offen. Diese betreffen u. a. das Baumaterial selbst, z. B. im Hinblick auf Verarbeitung, chemische Beständigkeit oder Abrieb, aber auch den Verbund zwischen Verstärkungsschicht und Bestandskonstruktion und die Dauerhaftigkeit der Gesamtkonstruktion nach der Sanierungsmaßnahme. Diese Fragen sollen im derzeit laufenden Projekt wissenschaftlich untersucht und in ein praxisgerechtes Sanierungsverfahren umgesetzt werden.



Belebungsbecken mit lokaler Korrosion (Wasserkante) und vertikaler Rissbildung.

*Aeration basin with localized corrosion (water line) and vertical cracking.*

Source:  
Kanal-Service Dresden GmbH

# TRC in the Field of Sewerage

Germany has an extended sewer system of more than 541,000 km. About 55,000 km of the sewers, which are mostly made of concrete, can be entered. In addition, there are approximately 13.5 million manholes. However, most of the structures are already quite old and frequently in need of repair. The current investment backlog in the national sewerage system has been estimated at approximately 55 billion euro.

In particular the sewer pipes, but also the manholes are constantly exposed to enormous pressure. Apart from the lateral earth pressure and the pressure of traffic, the structures are especially affected by the chemical and mechanical influences going along with the transport of wastewater. Due to this strain, which is extraordinarily high in comparison to other structures, damage occurs quite frequently. It is most often caused by cracks, root invasion and surface damage caused by corrosion. Amongst other things, these damages result in the infiltration of wastewater from the sewer system into the soil thus polluting the groundwater. On the other hand, the amount of permeating groundwater and leachate increases the amount



Wurzeleinwuchs in einem Kanal im Bereich eines Zulaufs.

Growing roots in a sewer in the area of a branch.

Source: Kanal-Service Dresden GmbH

of water that has to be treated. This in turn results in an increase in costs.

Based on the increased demands, the capability of the repair systems currently available is often not sufficient with regard to technological properties, efficiency, sustainability and wear. As a result, the idea to test the applicability of textile reinforced concrete, which was originally developed for the strengthening of load-bearing structures and the repair of concrete in building construction, was devised. So far, the experience with this composite at the Institute of Concrete Structures suggests that strengthening and repair work is equally possible when building sewers, in hydraulic engineering and in civil engineering. Due to the special influences on materials in sewer systems compared to conventional building construction, a number of questions still remain to be answered. These mainly concern the building material in itself e.g. with regard to processing, chemical resistance or abrasion, but also the bond between strengthening layer and the existing structure as well as the durability of the entire structure after the repair work has been carried out. In the current project, these questions shall be scientifically researched and applied in a realistic renovation procedure.

## Titel | Title

Material- und Verfahrensentwicklung für nachhaltige Instandhaltungs-, Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen von Abwasserbauwerken unter Verwendung von textillbewehrten Betonen | *Material and Process Development for the Sustainable Maintenance, Repair and Rehabilitation of Sewer Systems Using Textile Reinforced Concrete*

## Förderer | Funding

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

## Zeitraum | Period

04.2013 – 03.2015

## Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Frank Schladitz

## Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

## Projektpartner | Project Partner

Kanal-Service Dresden GmbH, Dresden

# Carbon und Beton – Betonbau der Zukunft

Der seit Jahrzehnten praktizierte stahlbewehrte Betonbau ist die am häufigsten angewendete Bauweise zur Errichtung tragender Konstruktionen. Trotz der erfolgreichen Verbreitung ist die Bauweise immer noch mit einem hohen Ressourcenverbrauch verbunden. Die Verarbeitung der mineralischen Ausgangsstoffe benötigt bei der Herstellung des Betons und der Stahlbewehrung einen hohen Energieeinsatz und führt zu einem enormen CO<sub>2</sub>-Ausstoß vor allem bei der Zementproduktion. Durch die korrosionsempfindliche Stahlbewehrung und teilweise unzureichende Dauerhaftigkeit des Betons besitzen zudem viele Bauwerke nur eine begrenzte Lebensdauer von 40 bis 80 Jahren. Zusätzlich verursachen steigende Nutzungsanforderungen an Bauwerke zahlreiche Schäden, die weltweit zu kaum noch tragbaren Investitionskosten führen. Die Kosten für die Kommunen und Gemeinden, die jedes Jahr durch die Sanierung stahlbetonbasierter Gebäude entstehen, gehen in die Millionen. Deshalb ist es gesellschaftlich gesehen von höchster Relevanz, in Zukunft neuartige, langlebige Baustoffe einzusetzen.

Die Stahlbetonbauweise besitzt hier noch großes Potenzial, um die Effizienz zu steigern. Durch leistungsfähigere Bewehrungen und Betone lässt sich der Materialeinsatz vermindern und damit

der Ressourcenverbrauch drastisch reduzieren. Ein Meilenstein auf dem Weg zum nachhaltigeren Bauen wird in einem Wechsel zur Materialkombination von Carbon und Beton gesehen. Der rohstoffsparende Verbundwerkstoff vereint hohe Festigkeit mit freier Formbarkeit und Multifunktionalität, so dass Bauen und Instandsetzung wirtschaftlicher, effizienter und ökologischer gestaltet werden können.

Die Umsetzung dieser technologischen Revolution ist das Ziel des Projektkonsortiums „C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite“, welches durch die Bundesinitiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ ermöglicht wurde. Das Konsortium besteht derzeit aus 79 Partnern in den neuen und alten Bundesländern und möchte in den nächsten Jahren die Voraussetzungen schaffen, damit zukünftig 20 Prozent der Stahlbewehrung bei Neubauten durch Carbonbewehrung ersetzt werden können. Zum Fördervolumen von 45 Millionen Euro bis zum Jahr 2020 kommen noch über 20 Millionen Euro Eigenleistungen der beteiligten Firmen hinzu. Neben Ausbau und Neuansiedlung von Unternehmen ergibt sich ein enormes Exportpotenzial bei Halbzeugen, in der Technologie und in der Bildung, was sich positiv auf das Wachstum in diesem Sektor auswirken wird.



Bewehrung aus Stahl und Carbon mit äquivalenter Leistungsfähigkeit.

*Reinforcement made of steel and carbon with equivalent performance.*

*Foto: Frank Schladitz*

# Carbon and Concrete – Concrete Building of the Future

For decades, building with steel reinforced concrete has been the most commonly used method for the construction of load-bearing structures. However, in spite of its wide-spread use, it still depends on a lot of resources. The treatment of mineral base materials, which is necessary preliminary to the production of concrete and the steel reinforcement, requires a lot of energy. This in turn results in high CO<sub>2</sub> emissions, in particular in the process of producing cement. Apart from this, most buildings' life is limited to 40 to 80 years because the steel reinforcement is very susceptible to corrosion and the concrete is only insufficiently durable. In addition, constantly increasing usage requirements on buildings lead to damage. This results in worldwide costs that can hardly be met. The costs which the municipalities have to pay annually for the repair of buildings made of reinforced concrete number in the millions. That is why the application of durable construction materials in the future is of high relevance from a social point of view.

Reinforced concrete constructions still have a lot of potential regarding their efficiency. The required amount of material can be reduced through more



Bauen mit Beton und Carbon ist kinderleicht.  
Building with concrete and carbon is as easy as pie.  
Photo: Sylke Scholz

efficient reinforcements and concretes. In consequence, resource consumption can be drastically decreased. The shift to the material combination carbon and concrete is perceived as mile stone on the road to more sustainable building. This composite material saves resources; it has a high strength, but can be deformed easily and is multi-functional at the same time. As a result, building and repair can be carried out more economical, more efficient and more ecological.

The implementation of this technological revolution is the goal of the project consortium "C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite" which was enabled by the Bundesinitiative "Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation". Currently, the consortium consists of 79 partners in both the 'new' and the 'old' federal states of Germany. In the coming years, the conditions to replace 20 percent of the steel reinforcements in new buildings with carbon reinforcements shall be created. The level of funding of 45 million euro until the year 2020 is increased by more than 20 million euro contribution from the participating firms. Apart from the expansion and the establishment of new businesses, semi finished products, technology and education offer a lot of export potential. This in turn has a positive impact on the economic growth in this field.

## **Titel | Title**

C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

## **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

## **Zeitraum | Period**

09.2013 – 2020

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

## **Projektpartner | Project Partner**

Konsortium aus 79 Firmen, Vereinen und Institutionen

# Textilbeton – erweiterte Prüfungen für eine sichere Anwendung

Textilbeton wird in ständig steigendem Umfang in der Baupraxis eingesetzt. Die Erteilung von Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) oder das Erlangen Allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen (AbZ) wird daher zunehmend an Bedeutung gewinnen.

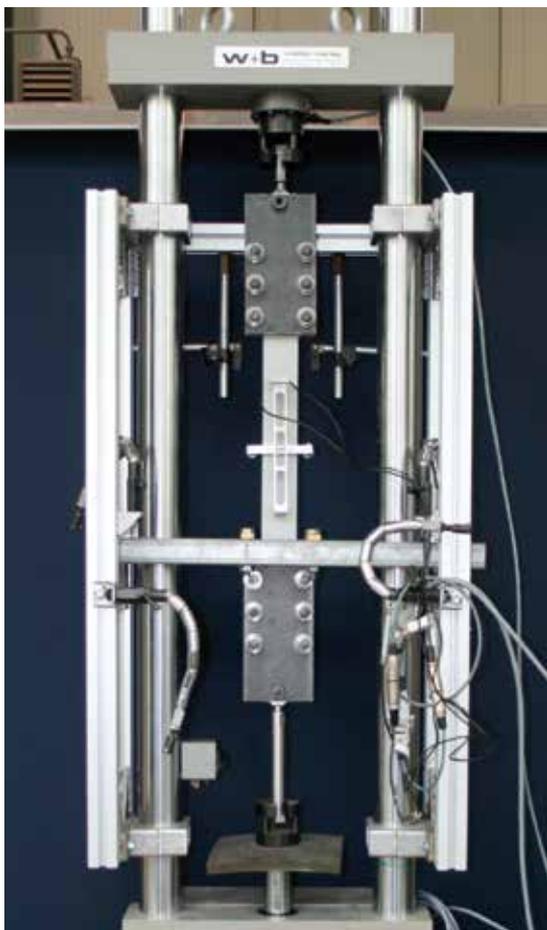
Viele Forschungsarbeiten beschäftigten sich bisher mit dem Verhalten von Textilbeton unter relativ kurzzeitigen Beanspruchungen. Für die baupraktische Anwendung und die dafür benötigten Material- und Festigkeitskennwerte ist jedoch zu berücksichtigen, dass ein Bauwerk oder Bauteil in der Regel dauerhaft und teilweise

auch dynamisch belastet wird und dabei gleichzeitig verschiedenen klimatischen Bedingungen ausgesetzt ist. Deshalb müssen neben Kurzzeitversuchen bei Raumklima dem jeweiligen Bemessungsziel angepasste Prüfungen zum Nachweis und zur Gewährleistung der Beständigkeit des Verbundbaustoffes über die geplante Lebensdauer durchgeführt werden. Maßgebend sind hierbei Temperatur-, Dauerstand- oder auch Dauerschwingbeanspruchungen.

Um Festigkeits- und Verbundkennwerte unter Temperatur- und gegebenenfalls Feuchtebeanspruchung zu erhalten, werden Versuche in Klimaräumen bzw. -schränken oder bei einem gezielten Einsatz von Temperaturstrahlern durchgeführt. Außerdem ist die Überprüfung der Dauerstandfestigkeit unter definierten Dauerlasten und Zeiträumen möglich. Nach der Beaufschlagung der Proben mit Temperatur oder dauerhaften Lasten werden die Resttragfähigkeiten der Proben bestimmt. Diese Festigkeitswerte sind anschließend mit den Referenzwerten der Kurzzeitversuche unter Raumklima vergleichbar.

Zum Nachweis der Dauerschwingfestigkeit von Textilbetonsystemen erfolgen dynamische Untersuchungen, in denen eine nicht vorwiegend ruhende Beanspruchung abgebildet wird. Die definierten Schwingbreiten sind dabei an die spätere Anwendung – etwa die Verstärkung von Brücken – angepasst.

Die im Rahmen der Forschungen des Institutes für Massivbau der TU Dresden entwickelten Untersuchungsmethoden werden bereits heute erfolgreich eingesetzt. Sie waren unter anderem Teil der Versuche zur Erlangung einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für ein Verstärkungsverfahren mit Textilbeton, die voraussichtlich im ersten Quartal des Jahres 2014 erteilt werden wird. Damit tragen sie maßgeblich zur sicheren Anwendung von Textilbeton bei und stellen einen wichtigen Schritt hin zur breiten baupraktischen Anwendungsreife des Materials dar.



Dauerschwingversuch.

*Fatigue test. Photo: Elisabeth Plenz*

# Textile Reinforced Concrete – Extended Tests for Safe Usage

*The use of textile reinforced concrete in construction increases constantly. Consequently, the granting of approvals in each case or general type approvals will gain in importance.*

*So far, the greater part of research has dealt with the behaviour of textile reinforced concrete under loads in relatively short periods. However, for use in construction and the corresponding required material constants and tensile strength values it has to be taken into consideration that a building or component is usually loaded permanently as well as in part with dynamic loads. At the same time it is exposed to different climatic conditions. As a result, short-time tests in an indoor environment have to be carried out as well as tests which are adapted to the respective design goal to guarantee the durability of the composite material for the target service life. In this context temperature load, long-term tests and fatigue tests are relevant.*

*With the aim of retaining the tensile strength and bond values under temperature load and, if applicable, in humidity, tests are carried out in climatic chambers or through the use of thermal radiators. Apart from this, the long-term strength can be tested for a defined permanent load and specific*



Statischer Dauerzugversuch.

*Tensile test under sustained load. Photo: Ulrich van Stipriaan*

*period. After the temperature or the permanent loads have been applied to the samples, the residual strength is determined. Subsequently, these strength values are comparable to the reference values determined in the short-time tests in indoor environment.*

*To prove the fatigue strength of textile reinforced concrete systems, dynamic tests are carried out to depict the predominantly non-static loads. The working stroke is defined based on the future application such as the strengthening of bridges.*

*These examination methods, which have been developed as part of the research at the Institute of Concrete Structures at TU Dresden, are already successfully employed. Amongst others, they were part of the tests carried out to achieve general type approval for a strengthening method with textile reinforced concrete. Approval will probably be granted in the first quarter of 2014. In this way, they contribute to a significant degree to the safe use of textile-reinforced concrete and are an important step for usage of the material in construction on a broad scale.*

## **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 – 03.2014

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

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

# Wie sicher ist Textilbeton?

Nachdem in den vergangenen rund 15 Jahren u. a. am Institut für Massivbau der TU Dresden der Textilbeton als neuer Baustoff entwickelt wurde, soll dieser natürlich auch im Bauwesen eingesetzt werden. Voraussetzung dafür ist eine bauaufsichtliche Zulassung, welche das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt vergibt, wenn nachgewiesen ist, dass das zuzulassende Produkt allen Sicherheitsanforderungen entspricht.

Um dies nachzuweisen, wurden im Rahmen eines Zulassungsverfahrens mehrere hundert Ver-

suche verschiedenster Art durchgeführt, um den Textilbeton quasi auf Herz und Nieren zu prüfen. Der Abschluss dieser Versuche steht unmittelbar bevor und somit musste auch ein Zuverlässigkeitskonzept für Textilbeton entwickelt werden.

Vorbild war das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte, das sich schon bei Stahlbeton bewährt hat. Da Stahlbeton etabliert und ausreichend sicher ist, wurde dieser als Referenz herangezogen.

Zuerst wurde ein Referenzbauteil für beide Verbundmaterialien bemessen und anschließend die jeweilige Versagenswahrscheinlichkeit berechnet. Dazu wurde im ersten Schritt ein Sicherheitsbeiwert für Textilbeton abgeschätzt und die Bemessung so geführt, wie man es bei einem Stahlbetonbauteil tun würde, um die erforderliche Bewehrung zu ermitteln. Anschließend wurde die Berechnung noch einmal probabilistisch, das heißt auf Basis der Stochastik, durchgeführt. Grundlage war die statistische Auswertung aller vorangegangenen Versuche. Damit konnten die Streuungen des Baustoffes und mit Hilfe von Literatur auch die der zu erwartenden Einwirkungen exakt berücksichtigt werden. Mit dem probabilistischen Nachweis wurde für das fiktive Bauteil mit den zuerst ermittelten Bewehrungsmengen jeweils für Stahl- und Textilbeton die Versagenswahrscheinlichkeit berechnet, welche sich dann aus der Überschneidungsmenge von Einwirkungen auf den Baustoff und dessen Tragfähigkeit ergibt. Anschließend wurden die Versagenswahrscheinlichkeiten beider Bauteile verglichen und dann der Berechnungsgang mit angepasstem Sicherheitsbeiwert so lange wiederholt, bis die Versagenswahrscheinlichkeit des Textilbetons kleiner als die des Stahlbetons war.

Die eingangs gestellte Frage „Wie sicher ist Textilbeton?“ lässt sich also beantworten mit: „Genauso sicher wie Stahlbeton!“



Einfacher Zugversuch im Rahmen der Zulassung.  
*Simple tensile test in the context of the approval.*

*Photo: Enrico Lorenz*

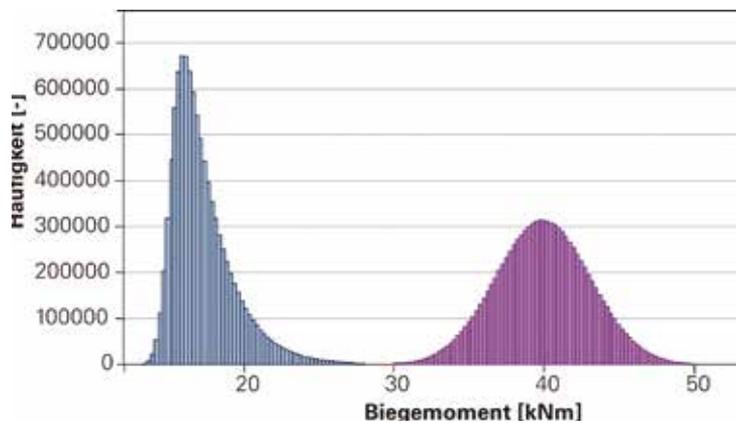
# How Safe is Textile Reinforced Concrete?

Since textile reinforced concrete – also known as TRC – has been developed inter alia at the Institute of Concrete Structures of the TU Dresden as a new building material in the past 15 years, it should also be used in construction of course. This requires a building authority approval, which is awarded by the German Institute for Building Technology DIBt if it can be guaranteed that the product meets all safety requirements.

To prove this, several hundred tests of various setups and kinds were carried out under an authorization procedure to check the TRC. The completion of these experiments is imminent and therefore a reliability concept for textile-reinforced concrete had to be developed.

The process was modelled on the concept of partial safety factors, which has already proven itself in reinforced concrete. Since reinforced concrete is established and sufficiently secure, it was used as reference.

First a reference component was dimensioned for both composite materials and then each prob-



Vergleich zwischen Einwirkung auf das Bauteil (blau) und Widerstand des Bauteils (violett).

Comparison between load-influence on (blue) and resistance of the component (purple).

Chart: Martin Just

ability of failure was calculated. Toward this aim, a safety factor for textile reinforced concrete was estimated in the first step. Subsequently, the design was carried out in the same way as would be done to determine the required reinforcement for a reinforced concrete component. Then the calculation was repeated with a probabilistic method, which is based on stochastic. This means that all previous tests were statistically analysed. Thus, the mean variation of the building material and with the help of literature also the expected loads can be taken into account exactly. With the probabilistic proof the failure probability was calculated for the fictional component based on the reinforcement quantities initially determined for steel and textile concrete each. The failure probability then results from the intersection of the loads' influences on the building material and its bearing capacity. Then the failure probability of both components was compared, and the calculation process was repeated with the modified safety factor until the probability of failure of the textile concrete was smaller than that of the reinforced concrete.

So the initial question „How safe and reliable is textile reinforced concrete?“ can be answered with: „As safe as reinforced concrete!“

## **Titel | Title**

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung eines Verfahrens zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT® (Textilbeton), Teilprojekt „Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept“ | General Building Inspection Approval of a Procedure for the Strengthening of Reinforced Concrete with TUDALIT® Textile Reinforced Concrete, Subproject “Semi Probabilistic Design Concept”

## **Förderer | Funding**

TUDAG / TUDALIT e.V.

## **Zeitraum | Period**

01.2010 – 03.2014

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Martin Just M.Sc.

# Ideale Bedingungen für Behaglichkeit

Gebäude der Zukunft sollen sich durch Energie- und Rohstoffeffizienz auszeichnen. Realisiert werden kann das durch den Einsatz von textilbewehrten Betonen im Bauwesen. Insbesondere der Hochleistungswerkstoff Carbon bietet sich hier als Bewehrungsmaterial an. Durch seine elektrische Leitfähigkeit und die damit verbundene Fähigkeit, durch den elektrischen Widerstand Wärme zu erzeugen, gestattet er sogar eine Nutzung als Wärmequelle zusätzlich zum Einsatz für den Lastabtrag. Die Wärme breitet sich über den gesamten Betonquerschnitt aus und die Betonoberfläche wirkt als Strahlungsheizung.

Überprüft wurde die Umsetzbarkeit dieses Konzepts in die Praxis bereits an kleinformatischen Probekörpern, die mit einem speziell verschalteten Hybridgelege aus AR-Glas- und Carbongarnen bewehrt waren. Dabei konnten die Einflüsse der Betonfeuchte und Betondeckung sowie der Höhe der angelegten Spannung auf die Temperaturentwicklung untersucht werden. Als entscheidender Faktor erwies sich hier erwartungsgemäß die durch die Variation der elektrischen Spannung eingebrachte Leistung. Mit steigender Leistung ist ein überproportionaler Temperaturanstieg zu verzeichnen. Die Betonfeuchte zeigt hingegen

einen eher negativen Einfluss. So ist insbesondere bei wassergesättigten Proben ein deutlich langsames Aufheizverhalten zu beobachten: ein Nachteil, der für das zukünftige Bauteil aber nicht relevant sein dürfte. Die Betondeckung spielt lediglich eine untergeordnete Rolle.

Die Ergebnisse wurden erfolgreich mit der Simulation eines entsprechenden Strahlungsheizungsmodells verglichen. Die für diesen Zweck speziell weiterentwickelte Software für die Simulation soll zukünftig zur Ermittlung der erforderlichen Heizleistung für ein behagliches Raumklima genutzt werden. Individuell zuschaltbare Heizzonen sollen zudem eine individuelle und bedarfsgerechte Bereitstellung der Heizenergie ermöglichen.

Bei einem Vergleich der erreichbaren Heizleistung mit einer Luft-Luft-Wärmepumpe konnte festgestellt werden, dass die Strahlungsheizung für einen Heizwärmebedarf von 15 bis 50 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr ökologisch und wirtschaftlich im Vorteil ist. In diesem Bereich werden sehr viele zukünftige Neubauvorhaben liegen. In Kombination mit den Versuchen zeigen die Simulationen damit das Potenzial der Anwendung von Strahlungsheizungen aus Textilbeton auf.



Aufnahme der Temperaturentwicklung mit der Wärmebildkamera.

*Taking a picture of the temperature development with an infrared camera.*

*Photo: Kristina Jurotschkin*

# Ideal Conditions for Comfort

*Buildings of the future are to be characterised by energy and resource efficiency. This can be achieved by applying textile reinforced concrete in construction. Here, the obvious choice for reinforcement is the high-performance material carbon. The ability of carbon to generate heat, caused by its electric conductivity and resistance, allows the use as heat source in addition to the use for load transmission. The heat spreads across the element and the concrete surface acts as a radiant heater.*

*The practicability of this concept was tested on small format specimens, which were reinforced with a specifically interconnected hybrid textile of yarns made of alkali resistant glass and carbon. In this context, the influence of concrete moisture and concrete cover as well as the level of applied voltage on the temperature development were studied. As expected, the power generated by the varying electric tension proved to be the decisive factor. A rise in power results in a disproportionate rise in temperature. The concrete moisture, on the other hand, has a rather negative impact. In particular water saturated samples*

*heated up considerably slower. However, this is a disadvantage which should be irrelevant for the future structural component. The concrete cover plays only a minor role.*

*The results were successfully compared with the simulation of an appropriate radiant heating model. The software which has been developed further specifically for this simulation shall be used to determine the required heat output for indoor environmental comfort in the future. Furthermore, heating zones which can be individually controlled will make the individual provision of heating energy based on the demand possible.*

*A comparison of the heat output that can be reached with a radiant heater and with an air source heat pump showed that the latter is advantageous both ecologically and economically for heating requirements of 15 to 50 kWh per square meter per year. Many new construction projects will be in this range. Thus the experiments in combination with the simulation show the potential of radiant heaters made of textile reinforced concrete.*

## 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

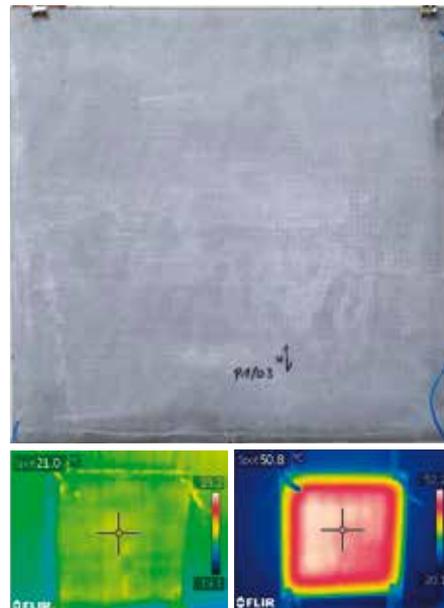
Dr.-Ing. Frank Schladitz

## 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. Oberpfalz | Architekturinstitut der HTWK Leipzig (AiL), FG energiedesign



Wärmeentwicklung an der Betonoberfläche eines Probeelements.

*Temperature development on the concrete surface of a sample element. Photo: Jennifer Krause*

# Robuste Platten aus Textilbeton

Textile Bewehrungen sind nicht nur für das Verstärken vorhandener Betonstrukturen geeignet, sondern auch als Bewehrung für robuste und extrem dünne Neubauteile.

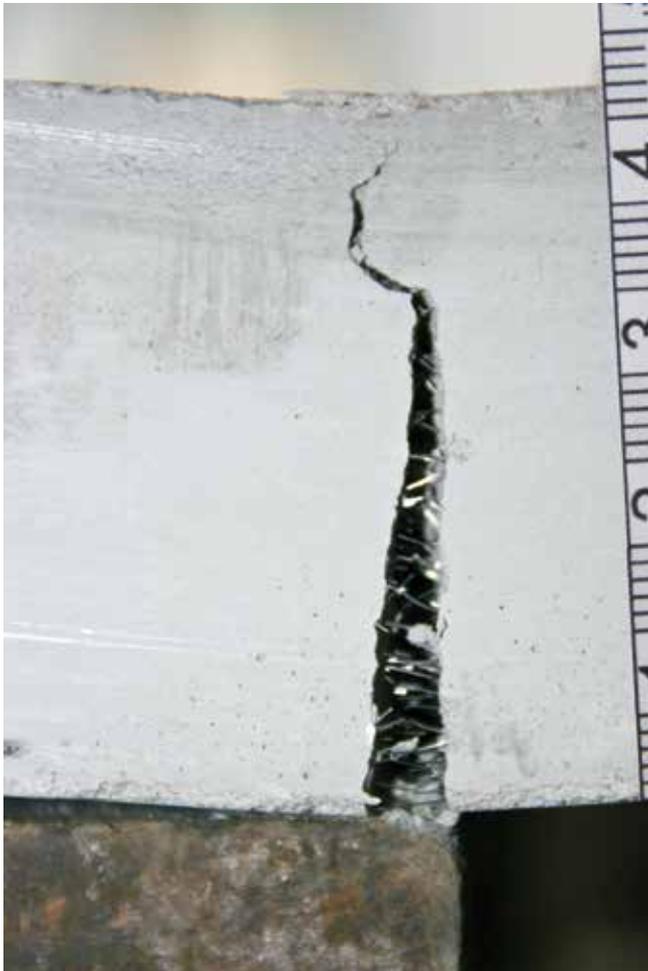
Bei Fassaden besteht durchaus ein Bedarf nach Platten mit einer Stärke von ca. 30 mm. Klassischer Bewehrungsstahl kann dort nicht eingesetzt werden, da schon die normativ vorgeschriebenen Betondeckungen nicht eingehalten werden könnten. Damit werden bisher solche dünnen Platten im Allgemeinen als unbewehrte Bauteile ausgeführt, allerdings mit eher geringen Abmessungen, und die Betonzugfestigkeit ist maßge-

bend für den Bauteilwiderstand. Diese wird dann meist entsprechend hoch gewählt. Eine Zugabe von kurzen Fasern kann die Qualität der dünnen Platten deutlich verbessern, wobei die möglichen Faservolumenanteile herstellungstechnisch begrenzt sind. Im Rissquerschnitt sind deshalb im Allgemeinen immer noch nicht genug Fasern vorhanden, um eine befriedigende Duktilität zu erreichen.

Durch den Einsatz einer leistungsfähigen Textilbewehrung, wie beispielsweise von Gelegen aus Carbonfäden, kann die Robustheit auch für sehr dünne Platten deutlich verbessert werden.

In verschiedenen Projekten wurden dünne Platten entwickelt, die mit einer textilen Bewehrung versehen sind. Diese Platten sind in der Lage, analog zum klassischen Stahlbeton auch nach der Rissbildung eine moderate Lastzunahme ertragen zu können, bevor die Traglast erreicht wird. Ein angenehmer Nebeneffekt ist, dass sich anstelle der typischen Einzelrisse bei unbewehrten oder lediglich mit Kurzfasern bewehrten Platten ein relativ fein verteiltes Rissbild einstellt. Dadurch, und weil die verwendeten Feinbetone relativ dicht sind, ist die textile Bewehrung auch hervorragend vor Umwelteinflüssen geschützt. Es sind also sogar Bauelemente möglich, bei denen je nach Anwendungsfall auch eine Dichtigkeit des gerissenen Bauteils gewährleistet werden kann.

Projektspezifisch werden Lösungen gefunden, die textile Bewehrung definiert in die Platten einzubauen und diese so optimal ausnutzen zu können. Die Gelege werden außerdem mit unterschiedlichen hochfesten (Fein-)Betonen mit relativ hoher Betonzugfestigkeit kombiniert, die auch andere Zuschläge, beispielsweise Edelsplitt, enthalten können, um spezifischen Anforderungen zu genügen. Auch eine Kurzfaserbewehrung kann der Matrix zugegeben werden. Mit textilen Bewehrungen lassen sich so relativ dünne robuste Platten kostengünstig herstellen.



Einzelriss mit Kurzfasern.

*Single crack with short fibres . Photo: Harald Michler*

# Robust Plates Made of Textile Concrete

Textile reinforcements – grids – are successfully used for the strengthening of existing concrete structures. Apart from this, they can also be used to produce new and extremely thin concrete components which are also robust.

In the field of façade technology there is the need for construction components with a low thickness of approximately 30 mm. A classic steel reinforcement cannot be used in such components because the normatively specified concrete covers could not be met. Until now, such thin plates are generally designed as components without reinforcement. This results in plates with relatively small dimensions, where the concrete tensile strength limits the component resistance. The addition of short fibres can improve the quality of the thin plates considerably, but the possible maximum fibre volume is limited to production technics. Accordingly, there are generally not enough fibres present at a possible crack to reach a satisfactory ductility.

By using a high-performance textile reinforcement, such as a grid made of yarns of carbon, the robustness can also be considerably improved for very thin plates. The carbon yarns are a proper reinforcement for concrete. In various projects, thin plates with textile reinforcement were developed for several industrial partners. Similar to classic steel

## **Titel | Title**

Dünne und robuste Textilbetonplatten | *Textile Concrete Slabs – Thin and Robust*

## **Auftraggeber | Clients**

Verschiedene Industriepartner | *various partners*

## **Zeitraum | Period**

fortlaufend | *ongoing*

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Harald Michler

reinforced concrete, these plates are able to carry a moderate load increase after first crack formation. So, wide single cracks, which occur in unreinforced concrete plates or when using concrete with short fibres, are distributed to many small cracks over a wide area. Because of these small cracks and the relative impermeability of the concrete, the textile reinforcement is very well protected.

Project-specific solutions are found to put in the textile reinforcement into the plates and to make optimal use of them. It is possible to use different components in the concrete, such as special gravel or extra fibres in the matrix, to achieve special characteristics. Textile reinforcements based on grids allow the economical production of relatively thin and robust plates.



Gut verteiltes Rissbild im Biegeversuch.

*Well distributed crack pattern in the bending test. Photo: Harald Michler*

# Textilbeton wird gegossen

Für die Herstellung von Bauelementen aus textilbewehrtem Beton (TRC) kamen bisher das Laminier- und das Sprühverfahren zur Anwendung. Das aus dem Stahlbetonbau bekannte Gießverfahren hatte nur am Rande Bedeutung, da geeignete Abstandhalter fehlten, die das Textil während des Betonierprozesses sicher in der Schalung fixieren. Abstandhalter aus dem Stahlbetonbau konnten bei TRC wegen der verschiedenen Dimensionen bezüglich der Bewehrungsquerschnitte oder der Bauteildicke nicht angewendet werden.

Deshalb entwickelten wir schon 2012 das Abstandhaltersystem DistTEX für Textilbeton. Mit diesem ist es möglich, 2D- und 3D-Textilien sicher in einer Schalung zu fixieren: Das größte Hindernis für die Anwendung des Gießverfahrens ist also nun beseitigt. Die prinzipielle Funktionalität des Systems wurde zunächst an Prototypen nachgewiesen. Nun ist es auch gelungen, die Einzelteile des Abstandhaltersystems seriell im Spritzgussverfahren herzustellen. Jedoch fehlten Erfahrungen hinsichtlich der Handhabung der Abstandhalter bei der Herstellung von Textilbetonelementen und bezüglich der Beeinflussung der hergestellten Bauteile durch DistTEX. 2013 führten wir umfangreiche

Untersuchungen durch, um zu zeigen, dass eine Herstellung im vertikalen und im horizontalen Gießverfahren möglich ist.

Nach der Vorbereitung der Textilien wurden die Abstandhalter in drei einfachen Schritten montiert: Aufstecken der Stifte an die erste Textillage – Aufstecken der Distanzkörbe – und Aufstecken der zweiten Textillage. Anschließend erfolgte die Betonage. Nach dem Ausschalen war den Platten die Verwendung von Abstandhaltern äußerlich nicht anzusehen. Durch Zersägen der Bauteile konnte bewiesen werden, dass bereits mit wenigen Abstandhaltern die geplante Lage der textilen Bewehrungen sichergestellt werden kann. In den folgenden Zug- und Biegeprüfungen wurde keine Reduzierung der Tragfähigkeit festgestellt. Mehrere äußere Temperaturwechsel zwischen 20 °C und 80 °C überstanden die Platten mühelos, ohne dass die Abstandhalter sich abzeichneten. Auch die Dichtheit der Platten wurde durch die Abstandhalter nicht beeinträchtigt. Bei einer weiteren Betonage wurde zudem gezeigt, dass nun auch die Produktion von Textilbetonplatten in platzsparenden Batterieschalungen möglich ist. Somit steht der effektiven Herstellung von Textilbetonbauteilen im Gießprozess, dank DistTEX, nichts mehr im Wege.



Das Abstandhaltersystem DistTEX besteht aus Abstandhalterstiften und Distanzkörben, die einfach zusammengesteckt werden.

*Spacersystem DistTEX consists of spacer-bolts and distance-cages, which are simply stuck together. Photo: Frank Schladitz*

# Textile Reinforced Concrete is Cast

So far, components from textile reinforced concrete (TRC) were either laminated or shot. The process of casting, known from reinforced concrete construction, was of insignificant importance due to a lack of suitable spacers with the function to keep the textile in place within the formwork during the concreting process. Spacers from reinforced concrete constructions could not be used for TRC because of the different dimensions regarding the reinforcement's cross section or the component's geometry.

Consequently, we already developed the spacer system DistTEX for textile reinforced concrete in 2012. With its help, it is possible to fix 2D or 3D fabrics safely in the formwork. Thus, the greatest obstacle to manufacture by casting has been eliminated. The general functionality of the system was initially successfully tested on prototypes. Now, the components of the spacer system have also been successfully manufactured using an injection molding process. However, we did not have any experience in terms of handling the spacer system DistTEX in the production of TRC elements and the influence of DistTEX on the produced components. In 2013, we carried out tests on a large scale to show that the casting process is possible in vertical and horizontal direction.

After the textiles had been prepared, the spacers were mounted in three simple steps: applying the bolts to the first textile layer – applying the distance cages – and applying the second textile



Zur Betonage vorbereitete Schalung mit Carbontextilien und Abstandhaltern.

*Prepared formwork with carbon textile and spacers. Photo: Tobias Walther*

layer. Subsequently, the concrete was added. After the slabs had been stripped, the applied spacers could not be perceived from the outside anymore. Sawing up the components proved that even a small number of spacers can guarantee the intended position of the textile reinforcement. The following tensile and bending tests did not indicate any reduction in the load-carrying capacity. Even when the slabs were exposed to temperature changes between 20 °C and 80 °C, there was no danger of the spacers standing out. Apart from this, the watertightness of the slabs was not affected by the spacer. A second concreting process furthermore showed that the production of the textile reinforced concrete slabs in space saving battery formwork is now possible. Accordingly, thanks to DistTEX, there are no longer any obstacles against the effective production of textile reinforced concrete components by casting.

## **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

## **Zeitraum | Period**

10.2012 – 03.2014

## **Leiter | Project Manager**

Dr.-Ing. Frank Schladitz

## **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Tobias Walther

## **Partner | Project Partner**

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

# Straßenbrücken unter der Lupe

Werden Bemessungsansätze für Brückenneubauten auf bestehende Konstruktionen angewendet, ergeben sich zweifellos Problemstellungen, die eine tiefgehende Untersuchung erforderlich machen. Dazu sind Sonderregelungen notwendig, die in Form einer neuen Richtlinie zur Nachrechnung bestehender Brücken durch den Bund bereitgestellt wurden. Im vorliegenden Projekt untersuchen wir den Bestand von Straßenbrücken in Mecklenburg-Vorpommern unter Anwendung dieser neuen sog. Nachrechnungsrichtlinie.

Die bei dem Projekt bisher gemachten Erfahrungen bestätigen die Wichtigkeit einer lückenlosen Bauwerksdokumentation als einen wesentlichen Baustein zur Beurteilung bestehender Infrastrukturbauwerke, die über eine reine Nachrechnung hinausgehen. Neben Standsicherheit und Dauerhaftigkeit steht dabei für die Verkehrsteilnehmer vor allem die Verkehrssicherheit im Mittelpunkt. Die gestiegenen Anforderungen spiegeln sich im erhöhten Bemessungsniveau wider, das rechnerisch für die Mehrzahl der bisher untersuchten Bauwerke nicht immer ohne weiteres verträglich ist. Hier arbeiten wir an Lösungskonzepten mit.

Für die Beurteilung bestehender Tragstrukturen sind neben statischen Untersuchungen auch Überprüfungen der Bauwerkssubstanz notwen-

dig. Dabei spielen Aspekte der Systemmodellierung eine mindestens ebenso große Rolle wie die Berücksichtigung der Ergebnisse aus Baustoffuntersuchungen in den Berechnungen. Detailnachweise geben Auskunft über rechnerische Defizite und Reserven. Der Abgleich mit dem tatsächlichen Bauwerkszustand erlaubt die realistische Bewertung der rechnerischen Überschreitungen und ermöglicht damit für die Baulastträger, den vorhandenen Spielraum für eine weitere Nutzung besser abschätzen zu können. Bei manchen Brücken wurden zudem die rechnerischen Verkehrsbeanspruchungen aus Voruntersuchungen abgeleitet, die als ein wesentlicher Parameter in die statischen Nachrechnungen einfließen.

In Einzelfällen nahmen wir bei besonders kritischen Bauwerken an Brückenprüfungen teil, um objektbezogen besonders kritische Stellen genauer analysieren zu können. Dabei war es wiederholt notwendig, alternative Bemessungsansätze auf der Basis wissenschaftlicher Methoden anzuwenden und deren Ergebnisse auf Grundlage der deutschen Normung zu bewerten. Zudem bedingten die für die betrachtete Region typischen speziellen Konstruktionsformen Anpassungen der normativen Einzelnachweise im Detail. Grenzwertbetrachtungen helfen bei der Eingrenzung des Berechnungsaufwandes.



Verkehrliche Kompensationsmaßnahme an einem bestehenden Brückenbauwerk.

*Traffic compensation measure for an existing bridge.*

*Photo: Haurenherm, SBA Schwerin*

# Road Bridges Through a Lens

*The application of design rules for new bridges to existing ones undoubtedly causes problems that will require deeper investigations. Therefore, special regulations for the recalculation of existing bridges, which have recently been introduced by the Federal Government are necessary. In this project we investigate the stock of road bridges in Mecklenburg-West Pomerania based on the so called "Nachrechnungsrichtlinie".*

*Experiences with this project so far confirm the importance of a complete documentation of structures as a key element for the assessment of existing bridges beyond pure recalculation. Besides structural safety and durability the road safety also lies in the focus of the motorists. The higher demands are reflected by the increased design level which cannot be simply transferred to the majority of the existing bridge structures investigated so far. Therefore we contribute to attempts to develop solutions.*

*Apart from a structural recalculation, an examination of the basic structure of a bridge is necessary to assess an existing structure. In this context, aspects of system modelling are at least of equal importance to the consideration of material testing results. Detail design checks provide information about structural deficits and reserves. Comparing analysis results with the actual condition of the existing bridge structure allows a realistic evaluation of calculative deficits and thus enables the authority to better evaluate the scope for their further use. For certain bridges the calculative live*

## **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 – 12.2013

## **Leiter | Project Manager**

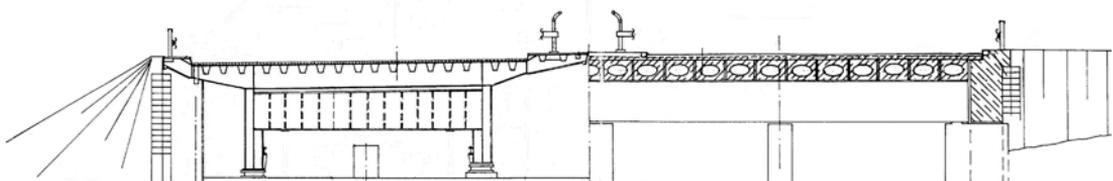
Dr.-Ing. Torsten Hampel

## **Bearbeiter | Contributors**

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

*loads were obtained from preliminary investigations as an essential input parameter for the structural recalculations.*

*In single cases we participated directly in the bridge examinations of critical structures to analyse their most crucial parts individually. It was repeatedly necessary to apply alternative design approaches based on scientific methods and to evaluate the results on the basis of the German code. Types of construction which may be typical for a particular region require the adaptation of standardized structural design checks for their application in the particular case. The effort for recalculation is reduced by the help of limit value considerations.*



Querschnitt eines betrachteten Brückenüberbaus (links: Hauptbrücke, rechts: Vorlandbrücken).

*Cross section of one of the determined bridge superstructures (left: main bridge, right: approach bridge).*

Source: SIB-Bauwerksdatenbank Mecklenburg-Vorpommern 2012

# Roboter im Bauwerksmonitoring

Zunehmend werden Roboter, ausgestattet mit Sensoren und Kameras, im Bauingenieurwesen zum Bauwerksmonitoring eingesetzt, um kostengünstig Daten zur Planung von Sanierungs- oder Umnutzungsmaßnahmen zu gewinnen. Mittlerweile sind selbst komplette Scans von schwer erreichbaren Bauwerksoberflächen möglich. Vor diesem Hintergrund wurde im vergangenen Jahr ein von der AiF gefördertes Vorhaben begonnen, in dem der bereits als „proof of concept“ geschaffene Roboter CLIBOT, der sich an Seilen, Drähten oder Litzen kletternd zu seinem Einsatz-



Prüfstand bei FAD.

*Test stand at FAD. Photo: Thoralf Schober*

ort bewegt, weiter zu einem für die industrielle Produktion geeigneten Demonstrator entwickelt werden soll.

Grundlegend ist für den Kletterroboter ein Greifer zu entwickeln, der das Klettermedium sicher fasst, die Position des Gerätes ohne abzurutschen hält, dabei wenig Energie verbraucht und beim Öffnen der Klauen aus Sicherheitsgründen das Seil nicht verlässt. Vom Projektpartner FAD wurden ein Testmuster eines solchen Greifers sowie ein Prüfstand zur Ermittlung der notwendigen Greifkraft gebaut. An unserem Institut wurden die für Greiferdesign und -produktion notwendigen Parameter ermittelt. Weiterhin mussten geeignete Befestigungen für die Klettermedien entwickelt werden, um beispielsweise in Gewölben oder an Pfeilern entlang, die Unterseiten von Brücken erklettern zu können.

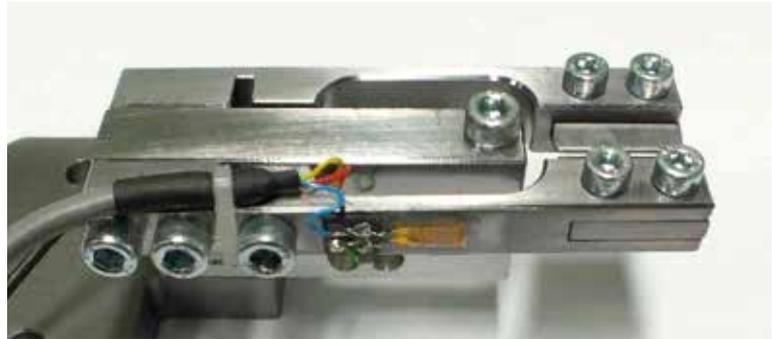
Das Kinematikkonzept des Roboters wurde unter Einbeziehung der neuen Greifer aufgestellt und befindet sich derzeit in der Fertigung. Der Roboter wird nun robuster und wetterunabhängiger sein und zuverlässiger auch schwerer zugängliche Einsatzorte erreichen können.

Die heute verfügbare, leistungsfähige Handytechnik wird für die Robotersteuerung genutzt werden. Ausgezeichnete Haptik, hohe Performance und geringe Abmessungen prädestinieren diese Geräte für die Robotik. Die Steuerung wurde daher auf der Basis eines Handys als Steuercomputer im Roboter realisiert. Ein 7-Zoll-Tablet dient als Fernsteuerung und optional ein Notebook als Steuercomputer. Das Roboterhandy steuert die Bewegungsabläufe des Roboters mit seinen Greifern und sendet von seiner integrierten Kamera über WLAN ein Livebild. Das Handy ermöglicht weiterhin eine umfangreiche Konfigurierung der Robotersoft- und Hardware sowie der drahtlosen Verbindungen. Vom Tablet aus werden über Bluetooth das Steuerhandy und damit der Roboter vom Boden aus ferngesteuert. Das Livebild zeigt die vom Roboter überfahrene Oberfläche und erleichtert das präzise Anfahren der Messstellen auch unter Baustellenbedingungen.

# Robots for Building Monitoring

Equipped with sensors and cameras, robots are increasingly used to gather data for building reconstruction or reusing purposes. In the meantime, even complete scans of hardly accessible surfaces are possible. Against this background, we participate in a project that has been supported by the AiF since last year. It is the aim to enhance the robot CLIBOT, which has already been created as a „proof of concept“ and which can climb on ropes, wires or strands to its site of operation. Eventually, a demonstrator that is suitable for industrial production shall be developed.

Basically, a gripper for a climbing robot that grasps the climbing media very firmly, maintains its position without gliding and high energy consumption and avoids leaving the rope for safety reasons has to be developed. Our project partner FAD realized a prototype of such a gripper and a test stand for the determination of necessary gripping forces. Our institute determined the parameters necessary for the gripper design and production. Apart from this, we have developed suitable methods to fix ropes at surfaces so that the robot can easily climb pillars, arched roofs or underneath bridges.



Testgreifer.

Test gripper. Photo: Thoralf Schober

The kinematic concept of this robot was designed under consideration of this newly developed gripper and is now produced. The new robot will be more robust, independent of weather conditions and able to reach hard accessible places with higher reliability.

The robot will be controlled with a mobile phone. Excellent haptic, high performance and tiny dimensions predestine these devices for robotics. A 7-inch tablet and optionally a notebook serve as remote control. A smart phone, integrated into the robot, controls its movement and the grippers and transmits a live image of the integrated camera via WLAN. This phone enables the versatile configuration of the software, hardware and wireless communication. The robot mobile phone - and thus the robot - is remotely controlled by a tablet via Bluetooth from the ground. The live image shows the surface passed by the robot and facilitates its precise movement to monitored places even under construction site conditions.

## **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. Torsten Hampel

## **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Thoralf Schober

## **Partner | Project Partner**

Fertigungs- und Automatisierungstechnik GmbH Dresden (FAD)

# Textilbeton-Sandwichplatten unter Stoßbelastung

Sandwichkonstruktionen, bestehend aus harten Deckschichten und weichen Kernmaterialien, können beispielsweise als Fassadenplatten eingesetzt werden. In diesem Projekt werden Sandwich-Platten mit Polyurethanschaumkernen erforscht. Anstelle der üblichen Metallblechdeckschichten werden acht Millimeter dicke Deckschichten aus Textilbeton verwendet, die mit Epoxidharz mit dem Kern verklebt werden.

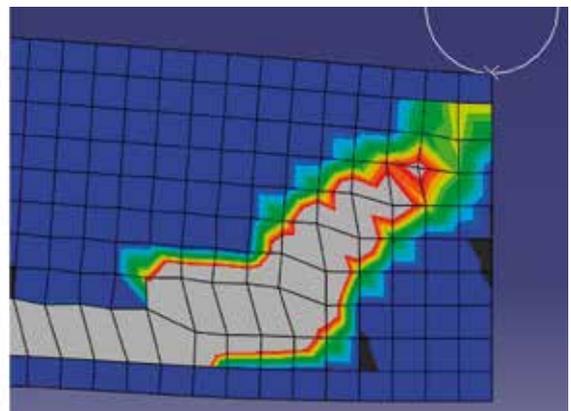
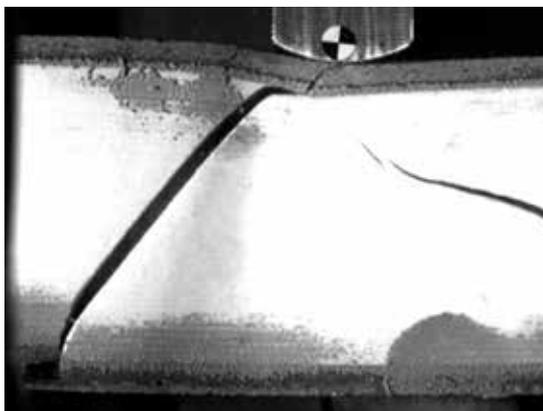
Neben der statischen Tragfähigkeit, die in Biegeversuchen ermittelt wird, ist vor allem die Absorptionsfähigkeit der Materialkombination bei stoßartiger Belastung von Interesse, die mittels Anprallversuchen in einer Fallgewichtsanlage untersucht wird. Messtechnisch wurden die dynamischen Versuche mit piezoelektrischen Kraft- und Beschleunigungssensoren überwacht und die Werte mit einem Transientenrekorder bei einer Datenrate von 107 pro Sekunde aufgezeichnet. Die dynamischen Bruchlasten lagen dabei bei weichen Schäumen um das 3-fache, bei harten Schäumen um das 1,5-fache höher als im statischen Referenztest.

Weiterhin wurde das Auftreffen des Impaktors mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen, die 60.000 Bilder pro Sekunde erlaubt, was detaillierte Aussagen über Rissentwicklung ermöglicht. Durch die Filmaufnahmen konnte

die Risswachstumsgeschwindigkeit in den Schaumkernen näherungsweise bestimmt werden. Diese steigt mit wachsendem Elastizitätsmodul an. In Abhängigkeit von der Dichte des Schaumstoffmaterials treten unterschiedliche Versagensmechanismen auf. Leichte Schäume verteilen die Energie des Impaktors breit. Hier versagt jedoch die Verbundfuge zwischen Kern und oberer Deckschicht. Bei mitteldichten Schäumen hingegen entstehen Schubrisse in der Kernschicht. Die hohe Steifigkeit dichter Schäume bedingt eine fast direkte Lastweiterleitung, die zum Durchstanzen der unteren Deckschicht führt.

Um das Verhalten von Sandwichelementen numerisch modellieren zu können, wurden verschiedene FE-Software-Produkte getestet und verglichen. Bei der Nachrechnung der Schädigungsentwicklung erwies sich das FE-Programm Abaqus/Explicit als besonders geeignet. Durch eine Kombination eines speziellen Schaumstoffmodells mit einem kohäsiven Rissmodell konnte eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Last-Verformungs-Kurven erzielt werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Schubtragfähigkeit der Konstruktionen sowie der Verbesserung der numerischen Modellierung der Impaktversuche.



Versuchskörper nach dem Auftreffen des Impaktors – Vergleich von Highspeed-Kameraaufnahme und Abaqus-Simulation. | *Test specimen after impact – comparison of high-speed-camera shot and simulation with Abaqus.*  
Photo and Modeling: Joachim Finzel

# Textile Reinforced Concrete Sandwich Panels under Impact Loading

Sandwich constructions, consisting of hard face layers and soft core materials may for example be used as facade elements. Within this project, sandwich panels with polyurethane-cores are being investigated. Instead of the usual metal faces, eight millimetres thick textile reinforced concrete plates were glued to the cores with epoxy resin.

Beside the static load bearing capacity, which is assessed in bending tests, the impact absorption capacity is being investigated in impact tests conducted on a falling-weight facility. The dynamic experiments were monitored using piezo-electric force- and acceleration sensors. The data were recorded at a rate of 107 per second with a transient recorder. The dynamic fracture load level was about three times higher than the static fracture load for soft foams with a low density and about 1.5 times higher for high density foams.

Furthermore, the impact of the falling weight is recorded by a high speed camera, which can take 60,000 frames per second, yielding detailed information about crack formation. With the camera data, the crack propagation speed in the foam cores could be assessed roughly. It can be stated, that the speed grows



Versuchskörper nach dem Auftreffen des Impaktors.

Test specimen after impact.

Photo: Joachim Finzel

with increasing elastic modulus of the foam. Depending on the density of the core foam material, different failure modes occur. Lightweight foams distribute the impact energy on a wide area, yet the joint between the foam and the upper face layer fails. In medium weight foams, the typical diagonal shear cracks develop. The high stiffness of heavyweight foams causes a direct load transfer and a punching failure of the lower face layer.

For the numerical simulation of the sandwich elements, numerous FE-software products were investigated. Abaqus/Explicit proved to be the best solution to simulate the development of damage. With a combination of a special 'crushable foam' material model and a cohesive crack model, a good agreement between experimental data and simulation results was achieved. Topics to be investigated more intensively are shear bearing capacity and an improvement of the numerical simulation of the impact tests.

## Titel | Title

Material- und Verfahrensentwicklung für nachhaltige Instandhaltungs-, Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen von Abwasserbauwerken unter Verwendung von textiltbewehrten Betonen | *Material and Process Development for the Sustainable Maintenance, Repair and Rehabilitation of Sewer Systems Using Textile Reinforced Concrete*

## Förderer | Funding

Institut für Massivbau, TU Dresden

## Zeitraum | Period

fortlaufend | ongoing

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Joachim Finzel M.Sc.

# Von Beton und Mikrosekunden

Lawinen, Steinschlag, Fahrzeuganprall, Flugzeugabsturz, Explosionen – unsere Infrastruktur ist ständig durch unvorhergesehene natürliche und anthropogene Ereignisse gefährdet. Um Gebäudestrukturen zukünftig sicherer gestalten zu können, muss das Materialverhalten der verwendeten Baustoffe unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten genauer erforscht werden.

Aus Untersuchungen verschiedener Forscher in den vergangenen Jahrzehnten ist bekannt, dass Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten eine größere Zug- und Druckfestigkeit aufweist als unter statischer Belastung. Zudem haben viele Forschungsvorhaben gezeigt, dass Beton unter mehraxialer Druckbelastung ebenfalls einer höheren Spannung widerstehen kann als im einaxialen Fall. Daraus ergibt sich nun die Fragestellung, ob sich diese beiden Effekte der Festigkeitssteigerung im Falle einer schnellen (stoßartigen) mehraxialen Belastung überlagern.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein weltweit neuartiger zweiaxialer Split-Hopkinson-Bar entwickelt, mit dem Betonproben gleichzeitig aus zwei rechtwinklig zueinander stehenden Richtungen mit stoßartigen Impulsen belastet werden

können. Diese beiden Stoßwellen müssen in einem Zeitfenster von lediglich 20 Mikrosekunden auf den würfelförmigen Probekörper treffen, um in beiden Richtungen eine gleichzeitige hohe Belastungsgeschwindigkeit erzielen zu können. Genau in diesem Punkt liegt die größte Herausforderung an den Versuchsstand und die Versuchsdurchführung. Zur Lösung dieser Aufgabe wird die Auslösung der zwei Impulsgeber mikrosekundengenau mittels eines Computers gesteuert.

Es konnten bereits erste Versuchsergebnisse in diesem Versuchsstand erzielt werden. Für einen normalfesten Beton C 40/50 konnte eine deutliche Steigerung der dynamischen Druckfestigkeit im zweiaxialen Fall gegenüber dem einaxialen Fall festgestellt werden. Außerdem zeigen die Probekörper ein deutlich verändertes Versagensbild unter zweiaxialer Belastung, was auf einen veränderten Spannungszustand im Inneren der Probe schließen lässt. Zukünftig können diese und weitere Forschungsergebnisse in Materialmodelle und Computersimulationen zur Bemessung von Bauwerken einfließen und somit einen Beitrag dazu leisten, unsere Infrastruktur sicherer zu gestalten.



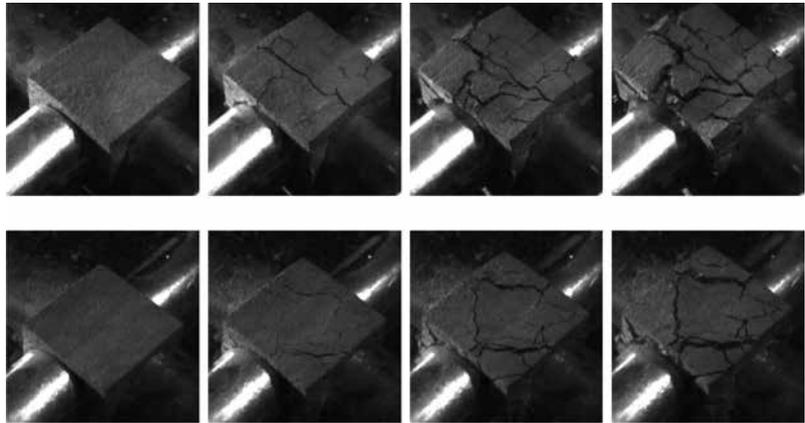
Zweiaxialer Split-Hopkinson-Bar im Otto-Mohr-Laboratorium.

*Biaxial split-Hopkinson bar at Otto-Mohr Laboratory. Photo: Ulrich van Stipriaan*

# About Concrete and Microseconds

*Avalanches, rock fall, vehicle collision, plane crash, explosion – our infrastructure is constantly threatened by incidental natural and anthropogenic events. In order to design building structures in the future safer, the material behaviour of the used materials needs to be explored under high loading rates in more detail. Various studies over the last decades have shown that concrete has a higher tensile and compressive strength under high loading rates than under static loading. In addition, many research projects have shown that concrete under multi-axial compressive loading can also resist higher stress than in the uniaxial case. This raises the question if these two effects of strength increase superimpose in case of a very fast (impulsive) multi-axial loading.*

*To answer this question a worldwide new biaxial Split-Hopkinson bar was developed to load a concrete specimen at once from two perpendicular*



Versagen von Proben unter dynamischer einaxialer (oben) und zweiaxialer (unten) Belastung.

*Fracture pattern of specimen under dynamic uniaxial (top) and biaxial (bottom) loading.*

*Photo: Martin Just, taken with a Photron Fastcam SA5*

*lar directions with a shock-like impulse. These two shock waves have to hit the cube-shaped specimen within twenty microseconds in order to achieve a simultaneous high loading rate in both directions. This requirement is the most challenging aspect regarding the test setup and the experimental procedure. To achieve this object the trigger of the two pulse generators is controlled with microsecond precision by a computer.*

*First test results have already been achieved in this test stand. For a normal strength concrete C 40/50, a significant increase in the dynamic compressive strength could be determined in the biaxial case in comparison with the uniaxial case. Furthermore, the specimens show a distinct change in failure pattern under biaxial loading, suggesting an altered state of stress inside the sample. In the future, these and other research results can be included in material models and computer simulations for the design of structures and thus can contribute to construct a safer infrastructure.*

## **Titel | Title**

Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten – Experimentelle Untersuchungen zur zweiaxialen Festigkeit | *Material Behaviour of Concrete under High Loading Velocity – Experimental Investigations on Biaxial Strength*

## **Förderer | Funding**

Institut für Massivbau, TU Dresden

## **Zeitraum | Period**

01.2013 fortlaufend  
(Fortführung eines bis 12.2012 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH als Projektträger geförderten Projekts)

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

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

# Viele Teilchen: Dominos und Stahlbeton

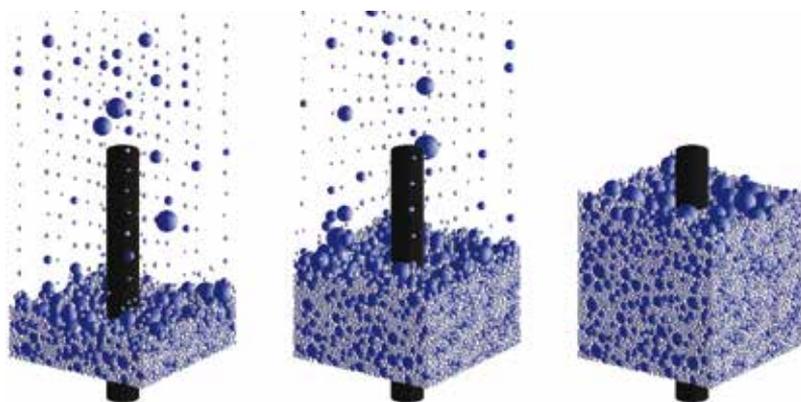
Die Befüllung eines Silos mit Schüttgut und die Ausbildung von Kugelsternhaufen oder ganzer Galaxien, die Ausbreitung von Gerüchten und die Entstehung von Verkehrsstaus zeigen eine Gemeinsamkeit: Systemverhalten entsteht durch die Interaktion einer Vielzahl von Teilchen, Objekten oder Personen. Die Ansicht einer Kette fallender Dominosteine ist das vielleicht eindrücklichste Sinnbild des für die Natur grundlegenden Prinzips von einfacher Ursache und komplexer Wirkung.

Vielteilchensimulationen folgen diesem Prinzip, indem sie es nachbilden. Ausgehend von einem möglichst einfachen Modell für die Teilchen-Teilchen-Interaktion wird das System in einen bestimmten Anfangszustand gebracht und anschließend sich selbst überlassen. Das verwendete Kontaktmodell und die darin auftretenden Parameter sind die einzigen Annahmen, die im Vorfeld der Simulationen zu treffen sind, alle nachfolgend beobachteten Phänomene und Effekte hingegen stellen die Ergebnisse der Simulation dar. Dies unterscheidet Vielteilchensimulationen (speziell: die Methode der Diskreten Elemente, DEM) grundlegend von kontinuumsbasierten Methoden wie etwa der FEM.

In diesem Projekt werden Vielteilchensimulationen des mehraxialen Schädigungsverhaltens von

Beton entwickelt, mit denen sich das Materialverhalten und die Schädigungsmechanismen gleichsam beobachten und entdecken lassen. Die verwendeten virtuellen Probekörper werden als Schüttung kugelförmiger Zuschlagteilchen erzeugt, welche sich in ihrer Größe an realistischen Sieblinien orientieren. Der Simulationscode erlaubt die Generierung unterschiedlichster Probekörpergeometrien ebenso wie die Schüttung des virtuellen Zuschlagmaterials um einfache Arten der Bewehrung herum. In der nachfolgend simulierten Phase des Aushärtens sorgt eine geeignete Modifikation des Kontaktmodells dafür, die erhaltenen Haufwerke zu formstabilen Probekörpern zu verkleben, die dann für virtuelle Belastungsversuche zur Verfügung stehen.

Jeder einzelne der virtuellen Probekörper kann wieder und wieder unterschiedlichsten Belastungssituationen ausgesetzt werden, ein- oder mehraxial, unter monotoner oder zyklischer Beanspruchung, möglicherweise unter Bedingungen, die im Laborexperiment nur äußerst schwer oder gar nicht zu realisieren sind. Geringfügige Änderungen des virtuellen Zuschlagmaterials, ja sogar die Generierung verschiedener Probekörper aus identischem Zuschlagmaterial, erlauben es, die numerischen Experimente unter leicht veränderten Anfangsbedingungen beliebig oft zu wiederholen.



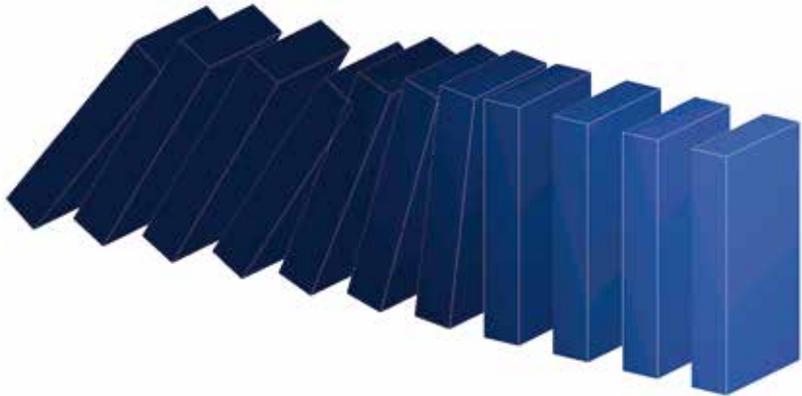
Schüttung des virtuellen Zuschlagmaterials um einen einfachen Bewehrungsstab.

*Fill virtual aggregate material around a simple reinforcement bar.  
Simulation: Dirk Reischl*

# On Running Dominoes and Reinforced Concrete

*The process of filling a container with granular matter, the formation of a stellar system and the formation of a galaxy, the spreading of a rumor, and the emergence of a traffic jam have at least one thing in common: They show that a complex system's behavior emerges from interaction of a great number of particles, objects, or human beings. The image of running dominoes may be the most impressive visual representation of the principle of causality generating complexity that governs nature and our daily life.*

*Many-body simulations adopt this principle in an idealized manner. Based on a simple (but not too simple) constitutive law for particle-particle interaction, the particles are given respective initial conditions, before the system is left to its own. The constitutive law and its parameters are the only assumptions made in advance of the simulations, so all other phenomena are to be considered as simulation results. This is the fundamental difference between many-body simulations (in particular: the Method of Discrete Elements, DEM) and continuum-based methods such as the Method of Finite Elements (FEM).*



DEM-Simulation einer Kette fallender Dominosteine.  
DEM simulation of a chain of falling dominoes. Graphic: Dirk Reischl

*In the course of this research project many-body simulations of multiaxial damage behavior of concrete are to be developed which may allow to observe and even explore material behavior and damage processes. The virtual specimens used for the simulations are generated as dense packings of spherical aggregates having size distributions that are oriented towards realistic sieving lines of concrete.*

*Each individual specimen may be used for numerous situations of loading, may they be uniaxial or multiaxial, monotonic or cyclic, possibly for situations that cannot be realized in the laboratory for principle or practical reasons. Slight modifications of the size distribution of the virtual aggregates and even the generation of different virtual specimens consisting of an identical ensemble of aggregates (so-called „clones“) are possible and allow to repeat the numerical experiments under slightly different initial conditions any number of times.*

## **Titel | Title**

DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton | DEM Simulations for Multiaxial Damage Behaviour of Concrete

## **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.-Math. Dirk Reischl

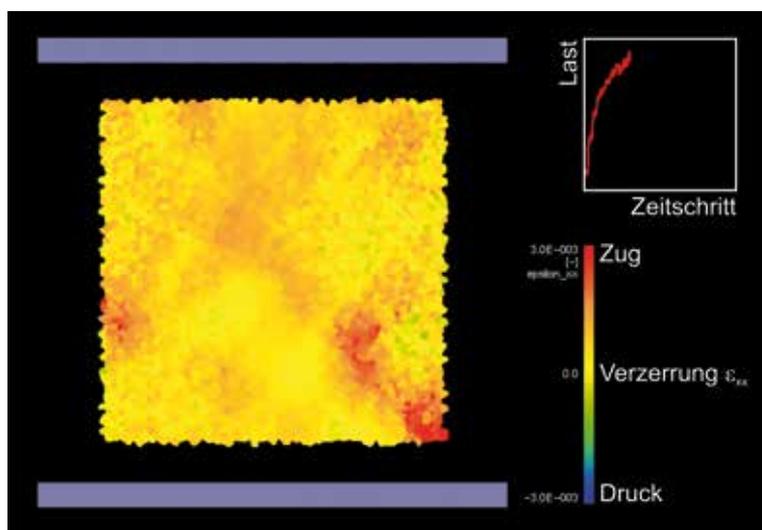
# DEM-Simulation von Betonbruch

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, das Versagens- und Bruchverhalten von Beton zu untersuchen. Dabei geht es weniger um die Untersuchung des Materialverhaltens im elastischen oder sicher tragfähigen Bereich, sondern es geht gezielt um die Untersuchung des Bruchverhaltens und die dem globalen Bruch vorausgehende und fortschreitende Rissentwicklung. In einer am Institut entwickelten numerischen Simulation wird ein 10 cm großer Betonprobekörper unter vertikaler Druckbeanspruchung bis zum vollständigen Versagen belastet.

In der Simulation werden auf Grundlage der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) die Kräfte und Verschiebungen im Betonkörper infolge äußerer Belastung berechnet. Um den Vergleich mit Ingenieurgrößen zu ermöglichen, können aus den bekannten Systemvariablen makroskopische Größen wie Spannungen und Verzerrungen ermittelt werden. Hierzu werden Verfahren der Durchschnitts- beziehungsweise Mittelwertbildung eingesetzt.

Die Spannungen und Verzerrungen sind Nachverarbeitungsgrößen und haben entsprechend keinen Einfluss auf den weiteren Simulationsverlauf. Spannungen und Verzerrungen sind konzeptionell kontinuumsmechanische Größen. Das

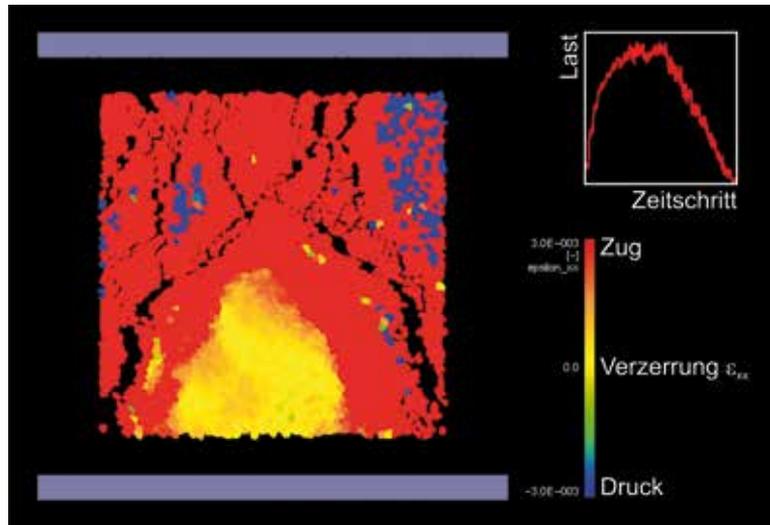
bedeutet, dass die Spannungen und Verzerrungen verschmiert und in einem bestimmten, wählbaren Einflussbereich als konstant angenommen werden. Und es bedeutet weiterhin, dass die Ermittlung von Spannungen und Verzerrungen stetige Felder – das heißt also einen kontinuierlichen Körper – voraussetzt. Die beiden Bilder zeigen exemplarische Ergebnisse des Projektes. Im linken Bild ist die Dehnung eines Probewürfels in horizontaler Richtung zu Belastungsbeginn und noch vor Erreichen der Maximallast zu sehen. Man erkennt, dass in den rot dargestellten Bereichen höhere Zugdehnungen auftreten als in den gelb (neutral) dargestellten. Auf diese Weise können solche Gebiete, in denen später ein Riss entstehen wird, erkannt werden, bevor die makroskopisch sichtbare Rissbildung einsetzt. Das rechte Bild zeigt die horizontale Dehnung beim vollständigen Versagen. An diesem Bild ist vor allem erkennbar, dass die Ermittlung der Verzerrungen (und Spannungen) zwar formal durchführbar, aber nur eingeschränkt aussagekräftig sind, da der Betonkörper durch die fortschreitende Rissbildung und die starke Schädigung nicht mehr als kontinuierlicher Körper betrachtet werden kann und daher die erforderlichen Voraussetzungen stetiger Felder nicht gegeben sind. Aussagen zu Verzerrungen sind also lediglich im Anfangsstadium der Belastung am ungeschädigten Probekörper sinnvoll.



Verzerrung bei niedriger Lastintensität.  
*Strain at low load intensity. Graphic: Birgit Beckmann*

# DEM Simulation of Concrete Fracture

The aim of this project is to investigate the failure and fracture behaviour of concrete. The reaching of a certain maximum load or the investigation of the concrete's behaviour within a range of safe working loads are not in the focus of the project. It is rather a question of the fracture behaviour and the crack propagation preceding the global failure. In a numerical simulation developed at the Institute of Concrete Structures, a concrete specimen with a size of 10 cm is subjected to vertical compression load up to total collapse.



Verzerrung bei vollständigem Versagen.

Strain at total collapse. Graphic: Birgit Beckmann

Based on the Discrete Element Method (DEM), the forces and displacements of in the concrete specimen due to the load are calculated in the simulation. For a comparison with engineering quantities, macroscopic values such as stresses and strains can be determined from the known system variables. This is done using averaging approaches. The stresses and strains are post-processing values and have no influence to on the further simulation process.

In principle, stresses and strains are continuum-mechanic values. This means the stresses and strains are assumed to be continuous or smeared, respectively, and constant within a certain range of influence. Furthermore this means that the

calculation of stresses and strains presupposes steady fields and a continuous concrete body. The two figures show exemplary results of the project. The horizontal strain of concrete specimen at low load intensity can be seen in the figure on the left side. Red-coloured areas show higher tensile strains than yellow-coloured ones. Thus, ranges with future cracks can be identified before the onset of the crack initiation and the arising of a macroscopic crack. The right figure shows the horizontal strain at total collapse. It shows primarily that the strain calculation can formally be done formally, but it is not meaningful at this loading state. Due to increased crack evolution and proceeding damage accumulation, the concrete specimen can no longer be seen as a continuous body in post-peak behaviour. Along with this, the assumption of a continuous concrete body and of continuous fields becomes invalid. As a consequence it is identified that the calculation of stresses and strains is meaningful only at low loading states.

## 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

## Zeitraum | Period

10.2010 – 09.2013

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Birgit Beckmann

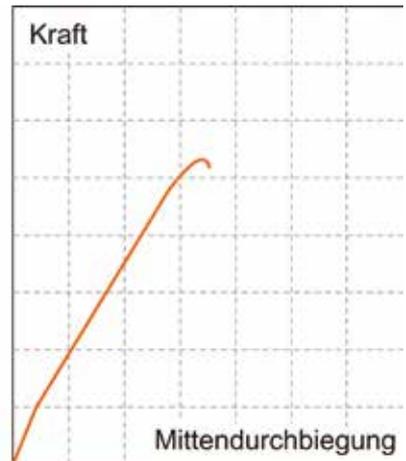
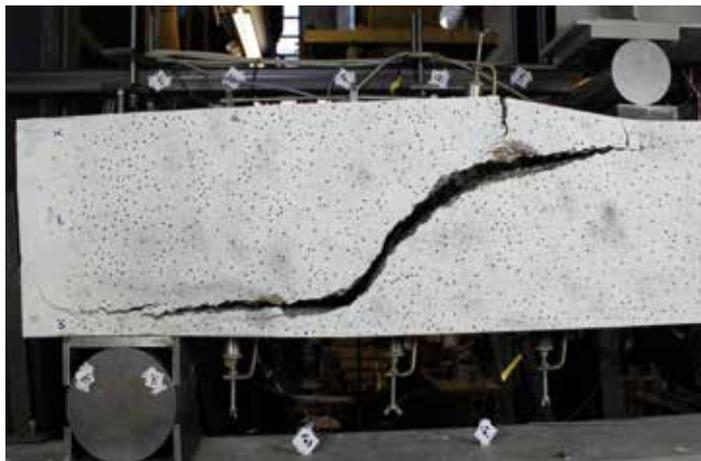
# Bilder, die die Sicherheit erhöhen

Stahlbetonbauteile können, abhängig von der aufgetragenen Belastung und der Ausführung des Bauteils unterschiedlich versagen. Dabei ist das Ziel einer jeden Bemessung und konstruktiven Durchbildung, dass sich das Versagen vor dem Eintreten deutlich ankündigt und keine Gefährdung für Leib und Leben besteht. Diese garantierte Vorankündigung des Versagens ist bei heutigen Bauteilen und Bauwerken durch Mindestanforderungen in den gültigen Normen gesichert, doch haben ältere Bauwerke oft gerade hinsichtlich dieser Eigenschaft Schwächen. Ein Hauptproblem ist z. B. eine oft zu geringe oder sogar fehlende Bewehrung für eine primäre Querkraftbeanspruchung, die im Falle einer schrägen Rissbildung diesen Riss überbrücken und ihn zusammenhalten kann.

Um solche älteren Bauwerke trotzdem sicher durch Belastungsversuche untersuchen und ihre Tragfähigkeit nachweisen zu können, wird in einem Forschungsvorhaben der Versagensablauf eines Querkraftversagens näher untersucht. Ziel ist es, durch eine Kombination von Photogrammetrie, Schallemissionsanalyse und herkömmlicher Messtechnik die Informationen über den Tragzustand eines auf Querkraft beanspruchten Bauteiles deutlich zu erhöhen und den Rissentwicklungsprozess in Zeit und Raum besser aufzulösen. Bei Schubversagen ist die Analyse der

Rissentwicklung eines der wichtigsten Messziele, da globale Verformungsinformationen, wie z. B. Durchbiegungen, bei dieser Versagensart keine zuverlässige Beurteilung erlauben.

In den experimentellen Untersuchungen an Balken ohne und mit geringer Bügelbewehrung zeigte sich, dass insbesondere die Photogrammetrie ein sehr effektives und mächtiges Messverfahren darstellt. Um die Rissbildung photogrammetrisch und online während des Versuches analysieren zu können, d. h. kleinste Verschiebung an den Seitenflächen der Balken sichtbar zu machen, wurde der Balken künstlich texturiert und eine eigene Auswertesoftware entwickelt. Die Verfolgung der Verschiebung dieser Punkte in aufeinander folgenden Bildserien und die Auswertung über eine Einfärbung der gerissenen Bereiche am Computer erlaubte die frühzeitige Erkennung einer beginnenden Schädigung und somit auch der zulässigen Belastung für eine spätere Nutzung. Die Verknüpfung der Messergebnisse der anderen Messtechniken mit den photogrammetrischen Auswertungen führte zu einer deutlich verbesserten Auflösung des Versagensprozesses in Zeit und Raum und einem tieferen Verständnis der zum Versagen führenden Prozesse.

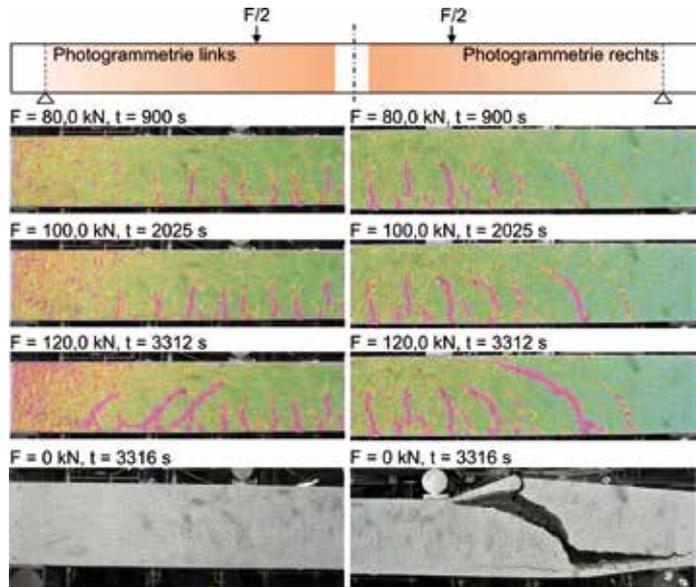


Schubversagen bei einem Stahlbetonbalken und zugehörige Durchbiegung.  
*Shear failure of a reinforced concrete beam and corresponding deformation.*  
 Photo/Graphic: Gregor Schacht

# Pictures which Increase the Safety

Depending on the type of loading and the construction, reinforced concrete elements can fail in different ways. The goal of every design and detailing is to ensure that elements somehow indicate impending failure so that there is no danger for life. In today's building codes this guaranteed announcement of elements and structures is given through minimum reinforcement requirements, but older constructions often have deficits concerning this point. A big problem e.g. are elements with too small or no reinforcement for primary shear action, which is able to bridge and hold together the inclined cracks in case of shear crack development.

Nevertheless, to be able to investigate these constructions by load testing and to proof that their load bearing capacity is sufficiently high, this research project analyzes the processes and mechanisms of shear failure in detail. Through a combination of photogrammetry, acoustic emission and common measuring techniques, the information about the condition of the structure under test load shall be improved and the cracking process in time and space shall be better resolved. The analysis of the crack development is the main measuring goal for shear



Photogrammetrische Auswertung der Rissentwicklung.

Photogrammetric evaluation of the crack development.

Graphic: Gregor Schacht

failure because global deformation information, such as deflections, cannot be used for the safe detection of beginning shear failure.

In experimental investigations of beams without and with small shear reinforcement it could be proven that especially photogrammetry is a very effective and powerful measuring technique. To be able to detect and analyze crack developments with the photogrammetry online during the experiment, i.e. to make smallest structural changes visible, the beams were artificially textured and a specific software was developed. The tracking of the deformation of these points in a series of pictures and their evaluation by coloring cracked areas at the PC allowed the early detection of beginning damage processes. Thus, the possible loading could be determined for future use. Connecting the results of the other measuring techniques with the photogrammetric evaluation led to a considerably improved resolution of the damage and failure process in time and space and a deeper understanding of the mechanisms that cause failure.

## Titel | Title

Versuchsgrenzzustandindikatoren 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

## Partner | Project Partner

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

# Optimierung knickgefährdeter Stützen

Stützen sind seit jeher wichtige Bestandteile vieler Bauwerke, da sie die eingetragenen Lasten konzentriert in den Baugrund ableiten. Heutzutage ist bei üblichen Stützenabmessungen und Lasten die Spannungsproblematik in der Regel die maßgebende Versagensart. Es ist jedoch denkbar, dass in Zukunft, zum Beispiel durch den Einsatz von ultrahochfesten Betonen, schlankere Stützen gebaut werden als bisher, wodurch die Stabilitätsgefährdung an Bedeutung gewinnt.

Wird das Stabilitätsversagen ausschlaggebend, dann würden bei den heute gängigen Stützenformen, die meist einen über die Höhe konstanten kreisförmigen oder rechteckigen Querschnitt besitzen, stärker und geringer belastete Bereiche entstehen. Entsprechend des Prinzips „form follows force“ kann für derartige Stützen eine kraftflussgerechte Form gefunden werden, durch die eine gleichmäßigere Beanspruchung entsteht, wodurch der Materialbedarf bei gleicher Versagenslast minimiert werden kann.

Im ersten Teil des Projektes standen theoretische Betrachtungen zur Knickproblematik eines ideal zentrisch gedrückten Stabes im Vordergrund. Bei den konvexen Vollprofilen hat in diesem Spezialfall das gleichseitige Dreieck die günstigste Form bezüglich des Knickwiderstandes, da das Trägheitsmoment im Vergleich zur Querschnittsfläche groß ist.

Die Variation der Form in Längsrichtung hängt indessen von der Knicklinie und somit von den Einspannbedingungen einer Stütze ab. Bei einer ausschließlichen Optimierung hinsichtlich des Knickkriteriums würde man Stützenformen erhalten, bei denen die Querschnitte in den Bereichen der Wendepunkte der Knicklinien auf Null abfallen. In diesen kritischen Bereichen sind in der Realität aber Mindestquerschnitte in Abhängigkeit von der Größe der zu übertragenden Last notwendig, um die Spannungsübertragung sicherzustellen. Von der Größe dieses erforderlichen Mindestquerschnitts hängt die erreichbare Steigerung der Versagenslast im Vergleich zu einer volumengleichen Stütze mit konstantem Querschnitt ab. Wird zusätzlich der Einfluss einer Dreiecksform statt einer üblichen Kreisform berücksichtigt, dann können Steigerungen von bis zu 60 Prozent erreicht werden. Mit aufgelösten Querschnitten können sogar noch größere Laststeigerungen erzielt werden.

Um die theoretischen Ergebnisse zu überprüfen, wurden erste Tastversuche durchgeführt. Weitere Experimente sind aktuell in Planung.

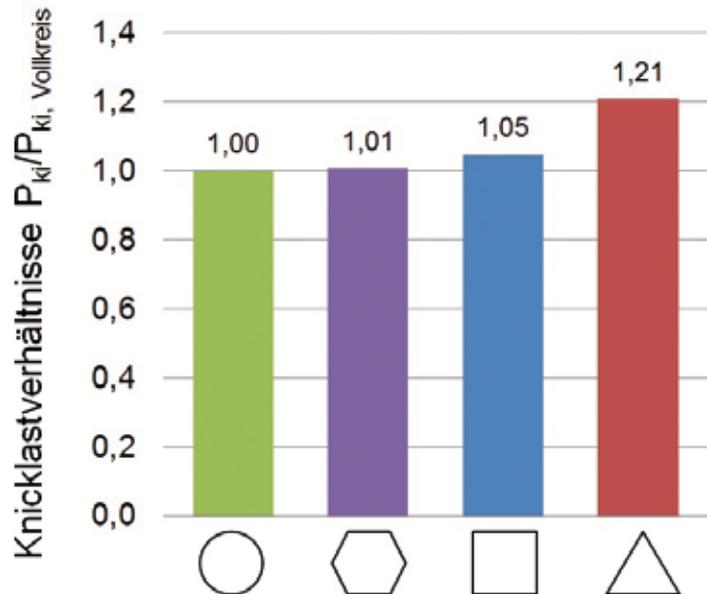


Verschiedene Stützenquerschnitte knickgefährdeter Stützen aus UHPC. *Slim UHPC columns with different cross-sections. Photos: Angela Schmidt*

# Optimization of Slim Columns

Columns have always been important components of buildings because they lead all vertical loads of a building concentrated into the ground. Today's conventional column sizes and loads usually lead to failure because of an exceeding of the design stresses. However, it is conceivable that in the future, for example when using ultra high-strength concrete, slenderer columns will be built. Consequently, the stability hazard would be gaining importance.

The columns we build today usually have a constant circular or rectangular cross section over their whole length. If stability failure was crucial, there would be more and less loaded areas in these components. According to the principle of „form follows force“, one can find a load path aligned form for such columns. The result is a uniform stress state, whereby the material requirement can be minimized for an equal failure load. In the first part of the project, theoretical considerations to the buckling problem of a perfect centric pressed column were at the centre. For the group of the convex full profiles, the equilateral triangle has – in this special case – the most favourable form with respect to the buckling resistance because the moment of inertia is largely compared to the cross-sectional area.



Knicklasten in Abhängigkeit von der Querschnittsform im Vergleich zu der links dargestellten runden Stütze.

Buckling loads in depending on the cross-sectional shape in comparison to the round column on the left. Graphic: Angela Schmidt

The variation of the columns shape in the longitudinal direction, however, depends on the bending line and therefore on the restraint conditions of a column. If the columns were only optimized with respect to their buckling, one would obtain shapes whose cross-sections in the regions of the inflection points of the bending lines are zero. In reality, however, the minimum cross-sections depend on the size of the load to be transmitted to ensure the stress transmission even in these critical areas. The possible increase of the failure load compared to an equal-volume column with constant cross-section depends on the size of this required minimum cross section. If in addition the influence of a triangular shape instead of a conventional circular shape is taken into account, buckling load increases of up to 60 percent can be achieved. Even greater load increases can be achieved with structured cross sections, e.g. in hollow profiles or profiles in the form of a cross. To verify the theoretical results, first experiments were performed. We are currently planning further experiments.

## Titel | Title

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

## Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1542

## Zeitraum | Period

07.2011 – 06.2014

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Regine Ortlepp, Dipl.-Ing. Angela Schmidt

# Blechumformung mit Betonwerkzeugen

Die steigende Zahl von unterschiedlich geformten Blechen, speziell in kleinen und mittleren Fertigungsserien, bedingt die Entwicklung von effizienten Umformprozessen und wirtschaftlichen Herstellungsverfahren für Umformwerkzeuge. Im Bereich der wirkmedienbasierten Blechumformung ist Ultrahochleistungsbeton mit einaxialen Druckfestigkeiten von über  $150 \text{ N/mm}^2$  für die Herstellung von Werkzeugmatrizen eine Alternative zu konventionell eingesetzten metallischen Werkstoffen.

Mit einem feinkörnigen stahlfaserbewehrten Ultrahochleistungsbeton konnte die Eignung von Beton als Werkstoff für formgebende Matrizen bei der wirkmedienbasierten Hochdruck- und Innenhochdruckblechumformung gezeigt werden. Bei der Hochdruckblechumformung wurden ab Umformdrücken von  $50 \text{ N/mm}^2$  gute Umformergebnisse erzielt. Das weitere Steigern des Druckes führte nur noch zu geringfügigen Verbesserungen der Konturgenauigkeit der geformten Bleche. Beim Traglasttest versagte das Werkzeug schließlich bei einem Wirkmediendruck von  $96,5 \text{ N/mm}^2$ .

Während der Blechumformung treten in einem solchen Werkzeug mehraxiale Spannungszustände auf. Diese haben in Abhängigkeit von der Spannungscombination eine festigkeitssteigernde oder -mindernde Wirkung auf den Beton, woraus sich die Beanspruchbarkeitsgrenze des Umformwerkzeugs ergibt. Aufgrund der eher geringen Zugfestigkeit von Beton führen mehraxiale Zug-Druck-Druck-Spannungszustände in der Werkzeugmatrize zur Überschreitung dieser Grenze. Dabei ist nicht die maximale Festigkeit, sondern die der Elastizitätsgrenze maßgebend, da für die Herstellung konturgleicher Bleche keine plastischen Verformungen im Werkzeug auftreten dürfen. Will man die Einsatzmöglichkeiten von Betonmatrizen bei Umformprozessen abschätzen bzw. die Matrizengeometrie mit Hilfe von Simulationen effizient gestalten und optimieren, muss das Materialverhalten unter mehraxialen Spannungszuständen bekannt sein. Zur Bestimmung dieses Materialverhaltens wurden mehraxiale Belastungsversuche mit vorrangiger Betrachtung von Zug-Druck-Druck-Beanspruchungen durchgeführt.



Blick in den Prüfraum der Triaxialprüfmaschine bei einem Zug-Druck-Druck-Versuch.

*View of the testing room of triaxial testing machine during a tension-compression-compression test. Photo: Robert Ritter*

Aus den gemessenen Spannungs-Dehnungs-Linien wurden jeweils ein Modell zur Beschreibung der Festigkeitsgrenzfläche an der Elastizitätsgrenze und der maximalen Festigkeit sowie des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens abgeleitet. Diese Ergebnisse sollen nun in ein FE-Programm überführt und für Simulationen von Umformprozessen genutzt werden.

# Sheet Metal Forming with Concrete Dies

An increasing number of varying formed sheet metals, especially in small and medium batch production, induce the development of more efficient forming processes and more economical fabrication procedures for forming dies. In the range of sheet metal hydroforming for the fabrication of forming dies, ultra high performance concrete with uniaxial compressive strength up to 150 N/mm<sup>2</sup> is an alternative to conventionally used metallic materials.

With a fine-grained steel fibre reinforced ultra-high performance concrete the applicability of concrete as a material to fabricate forming dies could be shown for sheet metal hydroforming and internal sheet metal hydroforming. Good forming results were attained by sheet metal hydroforming at a forming pressure of 50 N/mm<sup>2</sup>. The continued increase of forming pressure only led to little improve of shape accuracy of the formed sheet metals. In the ultimate loading test the concrete forming die failed at an active fluid pressure of 96.5 N/mm<sup>2</sup>.

During the sheet metal hydroforming process, multiaxial stress states occur in the forming die. Depending on the stress ratio, the multiaxial loading state has an increasing or decreasing effect

## **Titel | Title**

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

## **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)  
Projekt CU 37/7-2 und TE 508/7-2

## **Zeitraum | Period**

04.2007 – 03.2009 (1. Periode)

01.2010 – 10.2012 (2. Periode)

Projektabschluss: 09.2013

## **Leiter | Project Manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach (Institut für Massivbau, TU Dresden)

Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya (Institut für Umformtechnik und Leichtbau, TU Dortmund)

## **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Robert Ritter (TU Dresden)

Masood Hussain M.Sc. (TU Dortmund)



Betonwerkzeug mit einer Napfgeometrie mit Nebenformelement und umgeformtes Blech.

*Concrete die with a bowl geometry with by-form element and formed sheet metal.*

*Photo: Michael Trompeter)*

on the concrete strength, which is responsible for the forming die's capacity to withstand stresses. Because of the rather small tensile strength of concrete, multiaxial tension-compression-compression stress states acting in the concrete die result in its passing the withstand limit. In this context, it is not the ultimate strength but rather the limit of elasticity which is valid because plastic deformations must not occur in the die used to fabricate sheet metals with equal contours. To pre-estimate the applications of concrete dies for forming processes and to optimise and design efficient die geometries through simulations, the material behaviour must be known. Therefore, multiaxial loading tests with primary tension-compression-compression stress states were conducted to determine the material behaviour experimentally.

Hypersurfaces were deduced from the measured stress-strain-relationships to predict the strength at the limit of elasticity and ultimate strength. Apart from this, a model to determine the stress-strain-behaviour could be developed. These results now should be implemented in a FE-program to use it for simulations of forming processes.

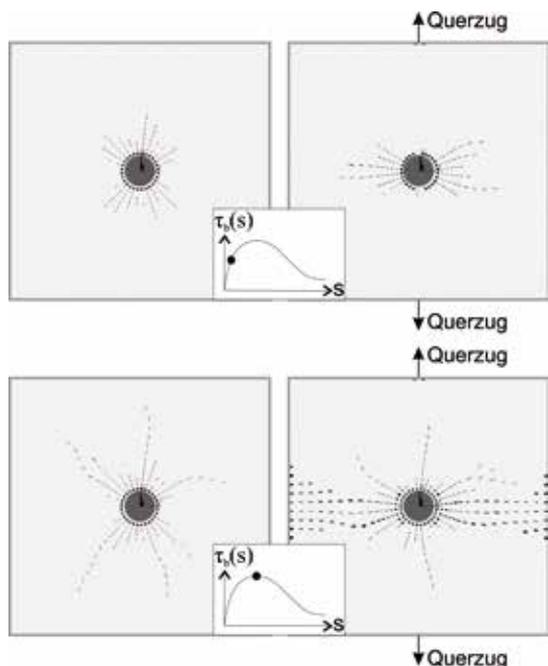
# Verbund zwischen Beton und Betonstahl unter Querzug

Viele Faktoren beeinflussen den Verbund von Beton und Betonstahl. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist eine Querzugbeanspruchung orthogonal zur Längsrichtung des Bewehrungsstahls, wie sie beispielsweise bei Siedewasser- und Druckbehältern unter Innendruck oder bei zweiachsig gespannten Platten auftreten.

Zur Beschreibung und Darstellung des Verbundverhaltens wird häufig der Zusammenhang zwischen der Verbundspannung als Summe der drei Verbundmechanismen Haft-, Reib- und Scherverbund und dem Schlupf, definiert als Relativverschiebung zwischen Beton und Betonstahl, verwendet. Mithilfe von Ausziehversuchen erfolgt die experimentelle Ermittlung der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen und der damit verbundenen Versagensart. Dabei werden grundsätzlich zwei Arten unterschieden: Stab-

auszug aus dem Beton oder plötzliches unangekündigtes Spalten des den Bewehrungsstahl umgebenden Betons. Durch eine zusätzlich auftretende Querzugbeanspruchung werden neben der Versagensart die Entstehung von Rissen und die sich einstellenden Rissbreiten beeinflusst. Dies ist speziell bei Behältern und Containments von großer Bedeutung, da dort eine Leckage zwingend vermieden werden muss. Deshalb ist für eine bessere und genauere Vorhersage des Verhaltens derartiger Strukturen neben der realitätsnahen Erfassung der Einzelkomponenten Stahl und Beton auch das Verbundverhalten zwischen ihnen zu berücksichtigen.

Da die Abbildung der Rippengeometrie des Betonstahls bei der Berechnung komplexer Strukturen einen erheblichen Ressourcenbedarf erfordert, wird diese im Allgemeinen vernachlässigt und die Bewehrung als glatter Stab approximiert. Die Verbundeigenschaften zwischen Beton und Stahl werden hierbei über Kontaktelemente realisiert, die zwischen den beiden Verbundpartnern wirken. Für die Anwendung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen in dem FE-Programm ANSYS wird nun ein ebenes Kontaktelement entwickelt, welches die wesentlichen Eigenschaften des Verbundverhaltens unter Querzugbeanspruchung abbildet. Für Vergleichsrechnungen werden Ausziehversuche modelliert und simuliert. Anschließend werden die Ergebnisse mit den experimentellen Daten verglichen. Neben der Richtigkeit spielt auch die Funktionalität der Modellierung eine wichtige Rolle. Nach erfolgreicher Verifikation des entwickelten Kontaktelementes kann dieses auch bei großen Strukturen angewendet werden, wodurch eine Verbesserung der Vorhersage des Gesamtverhaltens der Struktur, aber auch der Rissbildung möglich ist.



FE-Rissbilder ohne (links) und mit (rechts) Querzug zu verschiedenen Zeitpunkten der Simulation.

*FE-crack images without (left) and with (right) transverse tension at different times of the simulation. Graphic: Robert Zobel*

# Bond Between Concrete and Reinforcing Steel Under Transverse Tension

Many factors influence the bond between concrete and reinforcing steel. One of the most important factors affecting the mode of bond failure is transverse tension, which occurs – for instance – in vessels under internal pressure or in two-way slabs.

This bond behaviour is often used to describe the relationship between bond stress – that is the sum of the three bond mechanisms adhesion, friction and mechanical interaction – and slip, which means the displacement between concrete and reinforcing steel. The bond stress-slip relationship and mode of bond failure will be experimentally determined through pull-out tests. Generally, two different modes will be distinguished: pull-out of the reinforcing steel bar from the concrete or sudden splitting of the concrete. Besides the mode of bond failure, transverse tension also influences the development of cracks, the crack widths and the crack pattern. As regards vessels and containments, it is of great importance to avoid leakage. Hence, a better and more accurate prediction of the behaviour of such



Modellierung eines Betonstahls.

Modeled reinforcing steel. Graphic: Robert Zobel

structures requires the realistic analysis of the components steel and concrete as well as their bond behaviour.

Furthermore, with the usage of detailed modelling of rebar ribs a fine finite element mesh is generated. This leads to significant resource requirements. Therefore, the detailed modelling is generally neglected and the reinforcing steel is approximated as a smooth rebar. The bond properties between concrete and reinforcing steel will be carried out with contact elements, which act between the two bond partners. For the implementation of the experimental results in the FE program ANSYS, a flat contact element will be developed. The flat contact element depicts the bond properties under transverse tension. In order to gain a comparable calculation basis, pull-out tests are modeled and simulated. Subsequently, the results are compared with the experimental data. In addition to the validity, the functionality of the model is important. After the developed contact element has been successfully verified, it can also be used in large structures. Thus, the predictability of the behaviour of the overall structure and the development of cracks can be improved.

## 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 (BMWi); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH als Projektträger

## Zeitraum | Period

07.2012 – 06.2015

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Robert Zobel

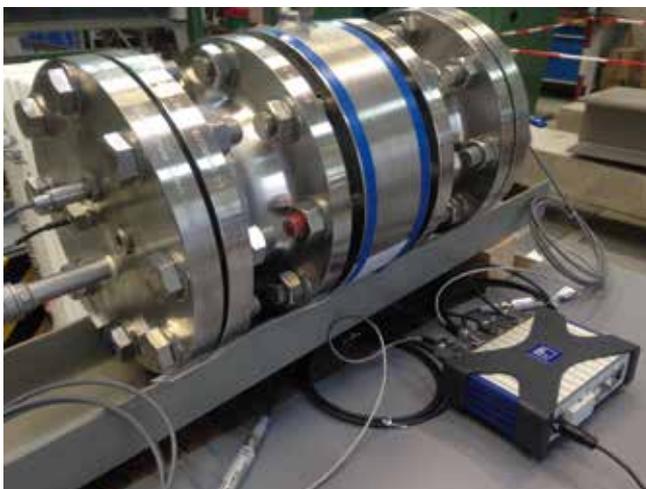
# Forschung unter Extrembedingungen

Die Helmholtz-Allianz „ROBEX“ (Robotische Exploration unter Extrembedingungen) ist ein Verbundforschungsvorhaben, an dem 15 Institutionen in ganz Deutschland beteiligt sind. In dieser Allianz sind weltweit erstmalig die Forschungsfelder Raumfahrt und Tiefsee, die beide mit extremsten Umgebungsbedingungen zu tun haben, miteinander verknüpft. Im Fokus steht die gemeinsame Entwicklung von Technologien für die Erforschung von schwer zugänglichen Gebieten wie Tiefseegräben und Erdmond – den beiden Hauptforschungsgebieten –, aber auch von Polargebieten oder anderen Himmelskörpern.

Unser Institut ist dabei kompetenter Partner auf beiden Seiten. Mit unserer langjährigen Erfahrung im Bereich des Hochleistungsbetons arbeiten wir in zwei Teilprojekten mit verschiedenen Projektpartnern zusammen. Im Bereich Raumfahrt besteht die wissenschaftliche Herausforderung in der Entwicklung eines Betons, der größtenteils aus Materialien der Mondoberfläche besteht und unter lunaren Bedingungen herstellbar ist. Das neu entwickelte Material und ein zugehöriges geeignetes Herstellungsverfahren könnten zukünftig bei der Errichtung einer permanenten Mondbasis Anwendung finden, die als Forschungsstation, Schutzkonstruktion oder als Ausgangspunkt für

die Erkundung anderer Planeten, wie z. B. dem Mars, genutzt werden soll. Um den Wasserbedarf im Beton zu minimieren, wird derzeit an einem Dampfdruckverfahren gearbeitet, das später für die Herstellung von Fertigteilen genutzt werden kann.

In der Tiefseeforschung spielen neben ökologischen Aspekten auch zunehmend wirtschaftliche Interessen, wie die Suche nach alternativen Energieressourcen, z. B. in Form von Methanhydrat, eine bedeutende Rolle. Für den Aufbau von temporären und permanenten Forschungsstationen unter Wasser oder auch für Druckbehälter für Messgeräte werden aufgrund der extrem korrosiven Umgebung bisher vorwiegend teure Materialien wie Titan und Aluminium verwendet. Deshalb wird in unserem zweiten ROBEX-Teilprojekt zusammen mit der Jacobs-Universität Bremen die Eignung von hochfestem Beton für Unterwasser-Druckbehälter untersucht, um eine kostengünstige Alternative zu den derzeit verwendeten Titanbehältern zu schaffen. Dabei müssen eine geeignete Betonzusammensetzung und eine entsprechende Bewehrung gefunden und die Auswirkungen der marinen Umweltbedingungen, wie hoher Druck und eine hohe Konzentration von Chloriden und Sulfaten im Hinblick auf die Korrosion, untersucht werden.

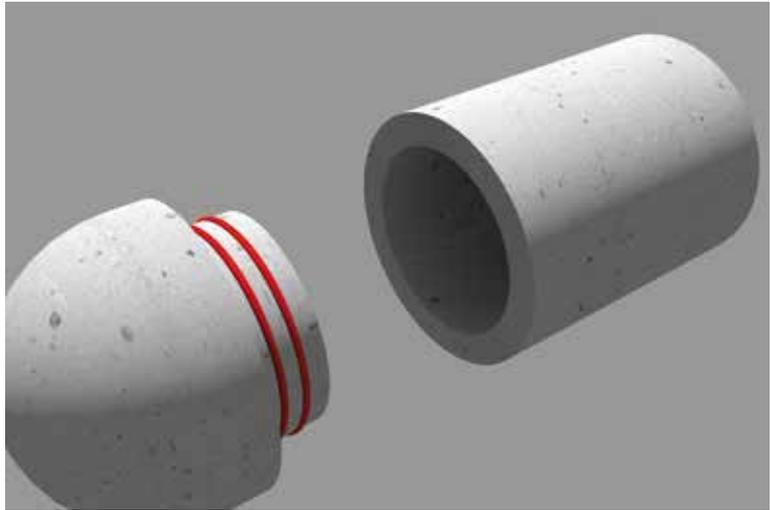


Reaktor zur Herstellung von Beton im Dampfhärtungsverfahren.

*Concrete production facility for steam injection under pressure. Photo: Sebastian Wilhelm*

# Research under Extreme Conditions

*The Helmholtz Alliance „ROBEX“ (robotic exploration under extreme conditions) is a collaborative research project in which 15 institutions throughout Germany are involved. For the first time, the research fields deep sea and space, both dealing with extreme environmental conditions, are linked in an alliance. The focus is on the joint development of technologies for the exploration of hard to reach areas such as deep-sea trenches and the Earth's moon – the two main research areas – but also the polar regions or other celestial bodies.*



Entwurf eines Druckgehäuses aus Beton für die Tiefsee.  
Design of a deep sea pressure housing made of concrete.  
Graphic: Sebastian Wilhelm

*Our institute is a competent partner on both sides. With many years of experience in the field of high-performance concrete, we work in two sub-projects with various project partners. In space, there is the scientific challenge to develop a concrete which consists largely of materials of the lunar surface and is manufactured under lunar conditions. The newly developed material and a corresponding suitable production method might find an application in the future establishment of a permanent lunar base, which could be used as a research station, a protection construction or as a base for exploring other planets, such as Mars. To minimize the water demand in concrete, we currently work on a steam-pressure process*

*which can later be used for the production of prefabricated parts.*

*In deep-sea research not only environmental aspects, but also increasingly economic interests such as the search for alternative energy resources e.g. in the form of methane play an important role. So far, mainly expensive materials such as titanium and aluminum are used for the construction of temporary and permanent research stations under water or even for pressure vessels for measuring instruments due to the extremely corrosive environment. Therefore, the suitability of high-strength concrete for underwater pressure vessels is examined in our second ROBEX sub-project along with the Jacobs University Bremen to provide a low cost alternative to titanium containers which are currently in use. In this case, it is necessary to find a suitable concrete composition and a corresponding reinforcement. Furthermore, the effects of the marine environment such as high pressure and, as regards corrosion, a high concentration of chlorides and sulphates have to be investigated.*

## **Titel | Title**

ROBEX – Robotische Exploration unter Extrembedingungen | *Robotic Exploration of Extreme Environments*

## **Förderer | Funding**

Helmholtz-Gesellschaft

## **Zeitraum | Period**

10.2012 – 10.2017

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm

# Leichte Deckentragwerke

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“ werden leichte, tragfähige, dreischichtige Sandwichplatten untersucht. Ziel der Forschung ist es, die eingesetzten Materialien möglichst effizient und ressourcensparend einzusetzen. Dies gelingt, wenn verschiedene Materialien entsprechend ihrer Beanspruchung zielgerichtet miteinander kombiniert werden. Große Druckkräfte werden von höherfesten Betonen und Zugkräfte von der (Stahl-)Bewehrung aufgenommen. Weniger beanspruchte Bereiche können mit gering tragfähigen, unbewehrten und besonders leichten Materialien versehen werden. Sandwichartige, dreischichtige Bauteile erfüllen diesen Ansatz hervorragend, da die festeren Deckschichten die Biegung und die (leichte) Kernschicht den Schub aufnehmen können.

Während im vergangenen Jahr vorwiegend theoretische Betrachtungen durchgeführt wurden, lag der Fokus in diesem Jahr auf der Herstellung und Prüfung geschichteter Platten, um sowohl ihre effiziente Tragwirkung als auch die praktische Umsetzbarkeit zu demonstrieren. Für besonders gewichtsoptimierte Bauteile wählten wir einen Aufbau aus Leichtbetonen mit Blähtonzu-

schlägen. Leichte, ressourcensparende Decken wurden aus Normal- und Porenleichtbeton realisiert. Die Herstellung der Platten erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH Dresden. Aufgrund ihrer langjährigen Erfahrungen konnten die im Labor entwickelten Mischungen unter industriellen Bedingungen umgesetzt werden. Insgesamt fertigten wir 2 x 18, 50 cm breite Plattenstreifen mit einer Dicke von 10 cm und 20 cm. Die Längen variierten zwischen 150 und 250 cm. Außerdem wurden drei Referenzplatten aus Normalbeton ohne Schichtaufbau hergestellt.

Alle Platten wurden im Otto-Mohr-Laboratorium im Vierpunktbiegeversuch bis zum Bruch belastet. Dabei zeigten sich in Abhängigkeit der Plattengeometrie verschiedene Versagensarten. Das Biegezugversagen ist durch das Reißen der Bewehrung in Plattenmitte, das Schubversagen durch einen schrägen Riss im Randbereich und das Fugenversagen durch das Öffnen der Schichtgrenzen gekennzeichnet. Die bisherige Auswertung hat gezeigt, dass die gewählten Materialien effizient ausgenutzt wurden und geschichtete Platten ausreichend tragfähig sind. Durch leichte Kernschichtmaterialien kann das Gewicht gegenüber normalgewichtigen Betonplatten bis zu etwa 50 % reduziert werden.



Schubversagen (oben) | *Shear failure (top)*.  
 Biegezugversagen | *Flexural tensile failure*. Photos: Michael Frenzel

# Lightweight Ceiling Structures

As part of the DFG Priority Programme 1542 lightweight, three-ply sandwich slabs with a high load bearing capacity are examined. It is the aim to use the applied materials as effective and resource-efficient as possible. This can be achieved by deliberately combining materials based on their respective loading. Accordingly, high compressive forces are to be absorbed by higher strength concrete and tensile forces by the (steel) reinforcement. Areas which are subjected to less stress can be fitted with particularly lightweight materials with a low load bearing capacity. Sandwich-structured three-ply components are perfect for this purpose as the more solid top layers absorb the bending and the (lightweight) core layer the shear. The investigated slabs contain no shear reinforcement for an easy handling on the construction site.

While last year's research was focused on theoretical examinations, this year's emphasis was on the production and examination of layered slabs to demonstrate the efficiency of their load bearing capacity and their practical applicability. We chose lightweight concrete with expanded clay aggregates for particularly weight optimized components. Additionally, lightweight and very resource-efficient sandwich elements were made of regular and foamed concrete. The slabs were manufactured in cooperation with BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH Dresden. Due to their long-standing experience, the mixtures developed in the laboratory could be produced under industrial conditions. All in all, we produced 2 × 18 plate strips with a width of 50 cm and a height of 10 cm or 20 cm. Their length varied between



Kleinformatiger Prüfkörper zur Bestimmung der Fugenfestigkeit.

Small-sized specimen to determine joint resistance. Photo: Michael Frenzel

150 and 250 cm. In addition, three reference slabs were made of regular concrete without layering.

All slabs were loaded to the point of failure in 4-point bending tests in Otto-Mohr Laboratory. We observed different failure modes depending on the respective slab geometry. Flexural tensile failure is characterized by the ripping of the reinforcement in the centre of the slab. In the case of shear failure an oblique crack develops at the edge of the slab. Joint failure is characterized by the separation of the layers. So far, the analysis has suggested that the chosen materials were used efficiently and that the layered slabs' load bearing capacity is sufficient. In comparison to concrete slabs of regular weight, sandwich elements manufactured by lightweight materials can reduce the weight up to 50 %.

## 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

# Forschung koordinieren – SPP 1542

Was vor einigen Jahren mit einer leicht dahingesagten Idee begann, hat sich mittlerweile zu einem vielbeachteten Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) entwickelt. Das SPP 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“ ist aktuell das einzige SPP, was sich vordergründig an Massivbauer richtet. Seit Beginn der Förderung im Sommer 2011 sind ca. 50 ForscherInnen in ganz Deutschland in 17 Teilprojekten bestrebt, innovative Lösungen für das Bauen der Zukunft zu finden.

Unserem Institut obliegt – neben der Bearbeitung von zwei SPP-Forschungsvorhaben – die Koordination und Organisation des gesamten Schwerpunktprogramms. Wir sind Ansprechpartner für die DFG, aber auch für alle beteiligten WissenschaftlerInnen. Wir sind verantwortlich für die Koordinierung der Schwerpunkttreffen und teilweise auch für deren Organisation. 2013 waren wir zudem in die Ausschreibung der Phase II des SPP involviert, die im Sommer 2014 beginnen soll.

Um die Wahrnehmung des Programms in der Öffentlichkeit zu verstärken, pflegen wir eine informative Homepage und stellen das Anliegen

des SPP 1542 in der Fachpresse oder auf Tagungen vor. Ein Beleg für die exzellente Forschung im Schwerpunktprogramm ist, dass bereits 2013 auf Initiative des Koordinators, Prof. Curbach, eine komplette Ausgabe der Zeitschrift Beton- und Stahlbetonbau mit Fachbeiträgen zum Leicht Bauen mit Beton erschienen ist.

Höhepunkt für die SPPLer war sicher die einwöchige Sommerschule in Meisdorf im Harz im Juni 2013, die ebenfalls von Dresden aus organisiert wurde. Das dortige Schlosshotel bot erstklassige Tagungsräume in einem einzigartigen Ambiente, welches geradezu dazu einlud, Gedanken auszutauschen und gemeinsam Ideen für künftige Projekte zu spinnen. Die Woche wurde vor allem zum intensiven Erfahrungsaustausch genutzt und bot Gelegenheit, sich über die angestrebte 2. Förderperiode des SPP auszutauschen. Neben den Berichten aus den Projekten gab es Fachvorträge zu Versuchstechnik und neuen Messmethoden – ebenfalls von Mitarbeitern unseres Instituts gehalten –, zur Problematik von Schubversuchen oder zu den Herausforderungen der Modellierung von Beton. Ergänzt wurden diese Programmpunkte durch fakultative Seminare, hochkarätige Abendvorträge und einen Ausblick über die Gestaltung des dritten Förderjahres.



Spaß beim Forschen – Sommerschule des SPP 1542 in Meisdorf/Harz.  
*Enjoy while researching – summer school of the SPP 1542 in Meisdorf/Harz.*  
 Photo: Ulrich van Stipriaan

# Coordinating Research – SPP 1542

What a few years ago began with an idea that has become today a widely acclaimed Priority Program (SPP) of the German Research Foundation (DFG). The SPP 1542 „Concrete light – future concrete structures using bionic, mathematical and engineering formfinding principles“ is currently the only SPP, which is aimed at solid construction engineers in foreground. Since the beginning of funding in summer of 2011, about 50 researchers in Germany are working in 17 sub-projects to find innovative solutions for the building of the future.

Our Institute is responsible – in addition to the research into two SPP projects – for the coordination and organization of the entire Priority Programme. We are the contact persons for the DFG, but also for all participating scientists. We are responsible for the coordination of SPP meetings and partly also for their organization. In 2013 we were involved in the tendering of the phase II of the SPP, which is to begin in the summer of 2014.

To enhance the perception of the program in public, we maintain an informative website and present the aim of the SPP 1542 in the technical press or at conferences. An evidence for the excellent research in the Priority Program is that even 2013 – on the initiative of the coordinator, Prof. Curbach, – a complete edition of the *Beton- und Stahlbetonbau* is published with technical papers on the subject of light construction with concrete.

Highlight for the SPP researchers was certainly the one-week summer school in Meisdorf/Harz

## **Titel | Title**

SPP 1542 – Koordination und zentrale Aufgaben |  
SPP 1542 – Coordination and Central Services

## **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

## **Zeitraum | Period**

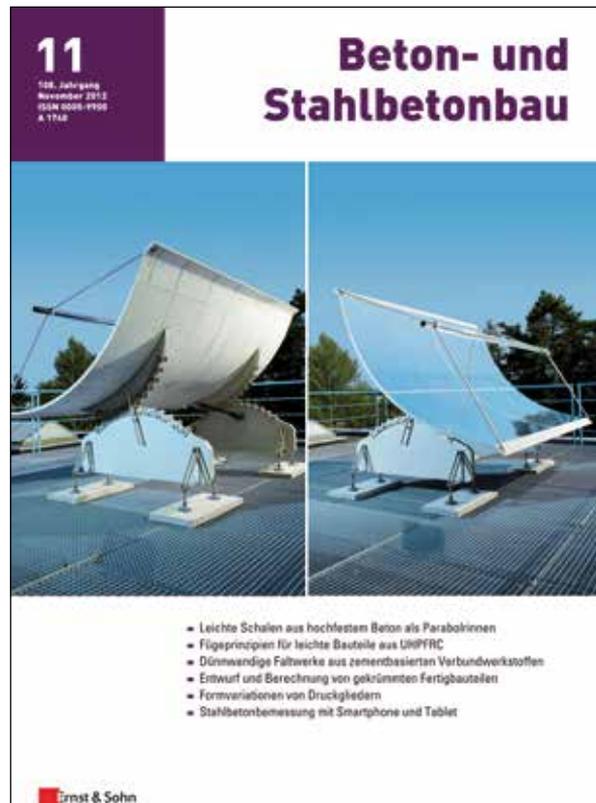
07.2011 – 06.2014

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Silke Scheerer, Ulrich van Stipriaan M.A.



Zeitschrift zum Leicht Bauen mit Beton.

*Light Construction with Concrete*  
in a leading German technical newspaper.

Source: wiley.com

in June 2013, which was also organized by us. The local castle hotel offered excellent meeting rooms in a unique atmosphere, which almost invited to exchange ideas and expertise together to discuss ideas for future projects. The week has been used for an intensive exchange of experience. In addition to the reports from the projects, there were lectures on experimental techniques and new methods of measurement – also held by staff of our institute –, on the problem of shear tests or about the challenges of modeling concrete. The program was supplemented by optional seminars, high-profile evening lectures and an outlook to the third year of funding.

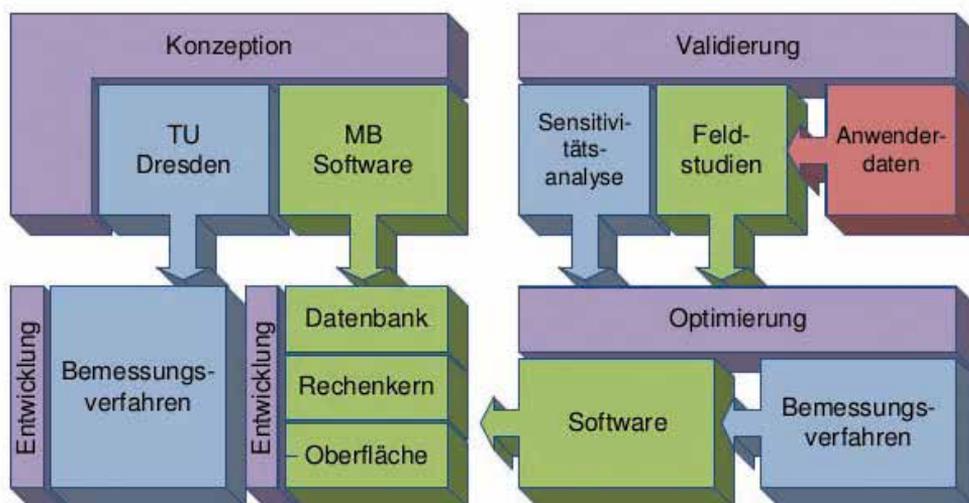
# Der Sprung in die Praxis

Textilbeton ist in aller Munde. Doch wann kann von einer erfolgreichen Überführung der im Sonderforschungsbereich 528 gewonnenen Erfahrungen in die Praxis die Rede sein? Ein großer Schritt auf dem Weg in die Ingenieurbüros Deutschlands soll mittels der Kooperation mit einem etablierten mittelständigen Softwareunternehmen gelingen. Die Firma mb AEC Software GmbH in Kaiserslautern bietet insbesondere modularisierte Bemessungssoftware an, die die Implementierung der Bemessungsmethoden für Textilbetonverstärkungen unterschiedlicher Art ermöglicht.

Im Rahmen des Projekts werden die umfangreichen Forschungsergebnisse des SFB 528 in Korrespondenz mit dem Industriepartner gesammelt und vermittelt. Dabei werden die bei der Verstärkung von Bauteilen maßgebendsten Lastszenarien, wie Momenten-, Querkraft-, Normalkraft und Torsionsbeanspruchung, berücksichtigt. Neben der Implementierung der Bemessungsmodelle müssen außerdem die Materialwerte der Textilien und Betone in die bei mb AEC vorhandenen Werkstoff- und Bauteildatenbanken eingepflegt werden, wobei das Institut für Massivbau beratende Funktion übernimmt. Anschließend können Schnittstellen zur bereits vorhandenen Benutzeroberfläche programmiert werden. Des Weiteren

sollen dem Anwender die theoretischen Grundlagen möglichst plausibel und anschaulich vermittelt werden, was die Erstellung eines entsprechend zugeschnittenen Hilfesystems erfordert. Mit diesem können die speziellen Eigenarten der Textilbetonbauweise und Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen veranschaulicht werden.

Sind die theoretischen Modelle in Algorithmen gefasst, kann die Validierungsphase beginnen. In dieser besteht die Aufgabe des Instituts darin, anfangs eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen, deren Ergebnis eine Bewertung der Abhängigkeiten zwischen den Ausgangsgrößen, meistens Grenzlaster, von den Eingangsgrößen zulässt. Dafür können die in den vergangenen Jahren gesammelten, umfangreichen Versuchsdaten verarbeitet werden. Die fertigen Softwaremodule werden für hundertfache Berechnungen verwendet, die sich durch eingeschickte Variation der Eingangsgrößen auszeichnen, woraufhin die Ausgangsgrößen statistisch ausgewertet werden und der Einfluss verschiedener Eingangsgrößen abgeleitet werden kann. Dadurch können das anzusetzende Sicherheitsniveau verbessert und letztendlich die Bemessungsverfahren in wirtschaftlicher und technologischer Hinsicht weiter optimiert werden, was letztendlich der Weiterentwicklung der Softwaremodule zu Gute kommt.



Teilprojektsynergien der Projektpartner.

*Sub-project synergies or the project partners. Graphic: Tino Kühn*

# Transfer into Practice

Textile reinforced concrete (TRC) has been much discussed in recent times. Now the question is, when can the knowledge from the Collaborative Research Centre 528 be assumed to have been successfully transferred into practice? The cooperation with an established, mid-market company should provide a large step forward on the path into the offices of engineers. The company mb AEC Software GmbH, headquartered in Kaiserslautern, develops modularized dimensioning software. A modularized approach offers the advantage that the software can be conveniently extended, i.e. a dimensioning algorithm for textile reinforcements can be implemented relatively easily.

The project aims at a knowledge transfer to assist the industrial partner in the programming of specific modules. Based on this, the number of retrofitting layers for several, decisive load cases, like loadings from moments, shear, normal or torsional forces should be possible to estimate, i.e. the dimensioning process is automatically



Daten für die Sensitivitätsanalyse werden in Experimenten gewonnen.

*Data for the sensitivity analysis are obtained in experiments.*

Photo: Michael Frenzel

calculated. Furthermore, an existing database for materials has to be extended and constantly kept updated with the crucial characteristics of TRC. In this context, the Institute of Concrete Structures takes on an advisory function. Conveying the basics of carrying mechanisms in a plausible and vivid manner to the user is another goal of the cooperation. A user-friendly help system should be tailored to the demands of civil engineers. It should demonstrate the particular properties and application possibilities as well as the boundaries.

After the theoretical models have been transferred into an algorithm, the phase of validation can begin. Our institute should carry out a sensitivity analysis which should help to determine the influence of changes in the input variables on the output variables. Using experimental data, which were collected over the period of SFB 528, the finished software module can be fed with hundreds of varying data sets. The goals of these simulations are the identification of the crucial input variables so that, subsequently, more attention can be paid to them in further investigations. This will benefit the more effective utilization of the materials and, thus, helps to optimize the dimensioning process with regard to economic and technological aspects.

## **Titel | Title**

Entwicklung einer Bemessungssoftware für Bauteilverstärkungen aus Textilbeton | *Development of a Design Software for Strengthening Structural Components with TRC*

## **Förderer | Funding**

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

## **Zeitraum | Period**

11.2012 – 04.2015

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Jörg Weselek

## **Partner | Project Partner**

mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern





LEHRE



## LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

Universitäten sind eine Gesamtheit aus Wissenschaftlern, Lehrenden und Lernenden. Die Lehre nimmt deshalb an unserem Institut einen besonders hohen Stellenwert ein. Mit dem Wissen möchten wir auch die Faszination und Innovationskraft unseres Fachgebietes übermitteln. Wir wollen die Begeisterung der Studenten wecken und sehen in ihnen die Botschafter, die dieses Wissen in die Praxis hinaustragen oder durch eine Tätigkeit in der Forschung weiterentwickeln. Besonders intensive Kontakte und kreativer Gedankenaustausch werden bei der Betreuung der Semester- und Abschlussarbeiten gepflegt, aber auch bei gemeinsamen Exkursionen.

Unsere MitarbeiterInnen betreuen überwiegend Lehrveranstaltungen der Diplom- und Diplom- aufbaustudiengänge Bauingenieurwesen und des Masterstudiengangs „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies (ACCESS)“. Überdies werden Lehrveranstaltungen

für die Bachelorstudiengänge Wasserwirtschaft und Lehramt Berufsbildende Schule sowie für den Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen angeboten.

Als Maßstab für die Qualität der Lehre sehen wir vor allem die Meinung der Studenten. Neben den obligatorischen Evaluationen suchen wir das Gespräch mit den Lernenden, um Anregungen und Kritik aus erster Hand zu erfahren. Besonders direkte Verbindungen pflegen wir zu den rund 50 studentischen Hilfskräften am Institut, die zumeist in die Forschungsarbeit eingebunden sind. Diese Tätigkeit erfordert sowohl fundiertes Wissen als auch Phantasie und Kreativität – ein ideales Aufgabenfeld für begabte und motivierte 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.

Bild oben:  
Brücken zum Anfassen – Studenten  
auf dem „Balkon zum Meer“ in Sassnitz.  
Foto: Robert Zobel

**Stahlbetonbau (BIW 2-05)**

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

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 Stabi-



4. Semester: Stahlbetonbau.  
Marco-Polo-Tower in Hamburg.  
Foto: Robert Zobel

litätsnachweise 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 Tragverhaltens 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 erken-

nen 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, Dr.-Ing. Kerstin Speck, Martin Just M.Sc., Dipl.-Ing. Matthias Quast

- 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 selbstständig 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.

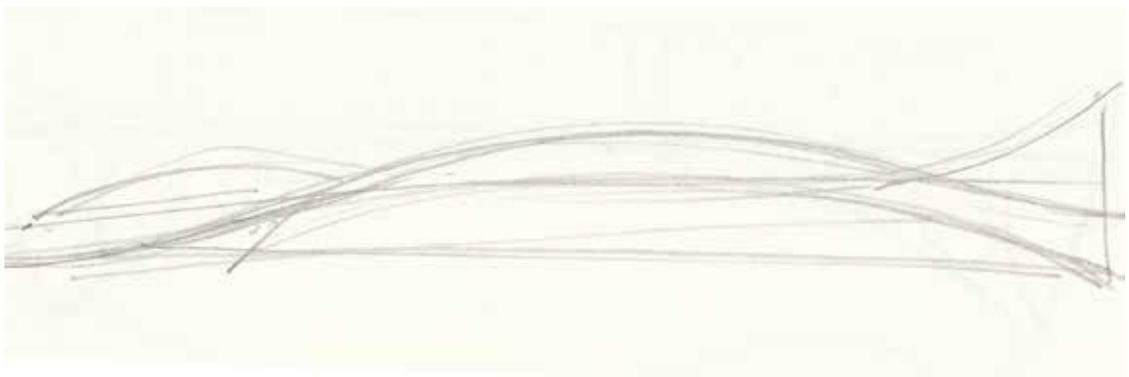
**Bauen im Bestand –  
Verstärken von Massivbauwerken (BIW 4-12)**

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 erforderlichen 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.



7. Semester: Entwurf von Massivbauwerken. Skizze: Manfred Curbach

## 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.



7. Semester: Brückenbau. Alsensundbrücke, fotografiert auf der Brückenbauexkursion 2013 nach Dänemark. Foto: Robert Zobel

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 Eigen Spannungszuständen 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 Stu-

dierenden 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

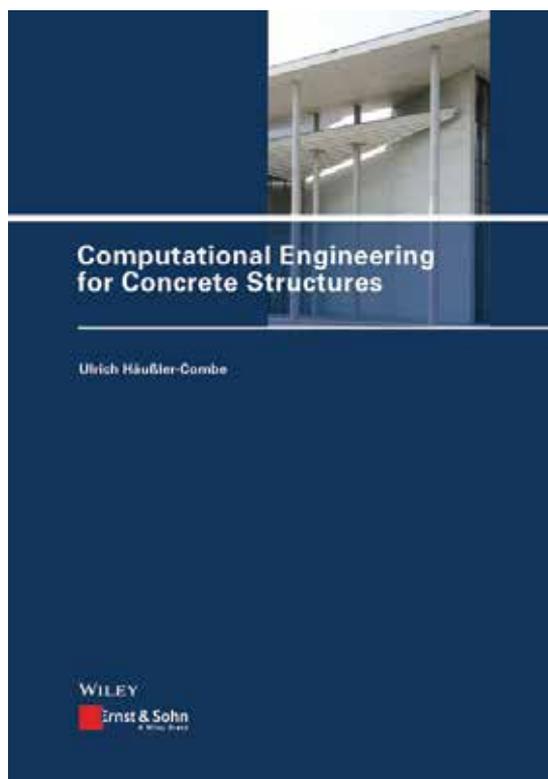
Vorlesungsreihe Baustoffrecycling, die vom Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau betreut wird (2 SWS Vorlesung), und die Vorlesungsreihe Instandhaltung von Bauwerken und Umweltverträglichkeit von Baustoffen, die vom Institut für Baustoffe betreut wird (1 SWS Vorlesung).

**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



7. Semester: Computational Engineering im Massivbau. Zum Thema erscheint demnächst ein Buch bei Ernst & Sohn.

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 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 textildbewehrter 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.

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

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

2. Semester: 2 SWS Vorlesung  
und 1 SWS Übung

Inhalte des Moduls sind die speziellen numerischen Verfahren, die für die Berechnung von Stahlbetontragwerken geeignet sind. Dies umfasst die Modellierung von Rissbildung und Verbund, spezielle nichtlineare Rechenverfahren, das Tragverhalten von gerissenen Stahlbetonstäben, numerische Verfahren für Stabwerkmodelle, mehraxiale Stoffgesetze für Beton und finite Elemente für Stahlbetonstabtragwerke, insbesondere Scheiben und Platten.

Nach Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die speziellen Mechanismen des Verhaltens von Stahlbetontragwerken und können entsprechende numerische Rechenverfahren anwenden.



Cable stayed bridges (ACCESS). Strelasundquerung mit der Ziegelgrabenbrücke. Foto: Robert Schuler

**Cable stayed bridges (ACCESS, BIWE-11)**

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

2. Semester: 2 SWS Vorlesung  
und 1 SWS Übung

Inhalte des Moduls sind die Einwirkungen auf Schrägseilbrücken, die Dimensionierung, Dynamik, Herstellung und Installation von Tragseilen, die Berechnungen von Schrägseilbrücken aus Stahlbeton und Stahl unter Einbeziehung der nichtlinearen Theorie und der aerodynamischen Stabilität der Seile, Versteifungsträger und Py-lontürme, die Gestaltung und der Bauablauf von Schrägseilbrücken, Ausführungsbeispiele von Beton-, Stahlverbund- und Hybridschrägseilbrücken, Entwurf und Dimensionierung von Schräg-seilbrücken gemäß Eurocode, Lastannahmen im Brückenbau, Versteifungsträger- und Fahrbahn-konstruktionen in Stahlbeton-, Stahl- und Stahl-verbundbauweise und ausgewählte Konstruktionsdetails von Brücken.

Ziel dieses Moduls ist die Beherrschung von Planungs-, Entwurfs-, Berechnungs- und Kon-struktionsgrundlagen von Schrägseilbrücken. Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind

die Studierenden in der Lage, Grundlagen des Entwurfes, der Konstruktion und Berechnung von Schrägseilbrücken anzuwenden. Außerdem kennen sie die Fertigungs- und Montageabläufe bei der Ausführung dieser Brücken.

Dieses Modul wird angeboten in Zusammenar-beit mit Prof. Holger Svensson und dem Lehr-stuhl für Stahlbau.

**Grundlagen des Stahlbetonbaus (BWA 14)**

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

1 Semester: 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Das Modul bietet eine Einführung in die Stahlbe-tonbauweise. Es werden die speziellen Baustoff-eigenschaften sowie das Zusammenwirken der beiden Baustoffe Stahl und Beton im Verbund erläutert und die Grundlagen der Schnittgrößener-mittlung, Bemessung und konstruktiven Durch-bildung der wichtigsten Bauteile im Massivbau vermittelt. Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, einfache Stahlbetonbau-teile selbständig zu konstruieren und zu bemessen. Sie kennen Problemstellungen und Lösungs-ansätze für einige spezielle Anwendungen.

# PROJEKTARBEITEN | PROJECT WORKS

## WINTERSEMESTER 12/13 | WINTER TERM 12/13

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 Studentinnen und Studenten zeigen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können. Die während ihres Studiums erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten

sind möglichst selbstständig, einzeln oder im Team auf eine konkrete Aufgabenstellung anzuwenden, die Arbeitsschritte nachvollziehbar zu dokumentieren sowie die Ergebnisse im Rahmen eines Kolloquiums zu präsentieren und zur Diskussion zu stellen.

Mit der gleichen Zielstellung und einem ähnlichen Arbeitsumfang fertigen die Studenten des englischsprachigen Masterstudiengangs „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies – ACCESS“ im 3. Semester eine Project Work an.

*Angela Schmidt*

### **Form follows force – Optimierung der Geometrie von Stützen** (Projektarbeit)

In der Projektarbeit wurden Untersuchungen zu einer effizienteren Formgestaltung von zentrisch gedrückten Stützen hinsichtlich ihres Stabilitätsverhaltens durchgeführt. Dazu wurden bereits in der Literatur existierende Ergebnisse analysiert, mithilfe von Vergleichsrechnungen überprüft und durch eigene Erkenntnisse, Untersuchungen und Berechnungen ergänzt.

Ausgehend von der Knickgleichung wurde mit der Methode der Variationsrechnung eine optimierte Form in Stützenlängsrichtung ermittelt. Durch die Kombination mit verschiedenen Querschnitten mit unterschiedlich großen Trägheitsmomenten erhält man die mathematisch optimierte Geo-

metrie. Die maximale Knicklaststeigerung einer dreieckigen Stütze, bezogen auf eine kreisförmige Stütze gleichen Volumens, würde so 61 % betragen.

In einem weiteren Schritt wurde das Material mit einbezogen, wodurch infolge der zu übertragenden Spannungen die Einführung eines Mindestquerschnitts notwendig wurde. Gegenüber dem zuvor betrachteten „materialfreien“ Ansatz hatte dies eine Verminderung der möglichen Traglaststeigerung zur Folge.

Außerdem wurde herausgefunden, dass sich die optimierten Stützenformen der Euler-Fälle 1, 2 und 4 innerhalb der Anwendungsgrenzen voneinander ableiten lassen. Abschließend wurden erste Ansätze und Überlegungen zur Berücksichtigung einer ungewollten Exzentrizität und zu Bewehrungsmöglichkeiten dargelegt.



Hochtemperaturversuche an Dehnkörpern aus Textilbeton.  
Foto: Carolin Würgau

*Jennifer Krause*  
**Strahlungsheizung aus  
Textilbeton**  
(Projektarbeit)

Der Verbundwerkstoff Textilbeton ermöglicht aufgrund seiner Leistungsfähigkeit ein breites Anwendungsspektrum. Neben der Anwendung in Verstärkung und Neubau ist dabei auch ein Einsatz als Strahlungsheizung denkbar. Dabei wird die gute elektrische Leitfähigkeit von Carbon genutzt, sodass die textile Bewehrung sowohl statische als auch heizende Funktionen übernimmt. Im Rahmen der Projektarbeit wurden dazu erste Untersuchungen

*Carolin Würgau*  
**Bauwerkssanierung mit Textilbeton  
hinsichtlich des Brandschutzes**  
(Projektarbeit)

Textilien aus Carbon sind ein neuartiges Bewehrungsmaterial, welches zum einen sehr hohe Zugkräfte aufnehmen kann und zum anderen nicht durch eine hohe Mindestbetonüberdeckung geschützt werden muss. Im Rahmen der Projektarbeit wurde Textilbeton als Verstärkungsmaterial von bestehenden Stahlbetondecken untersucht. Dazu wurden im Vorfeld durchgeführte Dehnkörperversuche hinsichtlich ihres Hochtemperaturverhaltens ausgewertet und ein Materialmodell entwickelt. Dieses wurde in die Software ATENA Science implementiert. Mit Hilfe dieses Modells konnten zunächst die bereits durchgeführten Dehnkörperversuche nachgebildet und anschließend grundlegende Berechnungen an Stahlbetonplatten mit textiler Verstärkungsschicht durchgeführt werden. Anhand der Berechnungen konnte gezeigt werden, dass Textilbeton sowohl den Brandschutz als auch die Tragfähigkeit verbessert. Einerseits werden Zugkräfte vom Stahl in das Textil übertragen, andererseits schützt die Textilbetonschicht die Altbetonkonstruktion, so dass der Stahl auch nach 90-minütiger Beflammung seine kritische Temperatur von 500 °C nicht erreicht.

hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit der Carbonfasern in Verbindung mit einer Feinbetonmatrix durchgeführt. Dazu wurden kleinformatige Probekörper hergestellt, welche ein verschaltetes Textil enthalten. Bei den im Anschluss durchgeführten Versuchen stand die Temperaturentwicklung in Gelege und Beton im Vordergrund, welche bei Anlegen einer Spannung an das Textil auftritt. Dabei wurden verschiedene Einflussfaktoren, wie zum Beispiel Textillage, Feuchtegehalt des Feinbetons und der Einfluss der in das Textil eingebrachten Leistung, untersucht. Für Nutzung einer dielektrischen Strahlungsheizung sind darüber hinaus auch einige Sicherheitsstandards einzuhalten. Aus diesem Grund wurden vorhandene Kriechströme erfasst, wobei Einflüsse der Textillage und der Textilbeschichtung sowie des Feuchtegehaltes des Feinbetons untersucht wurden. Die gewonnenen Anhaltspunkte zur Entwicklung einer geeigneten Feinbetonmatrix bzw. zu möglichen Problemen bei der Herstellung und Nutzung einer Strahlungsheizung werden zur Weiterentwicklung dieser verwendet.

*Julia Rose*  
**Verstärkungskonzepte für die Umnutzung  
einer Dachgeschossdecke eines Hochhauses**  
(Projektarbeit)

Die Dachgeschossdecke eines 21 Stockwerke umfassenden Hochhauses wird im Zusammenhang mit einer Aufstockung des Gebäudes zu einer normalen Geschossdecke umgenutzt. Bei

der Bestandsaufnahme stellte sich die Lage der Stahlbewehrung im Stützbereich der Decke als kritisch heraus. Die obere Bewehrungslage wurde zur Erbauungszeit mit einer zu hohen Betondeckung eingebaut. Im Fokus der Arbeit stehen deshalb drei Varianten der Tragwerksverstärkung in der Zugzone. Es wird die herkömmliche Querschnittsergänzung mit bewehrtem Aufbeton mit zwei neueren Verfahren verglichen. Dabei werden Faserverbundwerkstoffe in Form von eingeschlitzten CFK-Lamellen und Textilien in Feinbeton betrachtet. Die Funktionsweisen der unterschiedlichen Techniken werden erklärt, die Bemessung durchgeführt und die Methoden sowohl nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien als auch nach Aspekten der Anwendbarkeit mit Berücksichtigung der Randbedingungen verglichen. Für das Objekt scheidet auf Grund der enormen Erhöhung des Eigengewichts die Verstärkungslösung mit Aufbeton aus, obwohl diese die kostengünstigste ist. Somit kommen nur die Verstärkungskonzepte CFK-Lamellen und Textilbeton in Frage, wobei die Wirtschaftlichkeit entscheidend war und die CFK-Lamellen im konkreten Fall zum Einsatz kommen. Ein Vergleich, der auch auf andere Objekte übertragbar ist, lässt sich jedoch nicht aufstellen. Die Wahl eines Verstärkungssystems erfolgt bei jedem Anwendungsfall individuell und mit Kenntnis der Randbedingungen.

*Kai Schneider*

### **Fertigteillösung für modulare Schwimmkörper aus Textilbeton** (Projektarbeit)

Ziel war es, einen Schwimmkörper aus textildbewehrtem Beton so zu konstruieren, dass ein funktionsfähiges System entsteht, was die Aspekte der Dauerhaftigkeit, der modularen Erweiterbarkeit sowie der Benutzerfreundlichkeit erfüllt. Der entwickelte Schwimmkörper kann für Marinas und leichte Hausboote verwendet werden. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit lag auf der Bemessung der Tragkonstruktion und auf der produktionstechnischen Umsetzung bei der Herstellung des Textilbetonkörpers. Insbesondere wird auf die verschiedenen Lastfälle und ihre Auswirkungen auf die Tragkonstruktion eingegangen und auf die Frage, wie man mit ihnen umgehen muss bzw. sie ggf. reduzieren kann. Bei den betrachteten Herstellungsprozessen wird näher auf eine neuartige Möglichkeit des Produktionsprozesses eingegangen, bei dem vorgefertigte



Umnutzung der Dachgeschossdecke bei der Aufstockung des Hochhauses.

Foto: Andreas Praefcke

[CC-BY-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)]

Fertigteile nachträglich zu einem kompletten Körper zusammengefügt werden und somit ein geschlossener Körper entsteht. Des Weiteren wird der Zulassungsvorgang für deutsche Binnengewässer beleuchtet, was zwingend nötig ist, um einen Schwimmkörper (sei er aus Textilbeton oder nicht) zu Wasser lassen zu können.

*Kevin Wahl*

### **Entwurf und Bemessung einer Radfahrer- und Fußgängerbrücke über die Ems nahe der Stadt Rheine** (Projektarbeit)

Das Areal einer ehemaligen Kaserne in Rheine soll zu einem eigenständigen Stadtquartier umgenutzt werden. Dafür wurde eine Brücke mit Zu- und Abgängen entworfen, die dieses Stadtquartier, die bestehenden Wege und das noch unerschlossene Ostufer der Ems verbindet und damit die Naturräume der Emsaue freizeit- und erholungstechnisch erschließt, ohne dass lange Umwege in Kauf genommen werden müssen.



Radfahrer- und Fußgängerbrücke über die Ems. Grafik: Kevin Wahl

Mit ihrem ungewöhnlichen Verlauf und ihrer asymmetrischen Optik weckt die Brücke sofort Interesse und lädt zur Erkundung des Bauwerks ein. Die dynamische und weit geschwungene Linienführung der Brücke bildet einerseits die logischen Verbindungslinien zwischen den angestrebten Zielen ab, andererseits erfüllt sie die hohen ästhetischen Anforderungen, die an ein Bauwerk in einer so sensiblen Naturlandschaft gestellt werden. Sie übernimmt die Funktion eines zentralen Knotenpunktes, der die drei Hauptverkehrsadern der Emsaue über der Ems bündelt. Durch die Idee, gleichzeitig drei Wasserkörper zu überqueren (Ems, alter Emsarm, Hemelter Bach) und das Führen der geplanten Wege entlang der bestehenden Gewässer, wird das Element Wasser in den Vordergrund gerückt und die Nutzung der Brücke zum Erlebnis. Trotz ihrer baulichen Besonderheiten wirkt die Brücke schlicht und leicht und fügt sich harmonisch in die umgebende ruhige Naturlandschaft ein. Aufgrund ihrer Originalität und ihrer vielfältigen Funktion könnte diese neue Brücke zu einem Identifikationsobjekt für die Einwohner von Rheine werden.

*Philipp Kutschbach*

**Entwurf einer Einhausung eines dreiseitig umschlossenen Hofes**  
(Projektarbeit)

Das Schloss Dittersbach bei Dresden wurde Mitte des 16. Jahrhunderts im Renaissance-Stil erbaut. Im Jahre 2004 erwarb ein privater Investor das Schloss und die Nebengebäude von der Stadt Dresden. Im Rahmen der Investitionsarbeiten soll der dreiseitig umschlossene Hof für

Wohnzwecke mit einer transparenten Konstruktion eingehaust werden.

Für diese Baumaßnahme wurden drei Entwurfsvarianten in Stahl-Glas-Bauweise entwickelt. Die Ausführungen als Flach-, Tonnen- oder Pultdach wurden konstruktiv durchgebildet und bemessen. Schwerpunkt der Arbeit bildet die Berücksichtigung der bauphysikalischen Anforderungen und die konstruktive Durchbildung des favorisierten Flachdaches. Dabei wurden vor allem die Auswirkungen von sommerlichen Wärmeschutzmaßnahmen untersucht, um Behaglichkeitstemperaturen zu erreichen. Es zeigte sich zudem, dass der Beitrag von Wintergärten zur Energieeinsparung häufig überschätzt wird bzw. Neubauten diesbezüglich mehr Möglichkeiten bieten. Die vorhandene Bausubstanz hat der Projektierung der Einhausung Grenzen gesetzt. Als Ergebnis ist dennoch ein Entwurf entstanden, der ästhetischen und technischen Anforderungen gleichermaßen genügt.

*Stefan Rost*

**Entwurf einer Brücke**  
(Projektarbeit)

In der angefertigten Projektarbeit sollte ein alternativer Entwurf für eine 2009 fertiggestellte Brücke im Zuge der Bundesautobahn 38 gefunden und vorbemessen werden. Ein zu überspannendes Industriegebiet sowie dessen Zubringerstraße und ein Fluss stellten dabei die Randbedingungen dar. Es wurde eine Variantenuntersuchung durchgeführt. Die Vorzugsvariante wurde eine einhäufige Schrägkabelbrücke mit

A-Pylon und Spannweiten von 200 m im Nebefeld und 299,85 m im Hauptfeld. Der Längsträger wurde als Verbundträger aus Schweißprofilen mit Betondruckgurt entworfen. Für die Tragkabel kamen Parallellitzenkabel zum Einsatz. Nach einer intensiven Einarbeitung in das Programm Sofistik und dessen Funktions- und Bedienweise konnte der favorisierte Entwurf modelliert und mit den Lasten nach DIN FB 101 belastet werden. Mit den aus der FE-Berechnung erhaltenen Schnittkräften konnte die überschlägliche Bemessung von Pylon, Längsträger und der Schrägkabel erfolgen. Konstruktive Details, wie die Verankerung der Tragkabel an Pylon und Längsträger, wurden recherchiert und die prinzipiellen Varianten auf das untersuchte Tragwerk angepasst. Ferner wurde sich mit der möglichen Herstellung und Montage der Bauteile beschäftigt. Abschließend konnte ein Entwurf gefunden werden, der die geforderten Randbedingungen einhält und optisch ansprechend gestaltet ist.

*Tobias Stange*

### **Entwurf eines Wohnturms in Dresden** (Projektarbeit)

Die Sanierung und Umnutzung bestehender Gebäude gewinnt seit einigen Jahren immer mehr an Bedeutung, da so in vielen Fällen ressourcensparender gebaut werden kann als bei Abriss von Bestandsgebäuden und anschließendem Neubau. In der Projektarbeit wurde ein neu zu errichtender Wohnturm mit Tiefgarage bemes-

sen und anschließend auf alternative, flexiblere Tragwerkslösungen hin untersucht. So wird eine eventuelle spätere Umnutzung des Turmes, wie zum Beispiel in ein Bürogebäude, wesentlich erleichtert. Ausgehend von einem gewählten Regelgeschoss wurden die Varianten Kalksandsteinwände mit Ortbetondecke, Flachdecke mit Einzelstützen und eine Spannbetonvariante betrachtet. Diese wurden hinsichtlich ökonomischer Aspekte verglichen. Weiterhin waren das Tragwerkskonzept der Tiefgarage, die Wind- und Schneelastermittlung sowie die Berechnung von Imperfektionen und Steifigkeiten Bestandteile der Arbeit. Abschließend wurde auf die gegebenen Bodenverhältnisse eingegangen und daraus ein Gründungskonzept entworfen und vorbemessen.

*Tobias Walther*

### **Tragfähigkeit von Textilbetonverstärkungen** (Projektarbeit)

An der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck wurden im Herbst 2012 im Rahmen des FFG-Forschungsprojektes „Instandsetzen und Verstärken von Bestandsbrücken mittels direkt befahrbarer, textilbewehrten Aufbetone“ zehn großformatige Bauteilversuche durchgeführt. Für die Anwendung als befahrbarer Aufbeton musste die Betonrezeptur des bisher bekannten und im Hochbau angewandten Textilbetons geändert werden. Weiterhin fanden die im Brückenbau zwingend zu beachtenden dynamischen Belastungen Beachtung. In den Versuchen konnte erfolgreich gezeigt

werden, dass mit veränderter Betonrezeptur des Textilbetons die Tragfähigkeiten der verstärkten Versuchsplatten gesteigert werden konnten. Die erzielten Laststeigerungen betragen bis zu 23 %. Dynamische Belastungen beeinflussten die Tragfähigkeiten der verstärkten Versuchsplatten nur gering. Mit Hilfe bekannter einfacher mechanischer Rechenmodelle konnten die statisch im Versuch erreichten Tragfähigkeiten mit einer zufriedenstellenden Übereinstimmung bestimmt werden. Weiterhin wurde die Durchbiegung der Bauteile mit Hilfe von leicht modifizierten Formeln des üb-



Versuchsstand für Biegeversuche in Innsbruck.

Foto: Tobias Walther

lichen Stahlbetonbaus erfolgreich nachgerechnet. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Arbeit somit einen Beitrag zum Erhalt und zur Ertüchtigung von Bestandsbrücken leistete. Weiterführende Untersuchungen sind zum Beispiel im Bereich der Frost- und Tausalzbeständigkeit des Textilbetons sinnvoll.

Max Stockmann

### Holz-Beton-Verbunddecken

(Projektarbeit)

Die Anwendung von Holz-Beton-Verbunddecken im Hochbau bringt im Vergleich zu herkömmlichen Holz- und Massivdecken viele Fortschritte in bauphysikalischer, statischer und ökologischer Hinsicht mit sich. Die Methode vereint die Stärken beider Bauweisen und erhöht die Ausnutzung des Tragwerks, ohne dabei den Planer in bauphysikalischer Hinsicht einzuschränken. Aus diesem Grund ist die mittlerweile schon fast 100 Jahre existierende Bauweise zur Sanierung von Bestandsdecken weit verbreitet. Aufgrund der genannten Vorteile und der sich immer weiter vereinfachenden Ausführungsmöglichkeiten steigt aber auch das Interesse am Einsatz von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen für Neubauten. Insbesondere im Fertigteilbau sind sehr wirtschaftliche Konstruktionen umsetzbar.

Da es zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine spezielle Norm für die Planung gibt, ist der Planer auf die auf dem Markt vorhandenen Produkte mit bauaufsichtlicher Zulassung angewiesen. Anhand dieser Zulassungen, die Hinweise und Richtlinien zur Planung geben, werden dann – individuell auf das Verbindungsmittel abgestimmt – die Deckenkonstruktionen geplant. Im Zulassungstext wird für bestimmte Aspekte auf die unterschiedlichsten Normen verwiesen. Die im Moment vorhandenen Zulassungen ähneln sich in großen Teilen sehr, weshalb in dieser Arbeit die Herangehensweise bei der Planung verallgemeinert und ein vollständiger Ablauf der Planung einer Holz-Beton-Verbunddecke unter Einbeziehung bestehender Normen und bauaufsichtlicher Zulassungen gegeben wurde.

Abraham Brew Sam

### Design and Planning of a Pedestrian Bridge Made of TRC

(Project Work)

*TRC (Textile reinforced concrete) is a material that seems to reduce some of the problems which occur with traditional steel RC structures especially in the field of planar and shell elements. The light weight of the textile reinforcement ( $1.8 \text{ g/cm}^3$ ), the high tensile strength of the textile mesh ( $1000\text{-}3500 \text{ N/mm}^2$ ), the high compressive strength of the concrete matrix ( $> 70 \text{ N/mm}^2$ ), the high corrosion resistance of the matrix, the high flexural, bending and torsional strength, etc. offer endless possibilities for the strengthening or for construction of light and durable structures.*

*With these properties in mind, two existing buildings set at a distance of 16 m are to be linked by means of a pedestrian bridge. The chosen structure is a TRC enclosing shell with an organic shape and openings along the longitudinal sides. Thus full use can be made of the advantages of TRC while the pedestrians' comfort can still be guaranteed. The bridge was modelled, analysed and optimised with the help of Dlubal-RFEM software. The conclusion and output was that: indeed, the thin shell bridge structure can be designed with TRC. However, the structure's stability can be optimised by adding steel tie bars which are incorporated into a system of transverse and longitudinal ribs. Apart from this, deformations can be reduced by locking the ends*



Sanierung der Villa Kalkhütte am Lindauer Yachthafen mit einer Holz-Beton-Verbunddecke. Foto: Elascor GmbH

of the bridge in a concrete frame. The main shell had a maximum height of 4 m, a maximum width of 3.06 m and a thickness of 0.03 m. The radius of the ribs was 0.1 m. Furthermore, the shell consisted of 6 longitudinal ribs and, on average, the mesh was comprised of three layers.

Marwan Youssef

### **Design of the „Arena da Amazônia“ in Manaus**

(Project Work)

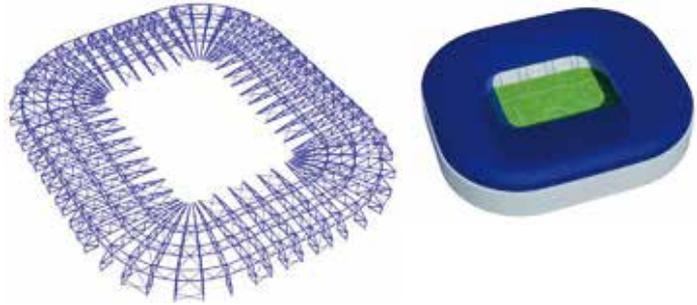
The following project is concerned with the design of a football stadium that is supposed to host 46,000 spectators during the world cup finals in Brazil. First, it is vital to examine the limiting conditions of the construction site with regard to the tribunes' profile as well as the environmental factors which have to be taken into consideration in the design. Three different preliminary design structures are sketched and investigated concerning the advantages and disadvantages. The three studied structures are the cantilever beam structure, spoke wheel structure and upper lash beam structure. Taking into account its structural and economical value, the cantilever beam structure is the most efficient design. Accordingly, the final calculation process was based on this structure. Then detailed calculations were carried out for different materials and profiles to determine the most effective result. The aim is to obtain a stable and safe structure with as little material as possible. Apart from this, suitable draining conditions were developed and the appropriate steel connections for a strong and steady structure were selected.

Md. Nafees Imtiaz

### **Conceptual Design of a Highway Bridge**

(Project Work)

In this project work, a valley of 500 m length and 115 m depth shall be spanned by a bridge. Three preliminary bridge designs have been proposed: a box girder bridge, an arch bridge and a cable-stayed bridge. These three alternatives are explained and design considerations are discussed. Based on a comparison of the three designs, the arch bridge has been chosen for the final design. This choice was based on its aesthetic value, foundation advantage and the large span. In the final design part of this project, only one arch



Cantilever beam structure (left) of a football stadium (right).  
Graphic: Marwan Youssef

analysis, stress check for arch rib and calculation of prestressing tendons for one beam are carried out. The load transfer in an arch and its structural system are also discussed. At the end, the construction method for the arch bridge is explained. The arch will be constructed in segments with the help of stay cables. The superstructure will be constructed through the span-by-span method.

Neha Pulipati

### **Design of a School and Training Centre in Uganda**

(Project Work)

The aim of this project work is to plan and design a technical vocational education and training school in Kayunga district, Uganda. The school is to be constructed in an area of ten acres. The scope of the project work includes planning, design of the main components of the school buildings and that of the connections which are deemed necessary. Three proposals were made, out of which the best optimized design was chosen. The simple planning, structural design of the chosen design and its aesthetic appeal makes it a worthy choice. All the dimensions of the school building are considered according to the area standards and most of the materials used for construction are locally available. The project work also includes the detailed design of the reinforced concrete members and the design and analysis of timber roof truss is done using STAAD. Pro software. The reinforced concrete members are cast in situ reinforced concrete because in a country like Uganda – which has a lot of man power – many jobs for unskilled and skilled labour will be created for the construction of the school without compromising too much on the robustness of the structure since a fairly simple structure is conceptualized.

Nima Foughani

**Strength and Bond Behaviour of Textile Reinforcement Embedded in Lightweight Cementitious Matrices**

(Project Work)

Recently, bond and strength behaviour of continuous carbon fibers was under certain attention of many researchers. Carbon fibers have been frequently used as a reinforcing material for new components and mostly as strengthening material due to its considerable strength, durability and slenderness. While the qualification of textile reinforced concrete has been proven for lightweight bearing elements, it is possible to create still lighter structures by combining fibres with lightweight concrete or mortar. For this purpose five different lightweight concrete mixtures were developed and their mechanical properties such as compressive, flexural and adhesive strength were determined. It is undeniable that the type, shape, weight and grain size of the aggregate and the appropriate selection of binder materials play the most important role for achieving a good weight/strength ratio. Following the comparison of the results, two concrete mixtures with a dry density of about 1.3 kg/dm<sup>3</sup> and 1.7 kg/dm<sup>3</sup> were chosen. In the next step carbon rovings with a fineness of 3300 tex were placed into these mixtures to investigate the strength and bond behaviour. Ten test specimens were manufactured per mixture to determine the stress-strain and the bond-slip relation of the textile lightweight concrete. The tests showed that – in comparison with regular textile reinforced concrete – the same tensile and about 30 % lower maximum bond strength is reached. Considering the weight reduction, the results show that textile reinforced lightweight concrete promises to be a very powerful composite material.

Sergey Pavlenko

**Design of a Self-supporting Hall for the Vehicle Test Center of the Institute of Automotive Technology Dresden**

(Project Work)

Within the project work the process of designing a self-supporting hall for the vehicle test center of the Institute of Automotive Technology

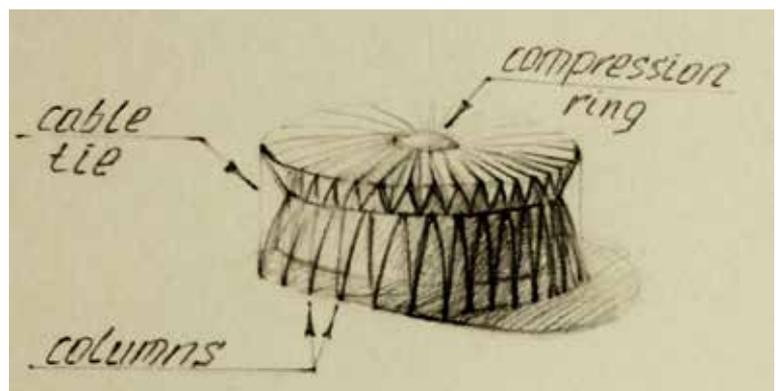
Dresden was studied. An overview of existing analogous structural solutions was done in order to understand the state of the art. Subsequently, based on the formulated requirements and local conditions, the three most appropriate options for a pre-design and a detailed comparison with brief estimation of the required material were determined. Between shell, arch, and space truss structure, the shell dome was selected for the further design process. Since a precast concrete solution is currently the most advanced and appropriate one, it was chosen for the final design. The difficulty of forming a double curved surface was solved with a unique approach: flat trapezoidal plates with stepped longitudinal cross-section are to be assembled on site thus providing an efficient and economically reasonable solution. The analysis of the dome structure with help of FEM computational software (RFEM) showed that even for relatively shallow structures with a long span and a low rise, the resulting diagrams of the internal force distribution fulfill the shell theory. The calculations confirmed that the compressed state of the envelope varied insignificantly for the different load cases and states of construction. Moreover, all other load-bearing parts (columns, a tension ring, a compression ring and a skylight) and the process of construction were described.

Siavash Mahjourian Namari

**Finite Element Analysis of a Textile Reinforced Balcony Slab**

(Project Work)

Balconies are characteristic elements of multi-storey buildings in urban areas. As part of a research project, a textile reinforced concrete slab was developed, tested and analyzed at TU Dresden. However, the tested slab had a far higher load



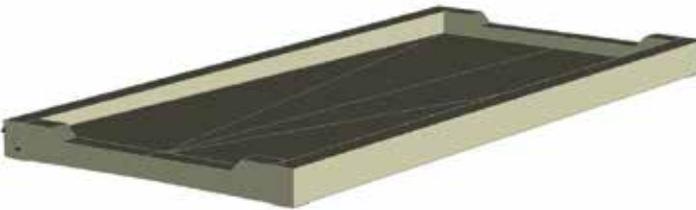
Self-supporting hall for a vehicle test center. Drawing: Sergey Pavlenko



Tek Prasad Dhungana  
**Design of an Observation Tower  
 on Mount Oybin**  
 (Project Work)

An observation tower is a structure that can provide an all-round view. Today the main purpose of this type of tower is to increase touristic activity and to enhance the aesthetic beauty of the local area.

The site is on the top of mount Oybin, surrounded by hard rock with a vertical cliff. An extraordinary design taking the foundation base near to the vertical cliff has been considered. An observation deck, which is designed like a cantilever structure, shall be put in the free space over the cliff. For the structural stability the main tower was designed as a framed structure and cables were used as main load transfer units.



Top: Balcony slab in the test.  
 Photo: Michael Frenzel  
 Bottom: FE model of the balcony slab.  
 Graphic: Siavash Mahjourian Namari

bearing capacity than required. Therefore, this project work is concerned with the numerical simulation of the tested textile reinforced balcony slab to investigate its bearing behaviour and to determine further possibilities to optimize the structure.

The numerical program ATENA (developed by the Cervenka Consulting s.r.o.) was adopted to evaluate the textile reinforced balcony slab. To analyse the load bearing behaviour of the balcony slab, a full, a half and a quarter of the slab were created and modeled. In consideration of the advantages and disadvantages of each model, the half slab model was chosen because its results were almost like the ones of the full model and it needed less running time.

The initial numerical results (e.g. load-deflection relation) based on material parameters, which were determined by testing small concrete specimens, were quite far from the experiment's results. After calibrating the material model for concrete, the general load bearing behaviour of the finite element model showed good agreement with the results of the experimentally tested slab. After studying the influence of different material and geometry parameters, it could be shown that a reduced area of textile reinforcement and slab's height lead to an optimized structure which still complies with all the requirements to the ultimate and serviceability limit state.

Initially, live load, wind load, snow load and dead loads are analytically calculated and combined effects analyzed by considering various possible load combinations. The steel cross sections were chosen based on worst case scenarios for the different load combinations to ensure the safety of the structure. Again a three dimensional model is prepared by using RSTAB software for better structural analysis. The whole project is designed as a steel tower with a cantilever, which is supported by three main cables and six wind guy cables.

Because no heavy loaded vehicles can be used at the construction site, the tower is assembled from small prefabricated elements on site.

Cosmin Balaj  
**Numerical Studies on Textile Reinforced  
 Concrete Sandwich Elements**  
 (Project Work)

The results are highly dependent on the size of the element and the density of the foam. The model will not fail in tension due to the fiber reinforced concrete, but in shearing of the foam. The parameter study has shown that the plastic-foam and brittle-concrete combination model proved to be closest to the experimental results.

*The investigations of the constitutive models have shown that all the models used are correct in order to determine the behaviour of the overall element, in which all these models are used. The plasticity models for concrete are irrelevant due to the cracking of concrete before the failure of the foam. Instead the brittle concrete showed, as stated before, reasonable results. The user defined models are close to the plastic models and they show sensitivity due to big changes in smaller input increases. The prescribed displacement provided a good overview to the way the element deforms, as well as for the contact element through which the force was applied. The contact did not affect the integrity of the concrete. The subject of the project is strictly related to the explicit Analysis, further differences in results may occur due to the use of the implicit Analysis. The crushable foam and brittle concrete is probably not such a good model, due to the behaviour of foam that begins to fail at the supports, but does not lead the strains to the center of the element, thus showing more of a delaminating between foam and concrete layer-type of behaviour.*

Yadav Silwal

### **Dynamic Calculation of a Three-Span Railway Bridge Exposed to Highspeed Trains.**

*(Project Work)*

*A straight three-span railway bridge with one rail and a total length of 100 m is the topic of this work. It is made of reinforced concrete prestressed with post-tension. Only the bridge's superstructure has been considered and constant cross section dimensions have been assumed. An appropriate cross section design, the reinforcement and the prestressing were developed. Furthermore, a parameter study about the effects of different train speeds was performed for this particular bridge. A third generation ICE train with a speed of about 300 km/h was considered in this project. The railcar axles act as a periodic loading with frequencies near the resonance frequencies of the bridge structure. These lead to internal bridge forces considerably above those caused by train loading which can be considered quasistatic. The data model was developed on Python programming which includes pre-design of reinforcement, prestressing force and moving load appropriate for high speed trains. The program ConFem was used for the calculations. The design of the cross section parameter was carried out with the help of dynamic analysis and results.*

Kiranmayee Vadday

### **Long-term Behaviour of Textile Reinforced Concrete**

*(Project Work)*

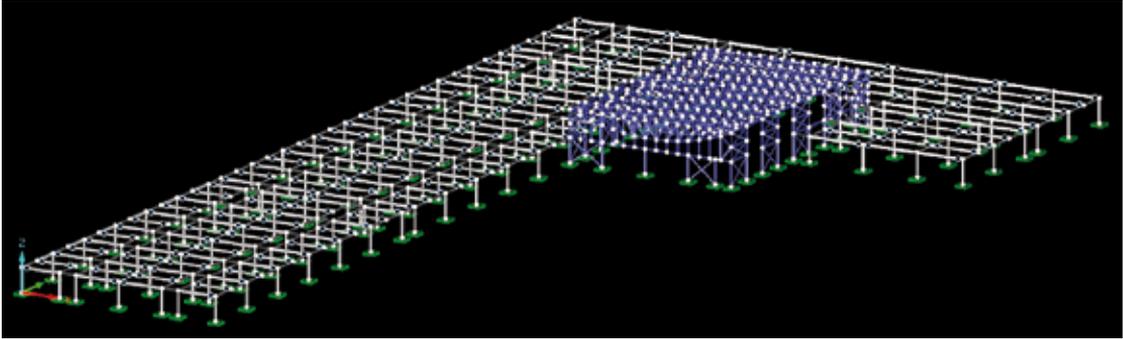
*With the increasing demands of the construction industry, need for innovative materials has become the highest priority of engineers. Textile Reinforced Concrete (TRC) has come to their rescue. The characteristic properties, strength and structural analysis of TRC have been studied and papers were presented. In this paper the long term durability of TRC will be discussed. An extensive study of TRC is presented along with individual material characteristics of materials used in TRC. AR Glass and Carbon are discussed in detail and a comparative study is also presented. Toward this aim, given data regarding time and deformation of specified specimens which have been obtained in experimental tests will be analysed. Subsequently, the conclusions drawn from this data will be presented in illustrations. This way, we will see how TRC can be used instead of steel and where exactly it can be used. The long term durability is expected through relative studies of each material and also composition of materials. The main aim of studying textile reinforced concrete is to obtain information on the relationship between load and lifetime and the time dependent strain behaviour of TRC. The report enables us to give TRC more applications in construction in the future.*

Mohammad Azam

### **Design of a School in Dresden**

*(Project Work)*

*For this project a study is made to design a school building in Dresden. It was necessary to take into consideration the site, environmental conditions, norms and codes with regard to the occupants' needs and the safety of the preliminary design. Three different preliminary design approaches are studied with regard to their advantages and disadvantages. Then, based on its structural and economic value, the most efficient design approach is chosen for further design calculation and analysis. The frame structure of the school building is analysed with the help of RSTAB7, which is a Dlubal software. The higher moments and forces' values determined with RSTAB7 are used for the manual calculation of structural members, in order to make sure that the cross sections of the members and material*



*Structural Frame of the school.  
Graphic: Mohammad Azam*

*properties are sufficient, economic and to ensure that the structure is permanently safe. The analysis of the frame structure and the manual design calculation of the structural members are based on Euro-Codes.*

*The final design of the one storey building*

*consists of rigid foundations, cast on site, and pre-fabricated columns. The main supporting system for the roofing is a mesh of beams, held by pillars. The roofing itself is made of concrete slabs. The wide span roof over the assembly hall consists of 20 m long steel truss beams which are covered with steel metal sheets.*



## **DIPLOMARBEITEN UND MASTERARBEITEN IM JAHR 2013**

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 2013 die folgenden Diplom- und Masterarbeiten betreut.

Stephan Kroll

**Vergleich und Bewertung der internationalen Regeln für experimentelle Tragsicherheitsuntersuchungen**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

In der Diplomarbeit wurden internationale Regeln für die Durchführung von Belastungsversuchen recherchiert, verglichen und bewertet. Hierbei kristallisierten sich vor allem die Richtlinien aus Deutschland und den USA als detailliert und fortschrittlich heraus. In diesen beiden Staaten gelten hydraulisch aufgebrachte Versuchslasten als Stand der Technik. Bezüglich der Sicherheitsphilosophie bestehender Bauwerke lassen sich zwei verschiedene Ansätze zur Nachrechnung aufzeigen. Zum einen ist es möglich, über Materialprüfungen die Streuung der Materialeigenschaften genauer zu ermitteln. Zum anderen können Wirtschaftlichkeitsüberlegungen und geringe Restnutzungsdauern dazu führen, dass das Maß der Zuverlässigkeit für ältere Bauwerke herabgesetzt werden kann. Beide Ansätze führen zu einer Minderung der Teilsicherheitsbeiwerte, was das erfolgreiche rechnerische Nachweisen bestehender Tragwerke erleichtert.

Die Regularien wurden an zwei Fallbeispielen angewendet, um sie zu vergleichen und zu bewerten. Weiterhin wurde auf Erfahrungsberichte, technische Berichte und Protokolle von Experimenten zugegriffen, um neben der Normung auch die Umsetzung in der Praxis zu untersuchen.

Während Versuche nach ACI 437 sehr stark an den Richtlinien angelehnt sind, fällt bei Versuchen nach DAfStb-Richtlinie auf, dass sehr viel Freiraum im Hinblick auf Belastungsregime und Bewertung des Versuches besteht. Somit können auf das jeweilige Bauteil und die wahrscheinlichste Versagensform angepasste Versuche durchgeführt werden, was aber andererseits eingehende Erfahrungen mit Belastungsversuchen erfordert.

Sowohl deutsche als auch amerikanische Bewertungsverfahren brachten keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Im zweiten Fallbeispiel brachten lediglich die Betrachtung der bereichsweisen Verformungen und die Schallemissionsanalyse viel-

versprechende Ergebnisse. Unregelmäßigkeiten in den Messkurven ließen auf eine Mikrorissbildung und somit auf einen baldigen Schädigungsbeginn schließen. Dies zeigt, dass mittels neuer Technologien bessere Bewertungsverfahren für Belastungsversuche möglich sind. Gelingt es, für bereichsweise Verformungen, Schallemissionsanalyse und Photogrammetrie allgemein gültige und praxistaugliche Versuchsgrenzlastindikatoren zu entwickeln, würde dies zu einer wesentlichen Steigerung der Sicherheit bei Belastungsversuchen führen.

Ekkehard Schulze

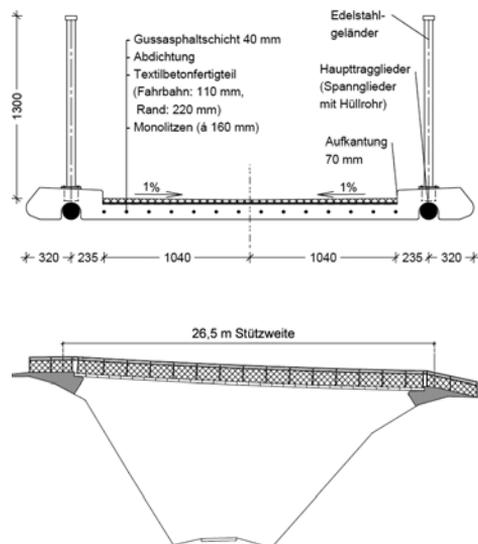
**Entwurf und Konstruktion einer Spannbandbrücke mit Textilbetonfertigteilelementen**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Dr.-Ing. Frank Schladitz

Ziel der Arbeit war der Entwurf einer Spannbandbrücke mit Textilbetonfertigteilelementen über eine in einem 11 m tiefen und 25 m breiten Einschnitt verlaufende Eisenbahntrasse. Es wurde im Zuge des Entwurfes zunächst eine Übersicht des Wissensstandes zu Spannbandbrücken und Textilbeton angefertigt. Im praktischen Teil wurde eine Studie zur Machbarkeit des Vorhabens und



Spannbandbrücke im Querschnitt (oben),  
Längsansicht der Spannbandbrücke (unten).  
Grafiken: Ekkehard Schulze

zu unterschiedlichen Querschnittstypen durchgeführt.

Auf Grundlage der unter verschiedenen Gesichtspunkten herausgearbeiteten Vorzugslösung wurde die Brücke lokal sowie global bemessen. Der Schwerpunkt wurde dabei sowohl auf eine händische Vorbemessung als auch auf das Erstellen eines geeigneten Modells zur Bemessung der Einzelsegmente und der Tragglieder gelegt. Im Rahmen der anschließenden Betrachtung wurden Aussagen zu den dynamischen Eigenschaften der Brücke unter Fußgängerverkehr und Windeinwirkung getroffen. Sie ergaben, dass das Bauwerk gegenüber fußgänger- und windinduzierten Schwingungen nicht anfällig ist.

Abschließend wurde die Ausbildung mehrerer Details in erster Linie konstruktiv im Rahmen der Zeichnung eines Entwurfsplanes durchgeführt und das für das Vorhaben einzusetzende Bauverfahren herausgearbeitet.

*Sonja Tempel*

**Entwurf einer freitragenden Halle für das Fahrzeugtechnische Versuchszentrum des Institutes für Automobiltechnik Dresden**  
(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Dipl.-Ing. Matthias Quast,  
Dipl.-Arch. Falk Wihsgott (SIB)

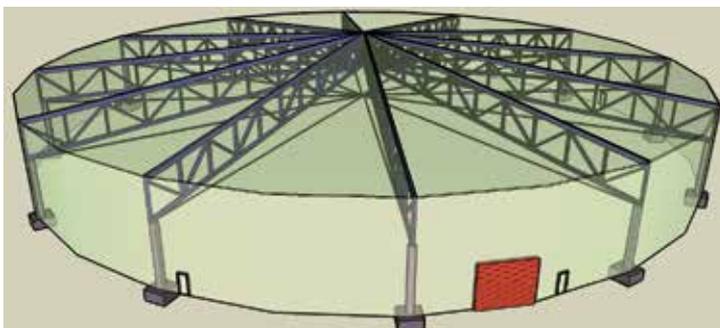
Das Fahrzeugtechnische Versuchszentrum des Institutes für Automobiltechnik benötigt für den Einsatz eines neuartigen Fahrsimulators eine neue Versuchshalle. Die Halle besteht aus einem runden Raum von 80 m Durchmesser und einer lichten Höhe von 6 m, welche stützenfrei über-

dacht werden muss. Auf Anfrage des Staatsbetriebs Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB), welches hier als Bauherr fungiert, beschäftigt sich die Diplomarbeit mit der Frage, welches statische System und welches Konstruktionsmaterial sich zur stützenfreien Überdachung eignet.

Anhand einer Literaturrecherche wurden 15 mögliche Varianten entwickelt und vorgemessen. Untersucht wurden verschiedene Fachwerkkonstruktionen, Seiltragwerke, Schalen, Bögen und eine Stabwerkkuppel. Nach Absprache mit dem Bauherren und den späteren Nutzern vom Institut für Automobiltechnik wurden die Varianten auf vier Entwürfe eingegrenzt. Kriterien waren dabei der Platzbedarf, die Entwässerung, die Wartung und die voraussichtlich benötigte Stahlmenge.

Nach einer genauen statischen Berechnung und einer daraus resultierenden Kostenschätzung der vier verbliebenen Entwürfe konnte sehr klar der wirtschaftlichste und am besten umsetzbare Entwurf ermittelt werden. Es handelt sich um eine Dachkonstruktion aus zwölf radial angeordneten, in der Mitte überhöhten Stahlfachwerkträgern mit waagrechtem Zugseil. Die Lasten aus den Dachbindern werden jeweils durch Stahlbetonstützen aufgenommen, so dass zwischen den Stützen ausreichend Raum für Türen und die Einfahrt verbleibt. Die Belichtung sowie der Rauchabzug im Brandfall erfolgt über eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage, die in den Bereichen zwischen den Bindern entsprechend dem Bedarf angeordnet werden.

Als Ergebnis der Arbeit wird für das Dachtragssystem kein überraschender ungewöhnlicher Entwurf ermittelt, sondern die allgemeinen Erfahrungen mit weitgespannten Tragwerken bestätigt.



Stützenfreie Überdachung der 80 m großen Versuchshalle.

Grafik: Sonja Tempel

*Angela Schmidt*

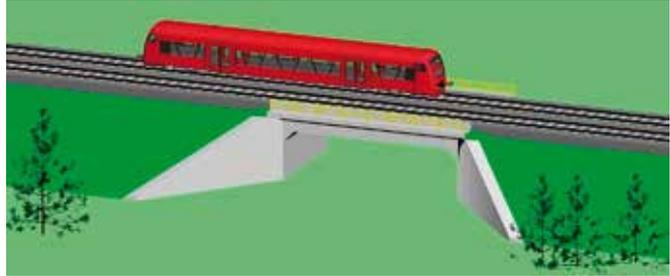
**Formoptimierte Stützen**  
(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

In der Diplomarbeit wurden, aufbauend auf der Projektarbeit „Form follows force – Optimierung der Geometrie von Stützen“, Untersuchungen zu einer effizien-

teren Formgestaltung von Stützen vorgenommen. Dazu sollte bei einer zentrischen Druckbelastung eine beidseitig eingespannte ästhetische Stützenform analysiert werden. Es hat sich gezeigt, dass diese Stützenform nur größere Knicklasten als eine volumen- und materialgleiche Stütze mit konstanter Geometrie erreichen kann, wenn der Querschnitt nicht als Vollprofil, sondern aufgliedert ausgeführt wird.



3D-Ansicht der WiB-Konstruktion.

Grafik: Melanie Poller

An den hohen Stützen eines existierenden Gebäudes konnte darüber hinaus veranschaulicht werden, welche Volumeneinsparungen durch eine Formveränderung möglich werden. Es hat sich dabei herausgestellt, dass die Aufgliederung auch für die in der Projektarbeit ermittelte Stützenform sehr bedeutend ist. In diesem Zusammenhang wurde auf die Problematik des Teilversagens, welche mit der Aufgliederung einhergeht, eingegangen. Berechnungen haben ergeben, dass durch die Einführung von Druck- bzw. Zugringen diesem Teilversagen entgegen gewirkt werden kann.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass für die Stützen des gewählten Gebäudes die bimodale Analyse maßgebend wird, deren Verfahrensweise beispielhaft in der Arbeit vorgestellt wird. Außerdem wurden ökologische Aspekte berücksichtigt und in der Bewertung der Varianten mit herangezogen. Abschließende Überlegungen und erste Berechnungen bezogen sich auf die Vorplanung von Großversuchen.

*Melanie Poller*

### **Variantenuntersuchungen im Rahmen einer Vorentwurfsplanung für den Ersatzneubau einer Eisenbahnüberführung**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Martin Just M.Sc., Elke Hering (DB Projektbau)

In der Diplomarbeit werden in Zusammenarbeit mit der DB Projektbau GmbH Vorentwürfe für einen Ersatzneubau einer Eisenbahnüberführung mit einer Spannweite von bis zu 35 m für die Strecke Riesa–Chemnitz erarbeitet. Die Strecke ist bedeutend für den Personen- und Gütertransport. Die neue Konstruktion soll den Verkehr zweigleisig über ein Überflutungsgebiet führen.

Die Entwurfsgeschwindigkeit war mit 140 km/h vorgegeben.

Ziel ist es, ein wirtschaftliches, zweckmäßiges und modernes Bauwerk unter Beachtung der lokalen Randbedingungen zu konstruieren. Es werden die vier Grundvarianten Bogenbrücke, Balkenbrücke, Rahmenkonstruktion und Verfüllung mit Durchlässen untersucht. Ausgehend von diesen verschiedenen Grundvarianten, die sich aus unterschiedlichen Tragwerkstypen ableiten, werden insgesamt zehn Varianten mit den unterschiedlichsten Konstruktionen vorgestellt. Mit Hilfe einer Bewertungsmatrix werden die Vorzugsvarianten ermittelt.

Bei den Rahmenkonstruktionen ergeben sich der Schrägrahmen und die WiB-Bauweise als beste Lösungsvariante. Bei der Grundvariante Verfüllung wird die runde Durchlassöffnung wegen ästhetischer sowie gründungstechnischer Aspekte als Vorzugsvariante bestimmt.

Diese drei Konstruktionen werden mit einem FEM-Programm modelliert, um die maßgebenden Kräfte und Verformungen zu ermitteln. Mit den Ergebnissen wird eine Brückenstatik angefertigt. Daraufhin werden konstruktive Details wie Montage, Entwässerung, Übergangskonstruktionen und die Bettung näher erläutert. Um einen genaueren Vergleich der Varianten zu erstellen, werden Rahmenterminpläne und Kostenvorschläge angefertigt. Zur Visualisierung werden alle drei Brücken dreidimensional dargestellt.

Die WiB-Bauweise stellt in Anbetracht der Forderungen die ausgewogenste Brückenvariante in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Dauerhaftigkeit, Flächenverbrauch, Ästhetik und Funktionalität dar. Unter Abwägung der einzelnen Bewertungskriterien wird sie zur Weiterbearbeitung empfohlen.



Zugüberfahrten tragen erhebliche Schwingungen in Brücken ein. Foto: Robert Schuler

*Alexander Fuchs*

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

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,  
Joachim Finzel M.Sc.

Ziel dieser Diplomarbeit war es, das dynamische Verhalten einer 80 m langen, zweifeldrigen Spannbetonbrücke unter der Einwirkung dynamischer Zugüberfahrten mit Hilfe des zur Verfügung gestellten Programmes ConFem für unterschiedliche Parameter, wie z. B. der Variation von Überfahrtsgeschwindigkeiten, zu untersuchen. Dazu wurden für das gegebene System in einer Vorbemessung der Querschnitt, die benötigte Vorspannkraft und die erforderliche Hauptbewehrung dimensioniert. Anschließend wurde zunächst ein einfaches System in Form einer einfeldrigen Platte definiert, um Referenzergebnisse zu schaffen. Die Plausibilität dieser Ergebnisse wurde mit einem weiteren Programm geprüft. Das in der freien Wirtschaft bereits weit verbreit-

tete Programm InfoCAD der Firma InfoGraph stellte dabei eine zuverlässige Referenzquelle dar. An geeigneter Stelle wurden die Programmsergebnisse durch analytische Lösungen unterstützt.

Zur Validierung der Programmsergebnisse wurde des Weiteren ein Abgleich mit den Schnittkrafttabellen für Einfeldträger der Deutschen Bahn AG nach der konzerneigenen Richtlinie 804 durchgeführt, was zu einer weitgehenden Übereinstimmung führte. Auf der Grundlage der Ergebnisse des Einfeldträgers wurden die Betrachtungen auf den gegebenen Zweifeldträger erweitert. Dabei wurden die typischen Effekte, die bei Durchlaufsystemen auftreten, erfasst und sowohl analytisch als auch programmübergreifend weitestgehend validiert.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass dynamische Zugüberfahrten explizit für Einfeldträgerbrücken mit kurzen Spannweiten zu erheblich größeren Tragwerksantworten führen. Die Bemessung der gegebenen Durchlaufträgerbrücke ist hingegen durch den Ansatz der statischen Lastmodelle unter Berücksichtigung eines dynamischen Erhöhungsbeiwertes hinreichend abgedeckt.

*Kai Schneider*

### **Alternative Entwässerungslösungen für Brücken**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

Die zuverlässige Funktion der Bauwerksabdichtung ist für die Dauerhaftigkeit von Brücken entscheidend. In der Praxis treten hier allerdings häufig Schäden auf, die auch mit dem System der Punktentwässerung und damit der Durchdringung der Abdichtung für die Ableitung der Oberflächenwasser zusammenhängen können. Dies wird als Anlass genommen, das etablierte System der Punktentwässerung (nach Zeichnung BMV) mit dem der im anglikanischen Sprachraum gebräuchlichen Linienentwässerung zu vergleichen.

Die theoretisch vergleichende Analyse der etablierten und der alternativen Entwässerungslösung wird am Beispiel des Systems EnviroDeck (EnviroKerb) durchgeführt. Praxisbeobachtungen beim Einbau des Systems auf der Barken-Hafenbrücke in Hamburg ergänzen diese Analyse.

Bei dem Vergleich werden die offensichtlichen Vorteile der Linienentwässerung deutlich sichtbar. Es wird nicht nur die Abdichtung der Brücke nicht durchstoßen, womit alle diesbezüglichen Fehlerquellen ausgeschlossen sind, sondern auch der Einbau erfolgt analog den Kappen nach Fertigstellung des eigentlichen Brückentragwerks, womit sich so gut wie keine Schnittpunkte mit der Erstellung des Tragwerks ergeben. Das Entfallen von Einläufen im Fahrbahnbereich löst die mit den direkt überfahrenen Einlaufgittern und Einläufen verbundenen Probleme elegant durch Weglassen und erhöht den Fahrkomfort und die Sicherheit für Radfahrer erheblich. Auch erfolgen Wartungsarbeiten nicht mehr im Verkehrsraum. Eine eventuelle Beschädigung der Linienentwässerung, die den Schrammbord durch etwas filigranere Elemente

ersetzt, kann hierbei akzeptiert werden, da die Linienentwässerung punktuell ausgebessert werden kann. Bezüglich der Kosten erscheint das System günstiger, wobei diese Aussage nicht durch reale Kosten hinterlegt werden kann. Diese stehen für die Auswertung nicht zur Verfügung. Es kann gezeigt werden, dass erheblich geringere Arbeitsleistungen erforderlich sind, um eine Linienentwässerung einzubauen.

*Kevin Wahl*

### **Implementierung und Validierung eines Materialgesetzes für Beton unter mehraxialer Beanspruchung unter Verwendung des FE-Programms ANSYS**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Dipl.-Ing. Robert Ritter, Tino Kühn M.Sc.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes am Institut für Massivbau, bei dem mehraxiale Belastungsversuche an einem ultrahochfesten Beton durchgeführt wurden, konnte anhand der Versuchsergebnisse ein schadigungsbasiertes Materialgesetz abgeleitet werden, mit dem das Last-Verformungs-Verhalten des Betons gut abgebildet werden kann. Ziel dieser Arbeit war die Implementierung und Validierung des Materialmodells unter Verwendung des kommerziellen FE-Programms ANSYS.

In der Arbeit wurden die benötigten Grundlagen der nichtlinearen Finite-Elemente-Methode recher-



Elemente einer Linienentwässerung. Foto: Kai Schneider

chert und besonderes Augenmerk auf den Iterationsprozess des Newton-Raphson-Verfahrens gelegt, der vom Programm ANSYS zur Lösung der Kräftegleichgewichtsbedingung verwendet wird. Im Anschluss wurde die Implementierung eigener konstitutiver Gesetze über die „UserMat“-Subroutine nachvollzogen und die Interaktion zwischen Hauptprogramm und Subroutine erläutert. Anhand der recherchierten Grundlagen wurde eine eigene Routine programmiert, welche die theoretischen Vorgaben des zu implementierenden isotropen Schädigungsmodells umsetzt. Das Vorgehen bei der Implementierung und die generelle Funktionsweise des Programmcodes wurden dokumentiert. Wichtigster Punkt war hierbei die Bestimmung der benötigten Größen für das Newton-Raphson-Verfahren.

Anhand der Berechnungen einzelner Elemente konnte gezeigt werden, dass das Materialmodell im Rahmen der Finiten-Elemente-Methode generell anwendbar ist. Es ergab sich eine vollständige Übereinstimmung der FE-Berechnungen mit den theoretischen Vorgaben des Materialmodells. Bei der Anwendung auf komplexe FE-Strukturen traten jedoch Dehnungslokalisierungen in den schwächsten Elementen auf, wodurch es zu Konvergenzproblemen und zum Berechnungsabbruch kam. Diese resultieren aus den entfestigenden Eigenschaften des beschriebenen Materials. Für die Berechnung aufwendiger FE-Strukturen bedarf es deswegen noch einer Erweiterung des Modells durch eine geeignete Regularisierungsmethode, welche die Lokalisierung der Dehnungen und Schädigung begrenzt.

*Tobias Stange*

**Beurteilung der Nachhaltigkeit verschiedener Ausführungsvarianten eines Wohnhauses in Dresden**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Dr.-Ing. Kerstin Speck

Die Problematik der Nachhaltigkeit erfährt eine immer größere Bedeutung. Die Verantwortung für unsere Erde liegt ganz allein in den Händen der menschlichen Gesellschaft. Vor allem die Bauindustrie besitzt einen immensen Einfluss, welcher durch erschreckende Fakten in der Arbeit bestätigt wird. Daher besteht bei der Nachhaltigkeit von Gebäuden dringender Handlungsbedarf.

Zunächst wurde die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen als eine der wichtigsten deutschen Zertifizierungsgesellschaften genauer beleuchtet und die Kriterien für die Quantifizierung der Nachhaltigkeit vorgestellt. Ziel der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen ist es, die Umweltwirkungen von deutschen Gebäuden zu reduzieren.

Am Beispiel eines Wohnhauses in Dresden wurden verschiedene Wand- und Deckenkonstruktionen in den Lebenszyklusphasen Herstellung, Nutzung/Erneuerung und Recycling/End of Life analysiert. Dabei wurde die Nachhaltigkeit der Konstruktionen im Ganzen sowie der einzelnen Baustoffe ökologisch bilanziert und verglichen. Bei den Wänden war eine eher abstraktere Stahlbeton-Skelett-Variante die nachhaltigste, gefolgt von einer Kalksandstein- und einer Ziegelvariante. Als Ergebnis der Deckenuntersuchung kristallisierte sich die viel zu selten verwendete Spannbetondecke als ökologischste Konstruktion heraus. Danach folgten eine Ortbeton- und eine Halbfertigteildecke.

*Julia Rose*

**Mindestschubbewehrung für Stahl- und Spannbetonbauteile**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

Bei der Nachrechnung der deutschen Spannbetonbrücken hat sich besonders der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit und die Deckung der Mindestquerkraftbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA als Grundproblem herausgestellt. Viele der betroffenen Brücken zeigen jedoch trotz des gestiegenen Verkehrsaufkommens keine äußerlichen Hinweise auf eine Überlastung durch Querkraft.

Die Untersuchung der historischen Betonbaunormen hat gezeigt, dass Spannbetonbrücken, welche mit z. B. DIN 4227 von 1966 oder gemäß den Empfehlungen von Leonhardt ab 1955 bemessen wurden, über ausreichend Mindestquerkraftbewehrung verfügen. Spannbetonbrücken hingegen, welche gemäß TGL 33405/02 (DDR: 1980 1990) bewehrt wurden, können sich ebenso wie die nach DIN 4227: 1953 bemessenen Brücken als Problemfall herausstellen.

Der Vergleich mit internationalen Normen hat gezeigt, dass DIN EN 1992-1-1/NA einen hohen Mindestquerkraftbewehrungsgrad vorschreibt, in dem jedoch ggf. in Abhängigkeit von der Bauteilhöhe und der Längsbewehrung Reserven enthalten sind. Durch die Auswahl von Versuchen an vorgespannten Trägern mit sehr geringer Querkraftbewehrung aus der Literatur konnte festgestellt werden, dass die rechnerische Querkrafttragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1/NA die maximale Versuchslast weit unterschätzt. Es empfiehlt sich daher, für Bestandsbauteile einen erweiterten Querkraftnachweis zuzulassen, in dem ein Betontraganteil berücksichtigt und die Mindestquerkraftbewehrung verringert wird.

*Tobias Walther*

**Untersuchungen zur Anwendung und Auswirkungen von Abstandhaltern in Textilbeton**  
(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Dr.-Ing. Frank Schladitz

Das Abstandhaltersystem DistTEX, welches im Jahr 2012 entwickelt und bereits zum Patent angemeldet wurde, ermöglicht es, Textilbeton im effizienteren Gießverfahren herzustellen anstatt – wie bisher gebräuchlich – im Laminierverfahren. Über die Handhabbarkeit der Abstandhalter und deren Einfluss auf das fertige Bauteil war jedoch bisher noch nichts bekannt.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden erste Untersuchungen zur Herstellbarkeit von Textilbetonplatten mit Hilfe des neuen Abstandhaltersystems durchgeführt. Dabei erfolgte die Herstellung von Platten in horizontalen und vertikalen Schalungen. Unterschiedliche Methoden zur Befüllung der Schalungen kamen hierfür zum Einsatz. An den Schnittflächen der zersägten Platten konnte die Lage der Textilien ermittelt werden, wobei eine gute bis sehr gute Übereinstimmung mit der Solllage ermittelt werden konnte.

Anschließend erfolgten Untersuchungen hinsichtlich des

Einflusses der verwendeten Abstandhalter auf die Eigenschaften der gefertigten Textilbetonplatten. In 3-Punkt-Biegeversuchen konnten keine tragfähigkeitsmindernden Einflüsse der Abstandhalter beobachtet werden. Auch die Lagerung der Textilbetonplatten bei unterschiedlichen Temperaturen und Temperaturregimen zeigte keine Beeinflussung der Oberflächenqualität der Platten durch die verwendeten Abstandhalter. In Untersuchungen hinsichtlich des Wassereindringverhaltens im Bereich der Abstandhalter konnte festgestellt werden, dass diese nur einen vernachlässigbar geringen Einfluss auf die Dichtigkeit des Betons im verwendeten Versuchsaufbau hatten.

*Cosmin Balaj*

**Experimental and Numerical Studies on Textile Reinforced Concrete Sandwich (TRCS) Elements**

*(Master's Thesis)*

Supervisors:

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,  
Joachim Finzel M.Sc.

*The purpose of this thesis was to compare three different sandwich elements with different foam (PU) densities (32, 80 and 200 kg/m<sup>3</sup>). First of all a theoretical background has been presented in order to establish the parameters for the computation part.*

*Two models have been used for the foam: crushable foam model and brittle foam model*



Abstandhalter DistTEX beim Betonieren. Foto: Tobias Walther



*Bending test on textile reinforced concrete sandwich elements. Photo: Cosmin Balaj*

and one model for the concrete (brittle) as well as for the carbon fiber reinforcement (elastic). In experiments, some difficulties appreciating the failure modes in the specimens showed up due to the irregularities in the foam-glass interaction, especially in the PU32 test. By contrast, for PU80 and PU200 the experiments have shown a shear failure.

On PU80 impact tests a failure in tension occurred. PU200 foam had quite a special behaviour regarding the fiber reinforcement, which was pulled out both in the quasistatic and the drop-body test. In some cases, partial failure of the textile reinforcement could be observed. The experiments revealed two main important things: foams with lower density are preferred for impact loads. However, the low static bearing capacity makes them unpractical for other applications.

Studies from the past years, such as the uniaxial compression tests for PU foams, provide a good understanding of sandwich panels. Moreover, the ratio of the component layers' thickness influences the shear transfer over the section and it is key for choosing the proper type of set-up for a particular purpose. The interaction between concrete and foam may stiffen or soften the entire body and create serious bearing capacity issues if neglected.

The FEM models proved that some of the manufacturer's data fit quite well, resulting in proportional force-displacement curves. This could be mainly applied to PU32 and PU80, regardless of span. However for PU200 the stiffness was increased by factor 3-4. For the modeling of the

impact test, the measured experimental amplitude has been used to input the force-time load over the entire body.

*Yadav Silwal*

### **Design and Analysis of a Reinforced Concrete Multi-Story Skeleton Construction Exposed to Earthquake Actions**

*(Master's Thesis)*

*Supervisors:*

*Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,  
Joachim Finzel M.Sc.*

A symmetrical multistory skeleton frame (3 bays each 10 m span and 4 m height) was provided consisting of slabs, beams and columns for an elaborated design, analysis and construction. The self-weight, live load and earthquake were the load cases considered in this work. Real earthquake data were taken to determine the ground motion under the structure.

The program ConFem was used to calculate and analyze the response of the structure. Python program was used to create a suitable input file. Finite element discretization was done with 2D beam elements using cubic interpolation. The frame-construction consisted of a T-girders slab and columns with square cross section. The amplitude of ground motion due to an earthquake was considered in dynamic analysis. The ground displacements due to earthquake were calculated from a real earthquake acceleration with the help of Newmark's method.

First, the calculations were conducted as linear dynamic analysis considering the linear elastic behaviour of elements. The distributed moment on frame elements longitudinal strain and normal forces on the frame were the main outputs of the linear dynamic analysis. Then, non-linear behaviour of concrete and reinforcement with cracking of the cross sections was considered to analyze the response of the structure. A Concrete C25/30 and steel S500 Class C were used. The main output results after the analysis were moment distribution on elements, longitudinal strain in reference axis, beam curvature, concrete strain, reinforcement strain and normal force acting on beams and columns.

The results from linear dynamic analysis were considered to design the cross section and

reinforcement requirement in the section. The detailing of reinforcement was done in reference to EC 8 (Design of structures for earthquake resistance) fulfilling all the requirements of EC 2.

Najeeb Hassan

**Calculation and Design of a 10-Story Apartment Building and Progressive Collapse Analysis Considering Explosive Loads**  
(Master's Thesis)

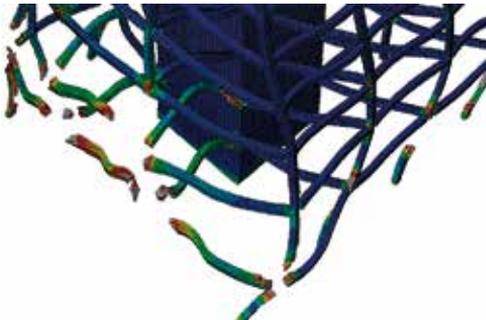
Supervisors:

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,  
Dipl.-Ing. Jörg Weselek

The purpose of this study is to investigate the effects of blast loading on multi-story buildings. The study is concerned with the loads applied to a building's four walls as well as the roof. Furthermore, the effects exerted on the ground surface exerted by the blast are discussed.

The study includes one manual design of a column subjected to blast loading according to European standards and case studies on said column with various cross section and reinforcement ratios. The study investigates the resisting moment and required shear reinforcement. Finally the study includes a numerical modeling of a 10-story apartment building subjected to blast loading. The modeling is carried out with the softwares Abaqus and Confem. A progressive collapse study is performed as well as a blast-resistant design developed.

The results of the study suggest that such an analysis requires the designer to have good knowledge of FEM modelling and analysis as well as blast phenomena. An accurate material model is essential to the analysis. The model must



Deformation and strain on the building after the blast. Graphic: Najeeb Hassan

describe the non-linear behaviour of materials accurately as well as cover the effect of strain rates. It is impossible to prevent local failures in most cases, unless the explosion is of relatively small magnitude. It is important that alternative load paths be provided in buildings which are designed to withstand blast loadings. In general, structural elements resist loads much better than they are designed to, due to the increased stiffness the materials gain from a high strain-rate. There are many effects that cannot be accounted for in a theoretical study, such as the effects of debris and possible uplifting of slabs. The most critical element in a blast is the distance, controlling the perimeter of the building could greatly reduce the blast loading of the building.

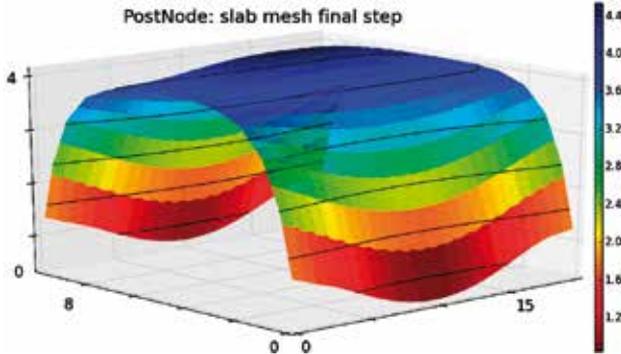
Imtiaz Nafees

**Design, Analysis and Construction of a Reinforced Concrete Barrel Vault**  
(Master's Thesis)

Supervisors:

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,  
Dipl.-Ing. Jörg Weselek

A barrel vault, which is also known as cylindrical shell roof, is a part of a cylinder. It is curved only in one direction, bounded by two longitudinal straight edges and two transverse curved edges. Barrel vaults can be divided into three types according to its ratio of span to radius: long shell, intermediate shell and short shell. A long shell works like a beam with a curved cross section, supported by traverses at two ends. On the other hand, a short shell works like an arch, transferring forces as thrust in transverse direction. In this thesis, a reinforced concrete barrel vault is analysed and designed for given loads and conditions. The barrel vault is 20 m long, 10 m wide, and the height of the vault is 3.5 m. It has two edge beams and two traverses. Mannheim city is taken as the location of the construction. As material, concrete C30/37 and reinforcing steel S500B is chosen. Dead load, live load, snow load and wind load are considered according to Eurocode. For the analysis, three snow load cases (drifted and undrifted) and six wind load cases are taken. Seismic load is also calculated but has not been used in the analysis. For the analysis, the program Confem was used, which is developed in the Institute of Concrete Structures, Faculty of Civil Engineering, TU Dresden. The model includes a shell roof, two edge beams, two traverses, and



Deflected shape of shell roof (left) | The barrel vault. Graphics: Imtiaz Nafees

two traverse beams. In four column positions, fixed supports are provided. From the analysis, membrane forces and bending moments are taken in both longitudinal and transverse direction. The in-plane shear force is also taken. The results of the analysis suggest that the shell roof takes compressive stresses at crown position and tensile forces near the edge beams. The reinforcement for the shell roof is aligned in three directions in the same plane. Reinforcements for the edge beam and traverse are also calculated. The structural design of the reinforcement is provided with sufficient anchorage length and concrete cover.

Yilmaz Cagatay

**Design Comparison for an Aircraft Hangar**  
(Master's Thesis)

Supervisors:

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

In this project, a study was made for the most efficient structural system of a hangar type structure. Firstly, effects of earthquake load, wind load, dead load and snow load were investigated for the project. Secondly, the material properties were considered for the further calculation process.

Having calculated the loads, the advantages and disadvantages of three different preliminary design approaches – a full fixed steel frame, a steel truss and a concrete frame – were analyzed. Economical, structural and environmental conditions were also checked at each step to determine the most effective resisting frame. Based on its structural and environmental value, the most efficient

design was eventually selected for further design and analysis. A detailed calculation for the truss system was carried out. Member design, connection design and foundation design were also part of these calculations. Eurocode and local specifications were taken as guideline for the element design.

It can be summarized that a structure can be considered effective when the resulting building is safe, stable and economical.

Marwan Youssef

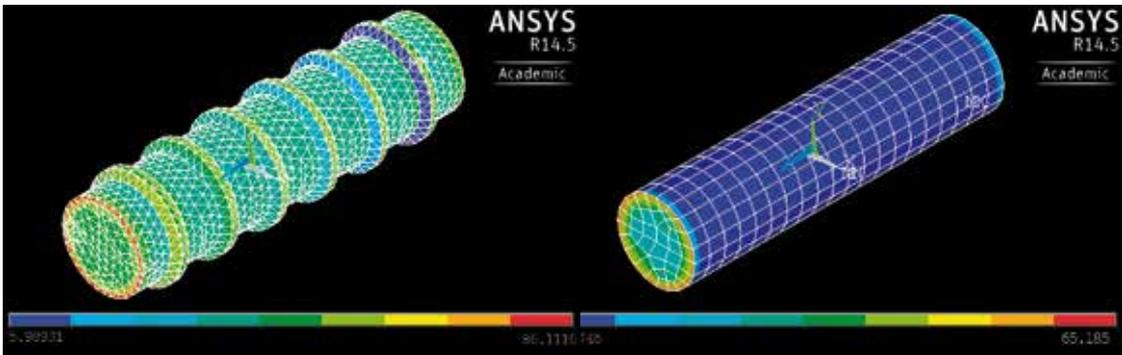
**Influence of a Multi-Axial State of Compression Stresses on the Bond Behaviour**  
(Master's Thesis)

Supervisors:

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

Concrete hinges design have been used and developed for several years. Fritz Leonhardt used concrete hinges and developed a new model to describe the load bearing behaviour. For high shear forces, Leonhardt suggests to use smooth reinforced bars through the hinge throat to prevent any sudden sideways displacement and, consequently, failure. The use of smooth reinforcement through the throat of concrete hinges is the main interest of this study.

The concrete hinges are a good example for the occurrence of multi-axial state of compression. Therefore, the project tackles the behaviour of reinforced concrete under multi-axial state of compression. Specifically, the study differentiates between two types of reinforcement: smooth steel bars and ribbed steel bars. Accordingly,



Simulated ribbed bar (left) | Simulated smooth bar. Graphics: Marwan Youssef

the three following models are possible: plain concrete, smooth reinforced concrete and ribbed reinforced concrete. These were subjected to four different load cases. The load cases are uniaxial compression, biaxial compression, multi-axial compression and shrinkage.

The results of the experiments showed that plain concrete is able to withstand high multi-axial compression stress without showing any cracks due to uniform distribution of stress in concrete. The smooth reinforcement in concrete under multi-axial state of compression stress shows a benign behaviour with the surrounding concrete. However, the ribbed reinforcement reveals an aggressive behaviour. Hence, the smooth reinforcement provides the most efficient and harmless solution for the impact shear forces in concrete hinges.

Tek Prasad Dhungana

### **Numerical Analysis of Reinforced Concrete Sandwich Elements with Foamed Concrete Core (Numerische Untersuchung von Betonsandwich-elementen mit Schaumbetonkern)**

(Master's Thesis)

Supervisors:

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

The main purpose of the study was to verify the experimental results, which are documented in the PhD thesis "Structural Analysis of Sandwich Beams Composed of Reinforced Concrete Faces and a Foamed Core" by Theo A. M. Salet in 1990, by an analytical and numerical re-calculation. The concrete sandwich beams were modelled in two ways: under ideal and real-life conditions. Under ideal conditions, rigid joints between interfaces

are assumed. Failure in tensile bending, in compression and core shear failure could be worked out by changing the material parameters. Under real-life conditions, it is additionally assumed that there are cohesion and friction between the concrete interfaces. This results in failure due to horizontal slip, which caused the final damage to the investigated specimens. Within the project, experimentally and numerically determined load-deflection curves of a concrete sandwich beam were compared. The FE-beam showed quite a similar load-deflection relation as the tested beam. The ultimate load determined with both the numerical and the analytical model was slightly higher than that of the experiment.



## WISSENSCHAFT IST MEHR...

Selbstverständlich steht die Forschung im Vordergrund bei der Arbeit am Institut – aber wenn so viele Menschen einen Großteil Ihrer Zeit zusammen verbringen, ist da immer auch ein bisschen mehr. Dem wollen wir auch im Jahresbericht Rechnung tragen und einige der Dinge auflisten, die Teil unserer Bemühungen sind, das Miteinander in der täglichen Arbeit zu fördern.

Die Begeisterung für das Fach leben wir selbst – aber wir binden auch den Nachwuchs ein: Bei Schülerprojektwochen und in der Langen Nacht der Wissenschaften sprechen wir die zukünftigen Studentinnen und Studenten an, bei Exkursionen und in den Lehrveranstaltungen dann die Studierenden.

# Dänemarks Brücken – Brückenbauexkursion 2013

Unter dem Motto „Entdecken schafft Wissen“ konnten Studenten des 8. Semesters ihr erlerntes Wissen auf der alljährlichen Brückenexkursion vertiefen und die praktische Umsetzung hautnah sehen.

Die Studienfahrt führte die zwölf Studenten und zwei Betreuer vom Institut für Massivbau in das laut Studie glücklichste Land der Welt, unser Nachbarland Dänemark. Die achttägige Exkursion, die von den Studenten mitorganisiert wurde, war eine Reise durch die Entwicklung der Tragsysteme und damit verbundenen Spannweiten.

Anfangen von unzähligen Klappbrücken, Stahlfachwerkbrücken, Balken- und Bogenbrücken über Schrägkabelbrücken bis hin zu kilometerlangen Hängebrücken konnten die Studenten die Vielzahl von Tragsystemen bestaunen, analysieren und zum Teil sogar erleben. Neben einer Führung auf der Baustelle des Neubaus der Rethenbrücke, die schwindelerregende Besteigung der Stahlochbrücke Rendsburg sowie die Begutachtung der Ankerblöcke der Hängebrücke über den Kleinen Belt, war die Besichtigung der längsten Hängebrücke in Dänemark über den Großen Belt

ein Höhepunkt. Nach zahlreichen Brücken wurde zur Abwechslung die Hauptstadt Kopenhagen erkundet, die schon mehrfach als „Lebenswerteste Stadt der Welt“ ausgezeichnet wurde.

Nach Verlassen der malerischen und architektonisch sehr empfehlenswerten Stadt Kopenhagen standen wieder die Brücken im Mittelpunkt. Eine Führung entlang der Öresundbrücke, welche die dänische Hauptstadt Kopenhagen mit Malmö in Schweden verbindet, zeigte den Studenten, dass neben dem Entwurf und Bau die Instandhaltung und Wartung eines solchen Projektes eine große Rolle spielen. Schlusspunkt und gleichzeitig ein besonderes Erlebnis der Exkursion war das Erklimmen eines 40 m hohen Pfeilers der Strelasundquerung, dessen Form einem Tropfen gleicht und den Unterbau für die Schrägkabelbrücke und der Vorlandbalkenbrücke bildet. Am Ende des Aufstiegs wartete auf die Studenten die Besichtigung der Lager, des dreizelligen Stahlhohlkastens der Schrägkabelbrücke und des extern vorgespannten Hohlkastens der Balkenbrücke. Die Spanngliedführung der Balkenbrücke hatte für reichlich Diskussionsstoff bei den Studenten gesorgt.



Teilnehmer der Brückenbauexkursion vor der Brücke über den Großen Belt. Foto: Robert Schuler

# Was in Zukunft wichtig sein könnte

Das **23. Dresdner Brückenbausymposium** mit dem Generalthema "Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken" brachte im März wieder über 1.300 Fachleute aus dem In- und Ausland zusammen. In einem Dutzend Vorträgen beleuchteten Wissenschaftler, Praktiker und Politiker die neuesten Entwicklungen im Brückenbau.

In seinem Begrüßungsvortrag ging Prof. Manfred Curbach vom veranstaltenden Institut für Massivbau auf neue Forschungsergebnisse ein, die den Brückenbauern von morgen neue Möglichkeiten eröffnen: Zum einen plädierte er für den Einsatz von Textilbeton – sowohl beim Neubau von Brücken wie aber auch bei der Sanierung von altersschwachen vorhandenen." Die hohe Tragfähigkeit und Sicherheit des neuartigen Konstruktionsbaustoffs wurde in vielen Experimenten nachgewiesen", sagte Curbach. Die Zeit sei reif für eine breite Anwendung, nachdem erste Pilotprojekte, wie beispielsweise drei Brücken aus Textilbeton, die Machbarkeit bewiesen hätten.

Da ältere Massivbauwerke den heutigen Anforderungen im Hinblick auf deren Querkrafttragfähigkeit oft nicht mehr genügten, sehe er auch hier Handlungsbedarf, führte Curbach aus und gab den Tagungsteilnehmern eine gute Nachricht mit auf den Weg: Jüngste Versuche hätten gezeigt, dass Textilbeton sich auch bei dynamischen Lasten als Verstärkungsmethode eignet.

Zwei im vergangenen Jahr begonnene Themenlinien wurden fortgesetzt – ein Vortrag auf englisch und einer mit historischem Hintergrund. Einen Einblick in das *Life-Cycle Management of Bridges under Uncertainty* in den Vereinigten Staaten von Amerika gab Prof. Dan M. Frangopol, Lehigh University, Bethlehem, USA. Und über *Franz Dischinger – Visionär des Brückenbaus* referierte in einem gekonnten Vortrag Prof. Werner Lorenz, BTU Cottbus, Lehrstuhl Bautechnikgeschichte und Tragwerkserhaltung.

Der über 300 Seiten starke vierfarbige Tagungsband ist beim Institut für Massivbau erhältlich.



Eindrücke vom 23. Dresdner Brückenbausymposium. Fotos: Urich van Stipriaan

# Mess- und Versuchstechnik im Focus

Das **7. Symposium „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen“** am 5. September 2013 bot Gelegenheit, sich über neueste Entwicklungen in der Mess- und Versuchstechnik zu informieren und interessante Gespräche zu führen.

In der *keynote lecture* wurde ein beeindruckender Einblick in die aktuelle Forschung der BAM an Bauten für die Energiewende gegeben. In theoretisch ausgerichteten Vorträgen wurde über moderne Messmethoden, wie beispielsweise über Chancen und Grenzen der Photogrammetrie oder neuartige Sensortextilien, berichtet. Im Vor-

tragsblock zu baulastdynamischen Untersuchungen wurden Messverfahren bei Labortests und bei Bauwerksuntersuchungen vorgestellt und über die Erfassung und Modellierung fußgängerinduzierter Schwingungen berichtet.

Wie auch bei den vorangegangenen Veranstaltungen lag ein weiterer Schwerpunkt bei Belastungsversuchen, bei Monitoring und bei der Zustandsbewertung. Die Bandbreite der vorgestellten Projekte reichte von Tests an alten und neueren Brücken über historische Decken bis zum Belastungsversuch am neuen alten Schlingrippengewölbe im Dresdner Schloss.



Blick in den Hörsaal beim 7. Symposium „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen“.  
Foto: Ulrich van Stipriaan

# Forschung zum Anfassen

Die Lange Nacht der Wissenschaften verzeichnete 2013 so viel Interessierte wie nie zuvor: Geschätzt 1.500 Besucherinnen und Besucher kamen, um sich auf der Wiese hinterm Beyer-Bau und in den Laboren im Beyer-Bau von der Vielfalt des Bauingenieurwesens verzaubern zu lassen. Das Institut für Massivbau trug wieder

wesentlich zum Gelingen bei – nicht zuletzt durch die Programmpunkte speziell für Kinder, die Möglichkeit zum Baggerfahren und durchs OML arrangierte Experimente und Prüfungen.

An diesem lauen Sommerabend gab's keine Langeweile, viele wurden schlauer, alle hatten Spaß.



Die alljährliche Lange Nacht der Wissenschaften lockte 2013 bei bestem Sommerwetter zahlreiche Dresdnerinnen und Dresdner zu den Bauingenieuren. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Massivbau und des Otto-Mohr-Laboratoriums trugen zum Gelingen der Langen Nacht bei.

Fotos: Urich van Stipriaan

# Materialforschungstournee des MFD

Seit einigen Jahren ist unser Institut Mitglied im Materialforschungsverbund Dresden (MFD) e.V., in dem 20 universitäre, außeruniversitäre und industrielle Forschungseinrichtungen, die auf den Gebieten Werkstofftechnik und Materialwissenschaft tätig sind, mitarbeiten. Der Massivbau nimmt eher eine Außenseiterrolle ein – ein Grund mehr, unser Fachgebiet im Rahmen der jährlich stattfindenden Materialforschungstournee vorzustellen. Die Veranstaltung fand im April 2013 im Otto-Mohr-Laboratorium statt. Studenten aus verschiedenen technischen Fachrichtungen hörten Vorträge über ausgewählte Forschungsschwerpunkte und konnten bei der anschließenden Laborführung live einige Versuche erleben.



Gäste des MFD im OML. Foto: Ulrich van Stipriaan

## Fachwerkbrücke im Test

Schülerpraktika haben mittlerweile schon Tradition an unserem Institut. In diesem Jahr betreuten wir zwei Schülerinnen des Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums Dresden, die sich in einer Woche im Februar mit den Grundlagen des Tragverhaltens von Brücken beschäftigten. Außerdem fertigten zwei Schüler der Abiturstufe ihre Jahresarbeit an unserem Institut an. Die Themen hier waren die Datenfernübertragung von Messdaten im Bauwesen und Brücken – be-

trachtet in ingenieurtechnischem und kulturhistorischem Kontext. Diese Arbeiten wurden dann auch in einem Kolloquium im Sommer an den Schulen vorgestellt und verteidigt. Die Brücke auf den Bildern bei der langen Nacht hat Gregor Salchert (im rechten Bild zu sehen) während seiner Jahresarbeit an unserem Institut gebaut. Während der langen Nacht wurde sie belastet – und kaputt gemacht. Die Daten hat Salchert dann auch noch ausgewertet.



Kunstvoll gebaute Brücken fachgerecht zerstören – bei der Langen Nacht der Wissenschaften.

Fotos: Ulrich van Stipriaan

# Villen und Ruinen

Der Weiße Hirsch ist einer der Villenstadtteile Dresdens, der sich Ende des 19. Jahrhunderts abseits vom Zentrum entwickelte. Das Viertel war Ziel des Institutsausflugs 2013. Dieses durch prächtige Villen und große Gartenanlagen gekennzeichnete Viertel zog auch bedeutende Persönlichkeiten nach Dresden, wie zum Beispiel Oskar Kokoschka, Martin Andersen Nexø oder Manfred Baron von Ardenne. Nach einem aus-

führlichen Rundgang hatten wir die Möglichkeit, die Baustelle des Lahmann-Areals zu besichtigen. Hier wird derzeit der Dr.-Lahmann-Park errichtet, ein 40 Millionen Euro teures Projekt mit exklusiven Wohneinheiten auf dem 36.000 m<sup>2</sup> großen Gelände der ehemaligen Kur- und Heilstätte, welche 1888 eröffnet worden war. Neben einigen Neubauten steht die denkmalgerechte Sanierung der noch bestehenden Gebäude im Vordergrund.



Die Bilder der Collage zeigen unter anderem die wunderschön verzierte Decke des ehemaligen Speisesaals (links Mitte), das Herrenbad (unten links) und die marode Decke des Damenbades (unten rechts).

Fotos: Ulrich van Stipriaan

# Beyer-Preis an Anett Brückner

Preisträger des seit 1996 jährlich verliehenen Kurt-Beyer-Preises 2012 sind Dr.-Ing. Anett Brückner, die ihre Dissertation zum Thema „Querkraftverstärkung von Bauteilen mit textilbewehrtem Beton“ am Institut für Massivbau der Fakultät Bauingenieurwesen schrieb, und Dipl.-Ing. Andreas Fuchs von der Fakultät Architektur. Seine Diplomarbeit setzte sich mit der „Erhaltung und Entwicklung von Seres Campill“ auseinander. Der Preis wurde im Juni 2013 im Festsaal des Rektorats verliehen.

Laudatoren der beiden Preisträger waren Prof. Manfred Curbach für die Fakultät Bauingenieurwesen und Prof. Gerald Staib für die Fakultät Architektur. Die Begrüßungsworte sprach die Prorektorin für Bildung und Internationales der TU Dresden, Prof. Ursula Schaefer.

Der Kurt-Beyer-Preis wird an der TU Dresden für herausragende Abschlussarbeiten an den



Dr.-Ing. Anett Brückner. Foto: Ulrich van Stipriaan

Fakultäten Architektur und Bauingenieurwesen verliehen; er ist mit 5.000 Euro dotiert. Auslober ist seit 2011 die HOCHTIEF Solutions AG, für die Dipl.-Ing. Michael Pröbstl während der Veranstaltung sprach.

# Gottfried-Brendel-Preis an Angela Schmidt

Den mit 3.000 Euro dotierten Gottfried-Brendel-Preis für besondere Leistungen im Rahmen der Projektarbeit im Fach Entwurf von Ingenieur-

bauwerken von Studierenden des 9. Semesters überreichte im Rahmen des „Tags der Fakultät“ für den Stifter Bilfinger SE Harald Möller (links im Bild). Preisträgerin ist Angela Schmidt für ihre Arbeit „Form Follows Force – Optimierung der Geometrie von Stützen“. Zwei 2. Preise wurden ebenfalls vergeben an Max Käding („Entwurf einer Eisenbahnbrücke über die Röder“) und an Kevin Wahl („Entwurf und Bemessung einer Radfahrer- und Fußgängerbrücke über die Ems nahe der Stadt Rheine“). Rechts im Bild der Dekan der Fakultät Bauingenieurwesen, Prof. Rainer Schach.



Preisverleihung beim Tag der Fakultät. Foto: Ulrich van Stipriaan

# SLUB-Lounger aus Textilbeton: Eine Idee für den ganzen Campus?

Achim Bonte, stellvertretender Generaldirektor der SLUB, ist begeistert: „Mit dem SLUB-Lounger haben wir in Zusammenarbeit mit der Dresdner Design-Firma Paulsberg eine echte Innovation entwickelt!“ Der Liegestuhl für den Außenbereich wurde gestern der Öffentlichkeit vorgestellt – und die Medien griffen das Thema Textilbeton begeistert auf.

In einem Beitrag des Sachsenspiegels äußert sich Mark Offermann, Designer und Mitgründer von Paulsberg: „Beton ist ein attraktives Material für den Außenbereich!“ Paulsberg entwickelt schon seit einigen Jahren Möbel aus Textilbeton und erobert mit dieser Idee die Welt.

Der Einsatz von Carbon statt Stahl zur Bewehrung von Beton ist eine Dresdner Entwicklung.

Prof. Manfred Curbach vom Institut für Massivbau im MDR-Beitrag: „Die Vison war: leicht Bauen mit Beton!“ Wenige Millimeter dünn kann Textilbeton sein, elegante und schlanke Formen sind möglich. Gegenüber den traditionellen SLUB-Liegestühlen hat der SLUB Lounger dennoch einen Vorteil: Ganz so einfach kann man ihn nicht mitnehmen, was den – nun ja: natürlichen – Schwund sicher mindern würde.

Aber nicht nur deswegen wünscht sich Achim Bonte mehr als diesen einen Prototyp des Betonmöbels: „Ich könnte mir vorstellen, dass von der SLUB bis zum Hörsaalzentrum immer wieder mal so ein Lounger stehen könnte. Wir haben ja Wiesen bei vielen Gebäuden, und genutzt würden die Stühle ganz sicher!“ Gesucht sind: Sponsoren!



Interview auf dem SLUB-Lounger: Der MDR befragt Prof. Manfred Curbach. Foto: Ulrich van Stipriaan

# Manos-Schülerinnen bauten und zerstörten Brücken aus Papier...

Die Durchführung des Schülerpraktikums am Institut für Massivbau ist mittlerweile zur Tradition geworden. Auch dieses Jahr hatten zwei Schülerinnen der 7. Klasse des Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums die Möglichkeit, am Beispiel von Papierbrücken einen Einblick in den Konstruktiven Ingenieurbau zu gewinnen. Nach einer selbstständigen Erarbeitung der Vor- und Nachteile von verschiedenen Bauweisen bestand die Herausforderung, drei unterschiedliche Brücken mit je einem halben Meter Spannweite ausschließlich aus Papier und Klebstoff zu fertigen. Diese wurden anschließend auf ihre Tragfähigkeit untersucht und die Ergebnisse ausgewertet.



Test der selbst gebauten Brücken. Foto: Ulrich van Stipriaan

Dabei wurde auf die Grundlagen der Berechnung eingegangen, die physikalischen Größen Kraft und Moment wurden erarbeitet. Zum Abschluss der Arbeit erstellten die Schülerinnen ein Poster,

das im Rahmen einer Posterausstellung am Andersen-Nexö-Gymnasium ausgestellt wurde, um Mitschülern, Lehrern und Eltern das erlangte Wissen strukturiert und leicht verständlich zu vermitteln.

## Informationen beim Schnupperstudium

Alljährlich im Januar 2013 öffnen sich die Türen der Universität für alle Studieninteressierten.

Zahlreiche Schülerinnen und Schüler nutzen die Gelegenheit, die Uni live zu erleben, Uniluft zu schnuppern und sich über das umfangreiche Studienangebot an der TU Dresden zu informieren.



Vortrag im Rahmen des Schnupperstudiums.  
Foto: Ulrich van Stipriaan

Das Institut für Massivbau unterstützt die Veranstaltung und bietet regelmäßig spezielle Vorträge an. Dr.-Ing. Torsten Hampel, Leiter der Versuchshalle „Otto-Mohr-Laboratorium“ sprach 2013 zum Thema „Zerstören – damit es hält! Über die Anwendung experimenteller Forschung im Bauwesen.“





# OTTO-MOHR- LABORATORIUM



## OTTO-MOHR- LABORATORIUM

### Arbeitsgebiete und Ausstattung

Das Otto-Mohr-Laboratorium führt neben Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für die Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden – und hier vorrangig für das Institut für Massivbau – als technischer Dienstleister für Firmen oder auch andere Fakultäten Prüfungen im Bereich der zerstörungsfreien wie auch der zerstörenden Versuche durch. Darüber hinaus können wir auf langjährige Erfahrungen in der Untersuchung von Bauwerken im Auftrag für öffentliche und private Bauherrn, Ingenieure und Architekten, Behörden, Verbände sowie für das Baugewerbe und die Bauindustrie zurückgreifen. Ein Spezialgebiet sind in-situ-Versuche z. B. von Stützen, Decken und Wänden in Neu- und Bestandsbauten, historischen Gebäuden sowie an Brückenbauwerken.

Im Herbst 2012 wurde mit dem Bau einer Fallanlage im Experimentalbau des Otto-Mohr-Laboratoriums begonnen, die am 28. Januar 2014

feierlich in Betrieb genommen wurde. Das Jahr 2013 war folglich von umfangreichen Baumaßnahmen geprägt, angefangen vom Umbau der vorhandenen Bausubstanz, über die Installation der gesamten Anlage vom Fundament im Keller bis zum Einbau des Gasdruckbeschleunigers im oberen Bereich des Turmes und schließlich bis hin zur Verdrahtung und Applikation der stationären Messtechnik. Eine automatisierte Bedienung ermöglicht das Auslösen eines Lastschlittens, der mit einer maximalen Falllast von 2.000 kg und einer Fallgeschwindigkeit von 14 Meter pro Sekunde auf ein Bauteil trifft. Über eine speziell angepasste Software werden alle Daten aufgezeichnet, visualisiert und gespeichert. Das Fallgewicht, die Impaktoren und die Fallhöhe sind variabel wählbar. Mit diesem Versuchsstand sind wir künftig in der Lage, großformatige Bauteile und deren Verhalten bei Impaktbelastungen zu untersuchen.

## 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



Prüfung eines Spannbetonmastes. Foto Sabine Wellner

### 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 in historischen Gebäuden
- ❑ 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 m<sup>2</sup> 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 von Festigkeiten bei hohen Dehnraten sowie zur Durchführung von Versuchen unter Temperatur-



Bohrkernentnahme  
im Observatorium des Beyer-Baus.  
Foto: Sabine Wellner

einfluss. 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.

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
- ❑ Klimaschränke für den Temperaturbereich von -40 bis 80 °C
- ❑ Temperatur- und Feuchtigkeitsschreiber



Betonherstellung.  
Foto: Harald Micher

- ❑ 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 Einzelementen 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)

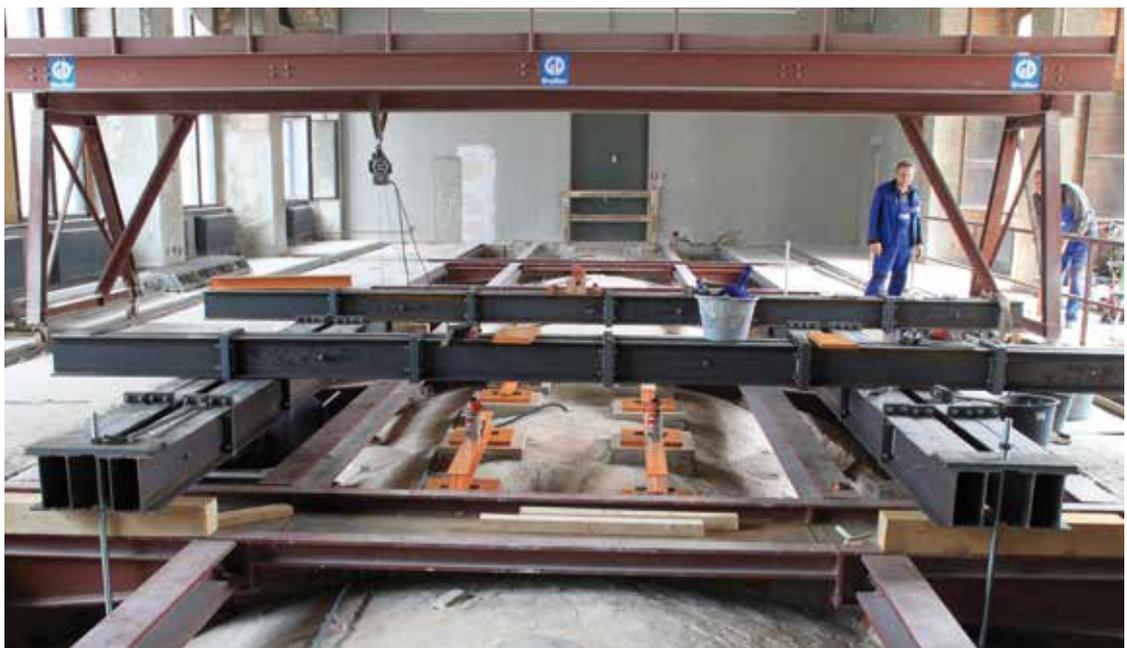
**Spezielle Prüfmaschinen und sonstige Ausstattung**

- ❑ 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, zylindrische Prüfkörper mit einem Durchmesser von 2,54 cm und einer Höhe von 5,08 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)
- ❑ Fallgewichtsversuchsstand ( $H_{max} = 5,0$  m, maximales Fallgewicht 49,1 kg)

- ❑ 10-MN-Bauteilprüfmaschine (Prüfkörpergröße bis  $B \times L \times H = 2,5 \times 15,0 \times 4,0$  m, maximales Prüfkörpergewicht: derzeit 60 t (auf 120 t aufrüstbar))
- ❑ Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche (max. Belastungsgeschwindigkeit bis 35 m/s, zylindrische Prüfkörper mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Länge von 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 x 50 x 50 mm, kinetische Energie des Impaktors: je Achse bis zu 1,8 kJ)

**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
- ❑ Fassadenprüfstand für Platten bis 2,4 x 2,4 m
- ❑ Stand für Schubversuche
- ❑ Ausstattung zur Durchführung von Versuchen mit variabler Temperaturbeanspruchung
- ❑ Mehrere Steuerpulte



Aufbau einer Belastungseinrichtung. Foto: Sabine Wellner

## 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

## 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 3D mit zwei Kameras (5MP) und Zubehör
  - GOM ARAMIS 2D mit vier Kameras (12MP) und Zubehör
- Verschiedene Spiegelreflex- und Kompaktkamerasysteme
- Transientenrekorder für Messungen bei Hochgeschwindigkeitsversuchen
- AOS-Messgerät für Faser-Bragg-Gitter-Sensoren
- Hochgeschwindigkeitskamera Photron Fastcam SA5
- Geräte zur Fernüberwachung von Messungen

### Sensorik

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

### Vermessung

- Nivelliergerät
- Theodolit
- Verschiedene Entfernungsmessgeräte

### Sonstiges

- Neigungsmessgerät (Winkelbestimmung bis +/- 30°)
- 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.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 Versuchshalle)
- Gabelstapler (Tragkraft 3 t)
- Schweißerausrüstung, elektro und autogen
- Mobile Druckölaggregate
- Aggregat zum Sandstrahlen
- Schwerlastwagen bis 60 t Tragkraft
- Geräte zum Anheben und Verschieben von bautechnisch relevanten Lasten bis 160 t resp. 120 t.

# Ein eigener Fassadenprüfstand

Für die Durchführung von Zulassungsversuchen an Fassadenplatten wurde ein großformatiger Fassadenprüfstand für Platten mit einer Größe von 2,4 m × 2,4 m konzipiert und im Otto-Mohr-Laboratorium aufgebaut. Ein Umbau auf größere Platten ist problemlos möglich.

Der Prüfstand besteht aus einer freitragenden Wand, zusammengesetzt aus einem Stahlskelett mit einer flächenbildenden Holzverkleidung als Widerlager für die Luftschläuche. Am Stahlskelett wird die zum Plattensystem gehörige Unterkonstruktion des Fassadensystems befestigt und wiederum an dieser die Fassadenplatte eingehängt. Wahlweise kann Windsog oder Winddruck simuliert werden. Die Belastung wird mit drei an die Größe der Fassadenplatte angepassten Luftkissen aufgebracht, die zwischen der Tragstruktur und der zu prüfenden Fassadenplatte eingelegt werden. Die Unterteilung in mehrere Kissen ist notwendig, um ein vollflächiges Anliegen der Kissen und damit eine vollflächige Beanspruchung der Platte sicherzustellen. Die Kissen

## **Titel**

Konzeption und Bau eines Fassadenprüfstands

## **Förderer**

Institut für Massivbau

## **Förderungszeitraum**

04.2013 – 06.2013

## **Leiter**

Dr.-Ing. Harald Michler

## **Bearbeiter**

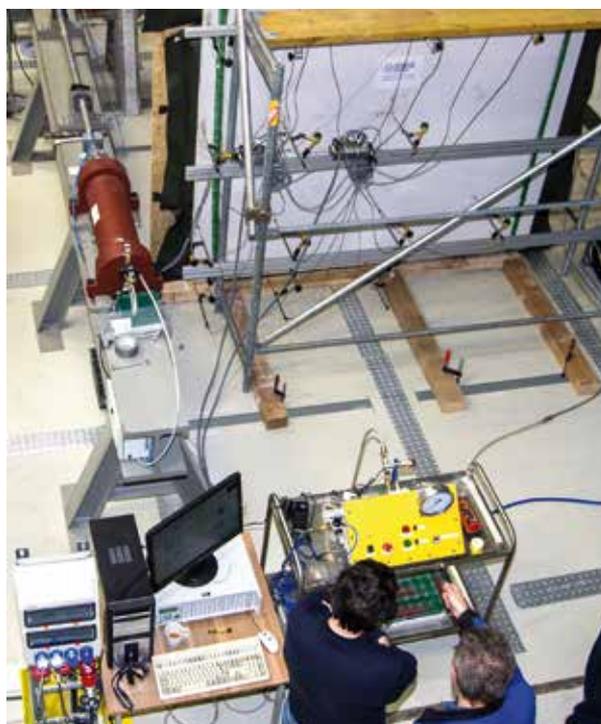
Dipl.-Ing. Sabine Weller, Philipp Kleinwort

sind parallel geschaltet und werden über einen Kompressor mit Druckluft versorgt. Dieser wird in jedem einzelnen Kissen separat gemessen und als Eingangsgröße für die Steuerung verwendet. Dies ist notwendig, da mit relativ kleinen Luftüberdrücken gearbeitet wird und verhältnismäßig große Volumina zu befüllen sind. Durch die Länge der erforderlichen Luftzuführungen entstehen aerodynamische Widerstände beim Befüllen, die entsprechend zu berücksichtigen sind. Je höher der Befüllungsdruck (und damit die Belastung)

wird, desto weniger spielen diese aerodynamischen Widerstände eine Rolle, auch da die zu transportierenden Luftvolumina bei den höheren Drücken abnehmen. Ab einem Kissenüberdruck von ca. 10 Millibar war keine Druckdifferenz in den einzelnen Kissen mehr messbar.

Typischerweise wird mit Beanspruchungen um die 2 kN/m<sup>2</sup> gearbeitet, was einem Luftüberdruck von 20 Millibar in den Kissen entspricht. Bei einem Luftüberdruck von 100 mbar (10 kPa) liegt die Plattenbeanspruchung schon bei 10 kN/m<sup>2</sup>. Damit wäre im Test ein globaler Sicherheitsfaktor von 5 erreicht. Die Luftkissen können bis zu einem Luftüberdruck von 200 Millibar verwendet werden.

Bei den ersten Versuchen haben die getesteten Platten immer das theoretisch ermittelte Verformungsbild gezeigt. Damit wurde der Nachweis erbracht, dass die Belastung vollflächig erfolgt ist. In den aktuell durchgeführten Versuchen wurden Beanspruchungen von 7,2 kN/m<sup>2</sup> erreicht, bevor ein prognostiziertes Versagen in den Verankerungen erfolgt ist.



Fassadenprüfstand mit eingebauter Fassadenplatte. Foto: Harald Michler

# Nachhaltiges Bauen mit Mauerwerk

ReMoMaB steht für **Re**zyklierbare **Mo**dulare **Ma**ssive **Ba**uweise. Diese soll in Zukunft einen Beitrag hin zum ressourcenorientierten Bauen mit Hilfe vollständig rezyklierbarer Bauweisen im Massivbau leisten. Primäres Ziel ist die Trennung aller Komponenten ohne nennenswerte Energieaufwendungen am Ende des Lebenszyklus eines Bauwerks und die direkte Wiederverwendung oder Rückführung möglichst vieler Bauteile. Dazu ist ein generelles Umdenken bei Entwurf und baulicher Durchbildung von Massivbauten notwendig.

Um primäre Tragstrukturen nach diesem Grundsatz zu verwirklichen, werden trocken gefügte Bauelemente verwendet. Das Prinzip beruht darauf, dass beispielsweise durch eine Auflast die Reibungskräfte erhöht werden, wodurch die Querkrafttragfähigkeit erhöht wird und die Wand ein monolithisches Tragverhalten aufweist. Das Grundprinzip bei vorwiegend auf Biegung beanspruchten Decken beruht auf der Kompensation der Deckenzugspannung durch eine zentrische Vorspannung. Entsprechende Bauteilversuche wurden im Otto-Mohr-Laboratorium durchgeführt.

Mit verbundlos gefügten Kalksandsteinelementen können bis zum Ausbau hin vollständig demontierbare Massivkonstruktionen hergestellt werden. Rohbau und Ausbau sind modular aufeinander abgestimmt und alle Verbindungen lösbar. Durch zusätzlichen Einsatz der Vorspannung gelingt es, die Bauteilmassen wesentlich zu reduzieren und Defizite bei aussteifenden Wänden zu kompensieren. Die einzelnen Bauteile und das gesamte Bauwerk lassen sich in kürzester Zeit errichten. Trocknungsphasen entfallen durch Verzicht auf Nassprozesse – vom Rohbau bis zum Ausbau hin. Der Bau wird damit faktisch witterungsunabhängig von der Zeit der Errichtung her verkürzt. In gleicher Weise lässt sich das Bauwerk am Ende des Lebenszyklus sortenrein zerlegen und die Materialien ohne Energieaufwand trennen.

Aus bauphysikalischer Sicht wurde eine Strategie zur Erreichung des Nullenergiestandards entwickelt und darauf aufbauend entsprechende Anforderungen an die Gebäudehülle und den

## Titel

Entwicklung der Grundprinzipien für voll rezyklierbare, modulare, massive Bauweisen in Breitenanwendung auf 0-Energiebasis

## Förderer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), mitfinanziert durch Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH

## Förderungszeitraum

01.2010 – 03.2013

## Leiter

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger  
(TU Dresden, LS Tragwerksplanung)

## Bearbeiter

Dipl.-Ing. Architekt Robert Masou

Dr.-Ing. Tammam Bakeer

Dr.-Ing. Sebastian Ortlepp (alle LS Tragwerksplanung)

## Partner

Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren der Universität Stuttgart | WSGreentechology GmbH Stuttgart

technischen Ausbau definiert. Neben der Bereitstellung eines Ordnungssystems zur Planung des technischen Ausbaus wurde eine detaillierte Gegenüberstellung mit ökobilanzieller Bewertung erarbeitet, bei der gegenwärtig gängige Massivkonstruktionen mit trocken gefügten verglichen wurden. Mit dem Forschungsvorhaben konnte nachgewiesen werden, dass mit demontablen Massivkonstruktionen gegenüber herkömmlichen Bauweisen unter gesamtökologischen Gesichtspunkten ein deutlicher Vorteil erzielt werden kann.



Biegeversuch mit einer ReMoMaB-Platte im OML. Foto: Robert Masou

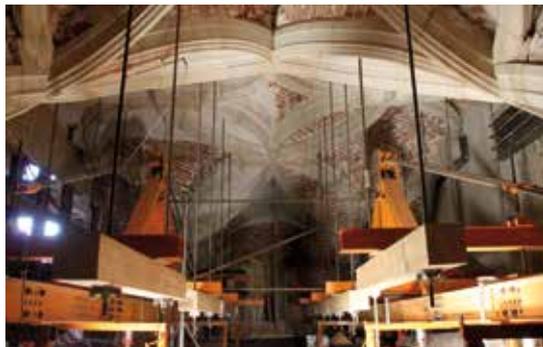
# Probebelastung der Schützkapelle

Die Rekonstruktion der Schützkapelle ist eines der letzten großen Bauvorhaben im Dresdner Schloss. Hier wurde u. a. innerhalb von drei Jahren ein Schlingrippengewölbe nach historischem Vorbild errichtet.

Um fertigungstechnische, handwerkliche und qualitative Aussagen treffen zu können, wurde zuerst ein Gewölbeabschnitt als Probestück im Maßstab 1:1 errichtet. An diesem Probejoch sollte das Tragverhalten eines solchen Gewölbes experimentell bestimmt werden, um die statische Berechnung abzusichern. Vor allem sollten die experimentell ermittelten Verformungen mit den rechnerisch bestimmten verglichen und die Standsicherheit nachgewiesen werden. Mit der Durchführung dieser Belastungsversuche wurde das Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden beauftragt.

Grundlage für den Belastungsversuch war die DAfStb-Richtlinie „Belastungsversuche an Betonbauwerken“, die auch für andere Bauwerke des Massivbaus sinngemäß angewendet werden darf.

In der Berechnung des Gewölbes wurden Flächenlasten angesetzt. Eine solche Belastung konnte vor allem aufgrund der durch die Wölbungen und Rippen sehr ungleichmäßigen Oberfläche nicht realisiert werden. Die Alternative war das Eintragen von insgesamt 48 Einzellasten in ausreichend kleinen Abständen. Diese wurden über Gewi-Rundstähle  $\varnothing 18$  in das unter dem Gewölbe aufgebaute Zwischengeschoss geleitet. Dort wurden jeweils vier Einzellasten über ein Trägersystem zusammen-



Belastungsrahmen und Zugstangen unter dem Probejoch. Foto: Silke Scheerer

## Titel

Probebelastung des Mauerwerksgewölbes der Schütz-Kapelle im Dresdner Schloss

## Auftraggeber

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Dresden I

## Planungsbüro

Jens-Uwe Anwand, Dresden;  
Kröning – Ulbrich – Schröter, Dresden

## Gutachter

Prof. Dr.-Ing. habil. i. R. Heinz Opitz, Dresden

## Versuchsdurchführung

Otto-Mohr-Laboratorium

## Förderungszeitraum

04.2013 – 06.2013

## Leiter

Prof. Dr.-Ing. habil. i. R. Heinz Opitz,  
Dipl.-Ing. Thomas Popp

## Bearbeiter

Ludwig Beier, Tino Jänke, Heiko Wachtel, Bernd Wehner

gefasst. Jede der zusammengefassten zwölf Einzellasten war durch einen separaten Hydraulikzylinder steuerbar, der mit einer elektrischen Kraftmessdose gekoppelt war. Die Widerlager der Hydraulikzylinder bildeten zwei stählerne Belastungsrahmen, die an zwei Stahlbetonunterzügen verankert waren.

Es wurden fünf verschiedene Laststellungen realisiert. Dabei wurden vertikale und horizontale Verschiebungen und an ausgewählten Stellen die Dehnungen an der Ober- und Unterseite des Gewölbes mit induktiven Wegaufnehmern aufgenommen, die an einer separaten Messbasis befestigt waren.

Mit den Belastungsversuchen konnte die Tragfähigkeit des gesamten Probejoches in ausreichender Weise nachgewiesen werden. Die Verformungen im Versuch lagen teilweise wesentlich unter denen aus der Berechnung. Die Berechnungen und deren Grundlagen bilden das Tragwerk auf der sicheren Seite liegend ab und liefern damit den Nachweis einer auch nach heutigen Vorschriften sicheren Konstruktion.

# Schwingungsmessung im GeoSN

Für die Standortbestimmung eines Gravimeters im Staatsbetrieb für Geobasisinformationen in Dresden GeoSN wurde das Otto-Mohr-Laboratorium damit beauftragt, die Beeinflussung durch den vorhandenen Verkehr bzw. durch die innerhalb des Gebäudes eingetragenen Erschütterungen bzw. Schwingungen messtechnisch zu erfassen. Dafür wurden in insgesamt fünf Räumen Schwingungsmessungen durchgeführt.



Auf dem Fußboden applizierter Beschleunigungssensor.  
Foto: Sabine Wellner

Im Allgemeinen werden Schwingungen oder Erschütterungen in Gebäuden immer dann weitergeleitet, wenn keine Entkopplung zwischen den einzelnen Bauteilen vorhanden ist. Die Folge können u. a. Schäden am Gebäude sein. Das im GeoSN vorhandene Gravimeter dient zur Kalibrierung von weiteren Gravimetern, so dass dessen Daten herangezogen werden, um festzustellen, wie stark bei anderen Gravimetern die Abweichung zur Solllage ist. Somit sind für die Standortbestimmung eines Gravimeters bereits kleinste Erschütterungen im Zehntelmillimeterbereich von Bedeutung.

Mit statischen Beschleunigungssensoren wurden die über den Fußboden des Raumes übertragenen Erschütterungen in horizontaler sowie vertikaler Richtung über einen Zeitraum von sieben Tagen mit einer Messrate von 200 Hz gemessen. Dafür wurden Feder-Masse-Beschleunigungssensoren mit einem Messbereich von  $\pm 3$  g verwendet. Insgesamt wurden rund 1,45 Milliarden Werte aufgezeichnet. Je nach Lage des Raumes innerhalb des Gebäudes wurden unterschiedlich starke Schwingungen festgestellt. Durch den anschließenden Vergleich der gemessenen Beschleunigungen in den einzelnen Räumen ist eine Bestimmung des geeignetsten Standorts für das Gravimeter samt Sockel möglich.

Grundsätzlich zeigten die Messungen aber, dass keiner der untersuchten Räume erschütterungsfrei ist, da überall mehr oder weniger große und mehr oder weniger häufige Erschütterungen

gemessen wurden. Um eine Entkopplung des Sockels von der Bodenplatte zu erreichen, müsste der Fußboden unter dem Sockel mit einer umlaufenden Fuge durch Sägeschnitte getrennt und mit einem hochdämpfenden Material verschlossen werden. Eine weitere Möglichkeit stellt die Verwendung einer Dämpfungsplattform dar, welche die Schwingungen vom Gravimeter trennt. Damit kann ein Objekt von seiner Umgebung dynamisch entkoppelt und die Übertragung von Erschütterungen und von Körperschall verringert werden. Die Isolierung erfolgt durch den Einbau von elastischen Materialien oder Bauteilen, wie z. B. passive Membranluftfedern, Luftlager oder aktive Schwingungsisolationssysteme.

## Titel

Schwingungsmessung und Festlegung eines Standortes für ein Gravimeter im GeoSN

## Auftraggeber

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Dresden I

## Versuchsdurchführung

Otto-Mohr-Laboratorium

## Zeitraum

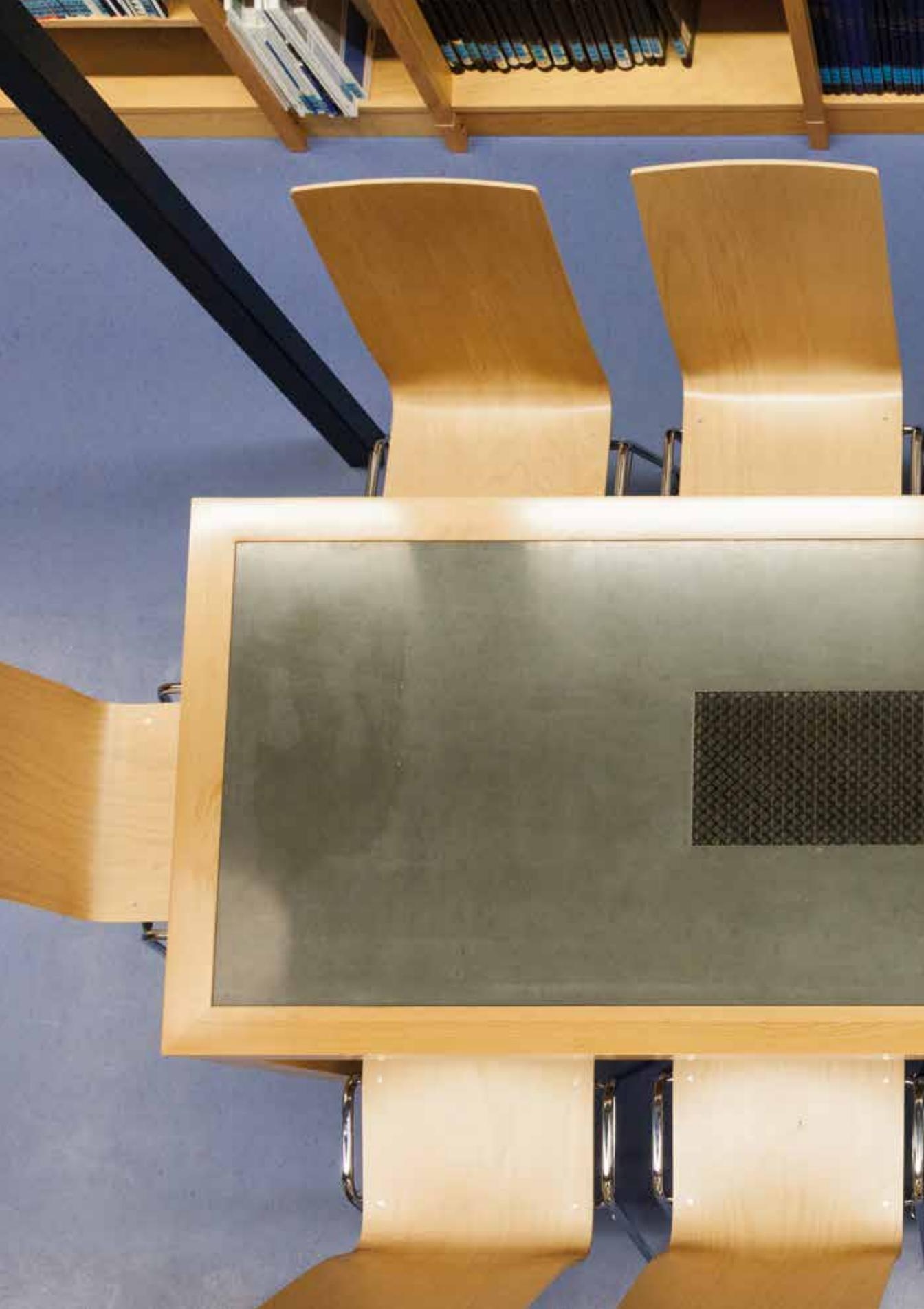
05.2013 – 06.2013

## Leiter

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

## Bearbeiter

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





INSTITUT

# DAS INSTITUT FÜR MASSIVBAU IN ZAHLEN UND FAKTEN

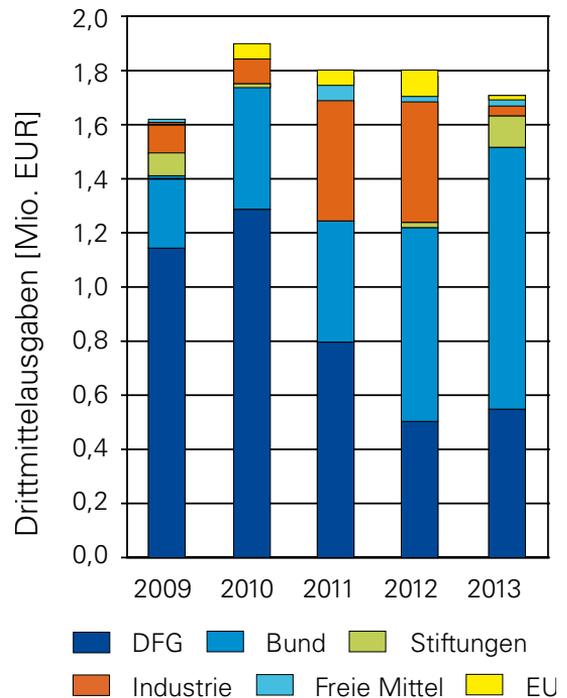
## 1 Organisationsstruktur

Die Organisationsstruktur des Instituts hat sich in den zurückliegenden Jahren bewährt und wurde auch 2013 beibehalten. In Beratungen der Forschungsgruppen, in Institutsversammlungen und in Protokollen zu den Beratungen der Institutsleitung wurde über alle wichtigen Themen informiert. In Projektmeetings und Projektreviews wurde regelmäßig der Stand der Projekte präsentiert und Ergebnisse der Projektarbeit diskutiert. Im Messtechnikzirkel wurde projektübergreifend über Probleme und Möglichkeiten verschiedenster Messverfahren und Messgeräte beraten.

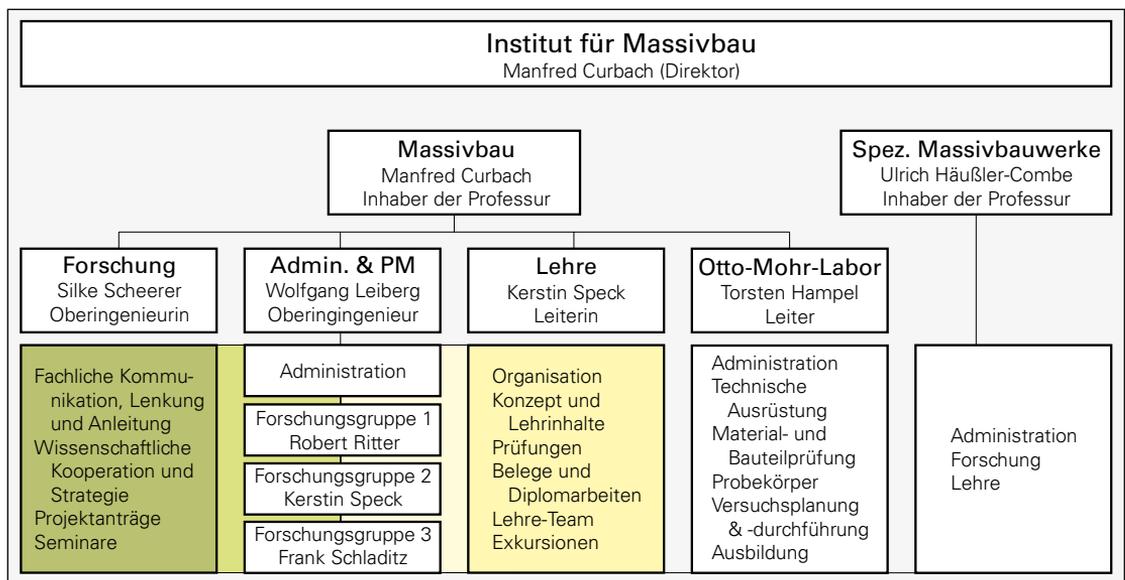
## 2 Grundausrüstung und Drittmittel

Die Grundausrüstung des Instituts für Massivbau bestand im Jahr 2013 aus 35.693 € Sachmitteln, einer Bürofläche von 618 m<sup>2</sup> und einer Laborfläche von 2.442 m<sup>2</sup>. Aus Haushaltsmitteln wurden acht wissenschaftliche und elf technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter finanziert.

Der Drittmittelumsatz am gesamten Institut ist nach wie vor sehr hoch und liegt in der gleichen



Entwicklung der Drittmittelausgaben in den Jahren 2009 – 2013.

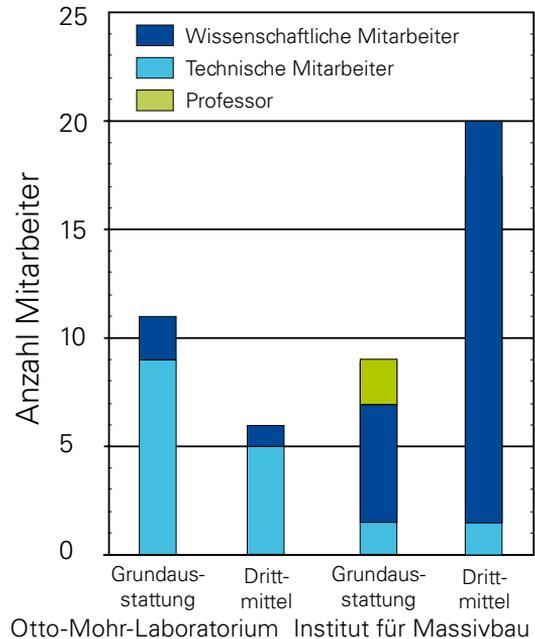


Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand: 31.12.2013).

Größenordnung wie im Jahr zuvor. Größere Veränderungen gab es bei der Herkunft der Drittmittel von den einzelnen Zuwendungsgebern. Nach dem Rückgang der DFG-Drittmittel nach Auslaufen der Förderung des Sonderforschungsbereichs 528 sind die Zuwendungen durch die DFG wieder gestiegen. Ebenso wuchsen die Mittel von Bund und Ländern.

Auch die Anzahl der Mitarbeiter unterliegt Veränderungen. Gerade für die wissenschaftlichen Mitarbeiter besteht das Ziel ihrer Tätigkeit am Institut darin, promoviert zu werden und anschließend die gewonnenen Erfahrungen in der Praxis anzuwenden. So gab es auch im Jahr 2013 die gewünschte Fluktuation im Bereich der wissenschaftlichen Mitarbeiter.

Einem stetigen Wandel unterliegen auch die Arbeitsgebiete und die erforderlichen Kenntnisse und Erfahrungen im Labor. Neue und teilweise weltweit einmalige Versuchsstände veränderten auch die Zusammensetzung und die Anzahl der Mitarbeiter im Otto-Mohr-Laboratorium.



Planstellen und Drittmittelstellen im Jahr 2013.

### 3 Leistungen in der Forschung

Die Aktivitäten im Bereich der industriellen Forschung konzentrierten sich seit 2011 auf den Transfer von Forschungsergebnissen zum Textilbeton in die Industrie. Dazu wurde und wird eine Reihe von Kooperationsprojekten mit kleinen und mittelständischen Unternehmen bearbeitet. Von Jahr zu Jahr stieg das Interesse und die Nachfrage von Firmen. Im Jahr 2013 wurde mit großer Intensität an der Erlangung einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für ein Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton) gearbeitet. Mit großem Engagement vieler Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gelang es, die erforderlichen Untersuchungen abzuschließen und den Prüfbericht beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) im November 2013 einzureichen und zu verteidigen. Wir sind sicher, dass uns mit diesem Ergebnis ein weiterer großer Schritt von der Idee „Textilbeton“ zu dessen breiter praktischer Nutzung gelungen ist.

Vom enormen Potenzial dieses Werkstoffs überzeugt und begeistert, haben wir gemeinsam mit 78 Partnern aus Wirtschaft und Forschung im Rahmen der BMBF-Förderinitiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ das Konsortium

„C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite“ gegründet und ein Initialkonzept „Innovation Textilbeton“ erarbeitet. Durch die erfolgreiche Verteidigung dieses Konzeptes sehen wir uns nun in der Lage, aber auch in der Verantwortung, mit Fördermitteln in Höhe von 45 Mio. Euro und Eigenmitteln der beteiligten Firmen in Höhe von ca. 20 Mio. Euro den carbonbewehrten Beton einer breiten wirtschaftlichen Nutzung zuzuführen. Die Laufzeit des Projektes beträgt sechs Jahre.

Auch der Forschungsschwerpunkt „Verhalten von Beton unter dynamischer Beanspruchung“ entwickelte sich weiter. Mit Hilfe der Förderung durch das BMWi mit dem Projektträger GRS konnte der Aufbau und die Inbetriebnahme des weltweit ersten zweiaxialen Split-Hopkinson-Bars abgeschlossen werden. Weitere Projekte zur Weiterentwicklung und Nutzung dieser Versuchsanlage sind in Vorbereitung bzw. in Bearbeitung. Der nächste große Schritt auf diesem Forschungsgebiet ist bereits getan. Beginnend im Jahre 2012 konnte die erste Aufbaustufe einer Fallturm-Anlage abgeschlossen werden. Damit verfügt das Institut über exzellente Versuchseinrichtungen, um das Verhalten von Beton unter

verschiedensten Belastungsgeschwindigkeiten untersuchen zu können.

Komplettiert werden diese hervorragenden experimentellen Bedingungen durch die weitere Ausprägung unserer Kapazitäten zur Simulation des Verhaltens von Beton.

Im Folgenden sind die Forschungsprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2013 bearbeitet wurden.

**Simulation von Impaktvorgängen mittels Diskrete-Element-Methode**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.10.2010 – 30.09.2013

**Entwicklung hochtemperaturbeständiger gitterartiger Basalttextilien zur Verstärkung mineralischer Matrices (Basaltbewehrungen)**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.07.2011 – 31.03.2014

**Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile**

Förderer: DFG / SPP 1542  
 Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014

**Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen**

Förderer: DFG / SPP 1542  
 Laufzeit: 01.10.2011 – 30.09.2014

**Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit des SPP 1542**

Förderer: DFG / SPP 1542  
 Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014

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

Förderer: BMWi  
 Projektträger: DLR  
 Laufzeit: 01.07.2011 – 31.03.2013

**ROBEX: Robotic Exploration of Extreme Environments**

Förderer: Helmholtz-Gemeinschaft  
 Laufzeit: 01.10.2012 – 30.09.2017

**Modellierung des Verbundverhaltens von Beton- und Spannstahl unter Querzug**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2015

**Kohlenstofffaser-Heizstrukturen in Textilbeton – Gebäudeenergiekonzepte und Integration in die Feinbetonmatrix | smarttex**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.06.2012 – 31.05.2015

**Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitsbehälter (Flugzeugtanks)**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.07.2012 – 31.12.2014

**DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton**

Förderer: DFG  
 Laufzeit: 01.03.2012 – 28.02.2014

**Raumabschließende Bauelemente aus Textilbeton unter Temperaturbeanspruchungen**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.10.2012 – 31.03.2015

**Möglichkeiten zur Beschleunigung von Untersuchungen zur Betonermüdung unter sehr hohen Lastwechselzahlen**

Förderer: DAfStb  
 Laufzeit: 01.01.2012 – 30.08.2014

**Entwicklung eines kletterfähigen Roboters an linearen Führungen zur Bauwerksinspektion**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.09.2012 – 31.08.2014

**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

### **Entwicklung und Erprobung eines Abstandhaltersystems für textile Bewehrungen im Beton**

Förderer: BMWi

Projekträger: AIF

Laufzeit: 01.10.2012 – 30.09.2014

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

Förderer: BMWi

Projekträger: AIF

Laufzeit: 01.07.2012 – 31.12.2014

### **Material- und Verfahrensentwicklung für nachhaltige Instandhaltungs-, Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen von Abwasserbauwerken unter Verwendung von textilbewehrten Betonen**

Förderer: BMWi

Projekträger: AIF

Laufzeit: 01.04.2013 – 31.03.2015

### **Verbesserung der Anwendbarkeit des DEM-Rechencodes**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.10.2013 – 30.09.2016

### **Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation**

Förderer: TU Dresden

Laufzeit: 01.11.2012 – 15.04.2013

### **Probebelastung von Stahlbeton**

Förderer: ESF

Projekträger: SAB

Laufzeit: 01.05.2010 – 30.04.2014

### **Experimentelle Untersuchung des Verhaltens von Stahlbetonplatten unter Impaktbelastung**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2013 – 30.06.2016

### **Kompakthöchstspannungsmasten und -Traversen (KoHöMaT)**

Förderer: BMWi

Projekträger: Forschungszentrum Jülich GmbH

Laufzeit: 01.10.2013 – 30.09.2015

### **Wissenschaftlich-Technische Betreuung (WTB) beim Projekt zur Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommerns**

Auftraggeber: Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern

Laufzeit: 01.06.2011 – 31.12.2014

### **Versuche zur Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für ein Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton)**

Auftraggeber: TUDALIT e.V.

Laufzeit: 01.01.2011 – 30.06.2014

## 4 Wichtige Publikationen 2013

**Brückner, A.; Wellner, S.; Ortlepp, R.; Scheerer, S.; Curbach, M.:** Plattenbalken mit Querkraftverstärkung aus Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Belastung. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 3, S. 169–178 – DOI: 10.1002/best.201200075

**Frenzel, M.; Ortlepp, R.; Scheerer, S.; Curbach, M.:** Hormigón armado con textiles. Un material innovador, ligero y moldeable – Textile Reinforced Concrete. A novel, light and shapeable material. Hormigón y Acero 64 (2013) 268, S. 47–74

**Ritter, R.; Curbach, M.:** Strain Measurement of Steel Fiber-Reinforced Concrete under Multiaxial Loads with Fiber Bragg Grating. ACI Materials Journal 110 (2013) 1, S. 57–66

**Lorenz, E.; Schütze, E.; Schladitz, F.; Curbach, M.:** Textilbeton – Grundlegende Untersuchungen im Überblick. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 10, S. 711–722 – DOI: 10.1002/best.201300041

**Schacht, G.; Müller, L.; Curbach, M.; Marx, S.:** Schubbruchgefahr bei hochbautypischen Stahlbetonplattenträgerwerken. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 9, S. 592–602 – DOI: 10.1002/best.201300033

**Schmidt, A.; Henke, M.; Fischer, O.; Curbach, M.:** Formvariationen von Druckgliedern. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 11, S. 792–803 – DOI: 10.1002/best.201300053

## 5 Wichtige Konferenzbeiträge und Vorträge 2013

**Curbach, M.:** Brückenbau morgen – was in Zukunft wichtig sein könnte. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 11.–12.03.2013 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 15–19 – ISBN 987-3-86780-313-7

**Frenzel, M.; Ehlig, D.; Schladitz, F.; Curbach, M.:** Textile Reinforced Concrete – Practical Applications. In: Dancygier, A. N. (Hrsg.): Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling & Construction – Proceedings of the fib Symposium 2013 in Tel-Aviv, 22.–24.04.2013, Israeli Association of Construction & Infrastructure Engineers (IACIE) & Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion – Israel Institute of Technology, 2013, 8 S. (published on CD)

**Häußler-Combe, U.; Kühn, T.:** A viscoelastic retarded damage material law for concrete structures exposed to impact and explosions. In: van Mier, J.; Ruiz, G.; Andrade, C.; Yu, R.; Zhang, X. (Hrsg.): Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-8), 10.–14.03.2013 in Toledo (Spain), book: ISBN 978-84-941004-0-6, CD-ROM: ISBN 978-84-941004-3-7, 2013, 1, S. 964–975

**Just, M.; Quast, M.; Curbach, M.:** Concrete at high dynamic biaxial loads. In: Suresh, N.; Ramathirtha, H. N. (Hrsg.): Proceedings of Protect 2013, 26.–27.08.2013 in Mysore (India), published on CD, 10 S.



Prof. Manfred Curbach während seines Vortrags beim Brückenbausymposium im März 2013.  
Foto: 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 (WaWi), Wirtschaftsingenieurwesen (WiWi) und Erziehungswissenschaften (EW) angeboten.

<b>Veranstaltung</b>	<b>Art</b>	<b>Sem.</b>	<b>Vortragende</b>	<b>SWS</b>	<b>Studiengang</b>
Stahlbetonbau	V/Ü	5.	Speck, Ritter	1/1	BIW
Mauerwerksbau	V	5.	Häußler-Combe	1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V	7.	Curbach, Scheerer	2	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	V	7.	Schacht, Zobel	2	BIW
Massivbrückenbau	V	7.	Curbach, Just	2	BIW
Schräggabelbrücken	V	7.	Svensson	1	BIW
Nachhaltige Tragwerksplanung	V	7.	Speck	1	BIW, EW
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, N. Schmidt, Schütze, Zobel	720 h	ACCESS

Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2012/2013.

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende	SWS	Studiengang
Stahlbetonbau	V	4.	Speck	2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Speck, Ritter, Wilhelm	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.	Scheerer, Michler, Just, Quast, Speck	1/3	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	Ü	8.	Schacht, Zobel	1,5	BIW
Mess- und Versuchstechnik	V/Ü	8.	Hampel	1/0,5	BIW
Schräggabelbrücken	V	8.	Svensson	1	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
Computational Methods for Reinforced Concrete Structures	V/Ü	2	Häußler-Combe	2/1	ACCESS

Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2013.



...und am Ende gibt's das Diplomzeugnis: Absolventinnen und Absolventen am Tag der Fakultät.

Foto: Ulrich van Stipriaan

<b>Veranstaltung</b>	<b>Art</b>	<b>Sem.</b>	<b>Vortragende</b>	<b>SWS</b>	<b>Studiengang</b>
Stahlbetonbau	V/Ü	5.	Speck, Wilhelm	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
Schrägbelbrücken	V	7.	Svensson	1	BIW
Nachhaltige Tragwerksplanung	V	7.	Speck	1	BIW
Projektarbeit	B	9.	Curbach, Häußler-Combe, Finzel, Frenzel, Just, Schacht, Scheerer, A. Schmidt, Speck, Weselek	780 h	BIW
Project Work	B	4.	Frenzel, Just, Quast, N. Schmidt, Schütze, Wilhelm, Zobel	720 h	ACCESS

Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2013/2014.

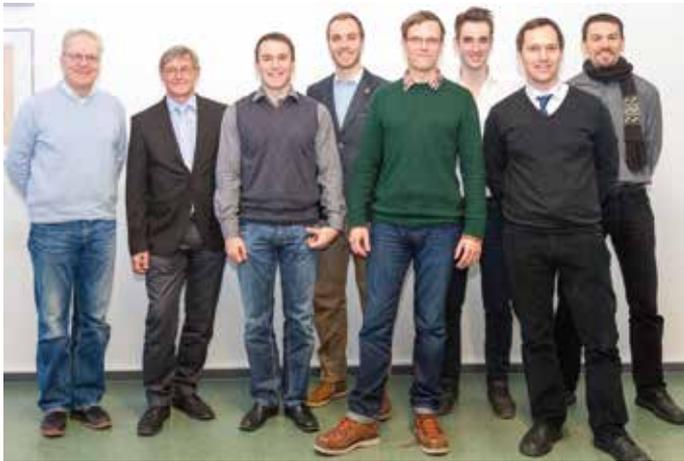
Die Einbindung der Studenten in die laufenden Forschungsprojekte stellt einen wesentlichen Aspekt der Lehre, aber auch der Forschung dar. Durch die Mitarbeit an konkreten Projekten als studentische Hilfskraft oder im Rahmen von Belegen, Projektarbeiten/Project Works, Diplom-

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 Forschungspotenzials.

	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Diplomarbeiten	9	1	2	6	3	8	13	11
Masterarbeiten	1	1	1	4	1	1	3	7

Diplom- und Masterarbeiten am Institut für Massivbau in den Jahren 2006 – 2013

Jahrestreffen der externen Promovierenden.  
Bild: Ulrich van Stipriaan



## 7 Wissenschaftlicher Nachwuchs

Im zurückliegenden Jahr 2013 verteidigten – in chronologischer Reihenfolge – Laura Ritter, Birgit Beckmann und Robert Ritter erfolgreich ihre Doktorarbeiten. Derzeit haben 13 wissen-

schaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter das Ziel, am Institut für Massivbau zu promovieren. Zudem werden aktuell sieben externe Doktoranden betreut.

### Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2008 – 2013

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Promotionen	2	4	1	5	1	3

### Promotionen als Erstgutachter 2013

#### Birgit Beckmann

DEM-Simulation von Bruchphänomenen im Beton

#### Laura Ritter

Der Einfluss von Querzug auf den Verbund zwischen Beton und Betonstahl

#### Robert Ritter

Verformungsverhalten und Grenzflächen von Ultrahochleistungsbeton unter mehraxialer Beanspruchung



Promovenden des Jahrgangs 2013.  
Bild: Ulrich van Stipriaan

### Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2008 – 2013

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Promotionen	2	5	1	1	1	1

## 8 Austausch und Zusammenarbeit

Ausdruck der Anerkennung und Wertschätzung der von den Mitarbeiterinnen und 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 Professor Curbach als Leiter der Deutschen Delegation des Internationalen Beton-Verbandes fib (federation internationale du beton) und arbeitet im Landesfachausschuss der CDU „Wirtschaftspolitik, Wissenschaft und Innovation“ sowie im Materialforschungsverbund Dresden e.V. mit.

Professor 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, Mitglied des Forschungsbeirats des DAfStb und Mitglied des Fachkollegiums Bauwesen und Architektur der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Im Juni 2013 wurde Prof. Curbach zudem in die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina aufgenommen.

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 Professor Häußler-Combe Mitglied im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, in der German Association for Computational Mechanics, in der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik und im Verein der Straßenbau- und Verkehrsingenieure.

## 9 Tagungen und Kongresse

### **23. Dresdner Brückenbausymposium**

am 11. und 12.03.2013, 1.350 Teilnehmer.  
 Veranstalter: Institut für Massivbau unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach in Zusammenarbeit mit dem Verein der Freunde des Bauingenieurwesens der TU Dresden e.V. und der TUDIAS GmbH

### **Sommerschule des DFG-Schwerpunktprogramms 1542**

vom 10. bis 14.06.2013 in Meisdorf/Harz, 70 Teilnehmer und Vortragende.  
 Organisation durch des Institut für Masivbau der TU Dresden und gefördert durch die DFG.

### **7. Symposium Experimentelle Untersuchung von Baukonstruktionen**

am 05.09.2013, 100 Teilnehmer.  
 Veranstalter: TU Dresden, Institut für Massivbau, und TUDIAS GmbH

## 10 Anerkennungen

Im Jahr 2013 wurden einige der hervorragenden Leistungen des Instituts für Massivbau geehrt.

### **Kurt-Beyer-Preis**

Dr.-Ing. Anett Brückner  
 Dissertation zum Thema „Querkräfteverstärkung von Bauteilen mit textilbewehrtem Beton“  
 Stifter: HOCHTIEF Solutions AG

### **Gottfried-Brendel-Preis, 1. Preis**

Dipl.-Ing. Angela Schmidt  
 „Form Follows Force – Optimierung der Geometrie von Stützen“  
 Stifter: Bilfinger SE

### **Schlaun-Wettbewerb, 2. Preis:**

Dipl.-Ing. Kevin Wahl  
 Projektarbeit: „Entwurf und Bemessung einer Radfahrer- und Fußgängerbrücke über die Ems nahe der Stadt Rheine“  
 Verleihende Einrichtung: Schlaun-Forum e.V.

### **Züblin-Stahlbau-Preis, 2. Preis:**

Andra Corina Buescu M.Sc.  
 Projektarbeit: „Sustainability of composite slabs in steel construction“  
 Verleihende Einrichtung: Züblin Stahlbau GmbH, Hosena

### **Günther-Grüning-Preis:**

Dipl.-Ing. Lukas Müller  
 Diplomarbeit: „Schubtragverhalten von Stahlbetonplatten“  
 Verleihende Einrichtung: Landesvereinigung der Prüfeningenieure für Bautechnik in Sachsen

### **Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
 Aufnahme in die Leopoldina in Anerkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen und seiner Persönlichkeit

# PROMOTIONEN



Laura Ritter

## Der Einfluss von Querkzug auf den Verbund zwischen Beton und Betonstahl

Der Verbundwerkstoff Stahlbeton zeichnet sich durch das effektive Zusammenwirken seiner beiden Einzelkomponenten Stahl und Beton aus. Dieses wiederum kann nur durch ausreichend gute Verbundbedingungen zwischen beiden Baustoffen gewährleistet werden. Die Verbundeigenschaften werden von zahlreichen Faktoren beeinflusst, zu denen u. a. die Oberflächenprofilierung des Stahls, die Betonfestigkeit und die Umschnürungswirkung durch den umgebenden Beton oder eine Querbewehrung zählen. Auch eine quer zum Stab angreifende Belastung kann einen erheblichen Einfluss auf den Verbundmechanismus und die Verbundversagensart haben. Bei Stahlbetonbauteilen unter einer zweiaxialen Zugbelastung, wie sie z. B. in Behälterwänden oder zweiachsig gespannten Platten auftritt, unterliegt die Bewehrung sowohl einer Längszug- als auch einer Querkzugbeanspruchung.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss einer Querkzugbelastung auf das Verbundverhalten zwischen Rippenstählen und Normalbeton mit Hilfe von würfelförmigen Ausziehkörpern mit einer kurzen Verbundlänge untersucht. Dabei lag das Querkzugniveau stets unterhalb der Risslast des Betons, so dass keine Risse entlang des einbetonierten Stabes auftraten. Neben der Höhe der Querkzugbelastung wurden im Versuchsprogramm die Betonfestigkeit, der Stabdurchmesser und die Betondeckung variiert.

Anhand der Versuchsergebnisse konnte gezeigt werden, dass sich auch unter einer Querkzugbelastung der Verlauf der Verbundspannung-Schlupf-Beziehung nicht ändert. Die Art des Verbundversagens wird jedoch maßgeblich durch den Querkzug beeinflusst, welcher ein Spaltbruchversagen in jedem Fall begünstigt. Mit steigendem Querkzug tritt auch bei großen Betondeckungen statt eines Ausziehversagens

ein Spaltbruchversagen ein. Mittels des vorgeschlagenen Berechnungsmodells können in Abhängigkeit des Querkzugniveaus und der Größe der Betondeckung Grenzlinien für den Wechsel im Verbundversagensmodus bestimmt werden. Hierbei wurde ebenfalls der Einfluss der Probekörpergeometrie auf die Versuchsergebnisse in die Berechnung einbezogen, so dass die angegebenen Grenzlinien auch für reale Einbettungslängen der Bewehrung gelten.

Weiterhin wurde anhand der Versuchsdaten sowie eines Datensatzes aus der Literatur ein Verbundmodell für kurze Verbundlängen entwickelt, das den Einfluss der bezogenen Rippenfläche der Bewehrung und der Betonfestigkeit sowohl auf die Verbundspannungen als auch auf die zugehörigen Schlupfwerte berücksichtigt.

Über einen zusätzlichen Datensatz zum Einfluss der Verbundlänge im Ausziehversuch konnte ebenfalls die Abhängigkeit zwischen den mittleren Verbundspannungen, den zugehörigen Schlupfwerten und der Verbundlänge spezifiziert werden. Somit ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse von Ausziehversuchen mit kurzen Verbundlängen auf eine reale Einbettungslänge im Bauteil möglich.

Für die Bemessung von Stahlbetonkonstruktionen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit erfolgt die Ableitung geeigneter Verformungskriterien für die Relativverschiebung zwischen Betonstahl und Beton und deren Verifizierung an Versuchsdaten aus der Literatur. Die aufgestellten Verformungskriterien in Abhängigkeit der Stahlspannung erlauben eine direkte Ermittlung bemessungsrelevanter Verbundspannungen anhand experimenteller Ausziehversuche. Die Berücksichtigung einer Querkzugbelastung ist dabei in allen vorgestellten Berechnungsansätzen ebenfalls möglich.

Birgit Beckmann

## DEM-Simulation von Bruchvorgängen im Beton

Erkenntnissuche und ein vertieftes Verständnis des Materialverhaltens von Beton sind das zentrale Anliegen dieser Arbeit. Die sehr komplexen Vorgänge von Bruch-, Rissbildungs- und Schädigungsprozessen im Beton zu verstehen, ist von grundsätzlichem Interesse. Um das Verständnis der Bruchphänomene zu vertiefen, wird im Rahmen dieser Arbeit eine zweidimensionale Simulation entwickelt und vorgestellt, mit der Bruchvorgänge im Beton auf Grundlage der Diskrete Elemente Methode (DEM) beschrieben werden. Dabei steht nicht das Erreichen einer bestimmten Maximallast oder Bruchspannung im Vordergrund, sondern das grundsätzliche Abbilden der Bruchphänomene und Versagensmechanismen von Festbeton. Einen besonderen Schwerpunkt bildet die Untersuchung der Rissentwicklung.

In der Partikelsimulation werden die den Beton repräsentierenden Partikel beschrieben. Risse sind dabei die Abwesenheit von Betonmaterial und entstehen von selbst, wenn Partikel sich voneinander wegbewegen. Ein besonderer Vorteil der Diskrete-Elemente-Modellierung ist es, dass Diskontinuitäten eine inhärente Eigenschaft der Methode sind. Daher werden Risse nicht durch spezielle Risselemente dem Modell hinzugefügt, sondern Risse sind als eine Diskontinuität *a priori* Teil der Modellierungsmethode. Unter der Verwendung einer großen Anzahl von an sich einfachen Partikeln entstehen komplexe, makroskopisch beobachtbare Effekte allein durch die Interaktion der Partikel. Auf diese Weise wird ein explizites Hinzufügen der makroskopischen Größen vermieden. In der vorgestellten Simulation werden aufgrund ihrer Formstabilität polygonale Partikel gewählt. In Hinblick auf den Betonkörper können konvexe und konkave Geometrien behandelt werden, wobei die Konvexität der Partikel in beiden Fällen erhalten bleibt. Um die Betonbestandteile Zuschlag und Zementmatrix zu modellieren, wird eine Substruktur eingeführt.

In der Simulation werden die Einwirkung und Übertragung äußerer Belastung analysiert und dabei die Entstehung von Mikrorissen und Gefügeänderungen sowie die Auswirkungen von

Defekten in der Struktur der Materialien auf ein phänomenologisch geändertes Materialverhalten untersucht. Am Beispiel eines einaxialen Druckversuchs, bei dem ein Betonprobekörper bis zum vollständigen Versagen belastet wird, werden die Ergebnisse der Simulation mit denen eines realen Laborversuchs verglichen. Dabei wird gezeigt, dass in der Simulation wie auch im Laborexperiment die Rissmuster sich im Detail unterscheiden, jedoch dieselbe phänomenologische Gestalt aufweisen. Die während des Belastungsverlaufs entstehende Schädigungsakkumulation wird untersucht und mit Laborversuchen verglichen. Dabei wird gezeigt, dass ab einer bestimmten Belastungsintensität die Schädigung im Betonprobekörper so stark zunimmt, dass im weiteren Belastungsverlauf aufgrund der fortschreitenden Rissentwicklung nicht mehr von einem kontinuierlichen Körper ausgegangen werden kann. Darüber hinaus werden Simulationsrechnungen für verschiedene Belastungsgeschwindigkeiten vorgestellt. Im Ergebnis der Simulation werden bei höheren Belastungsgeschwindigkeiten höhere Maximallasten ermittelt sowie ein spröderes Materialverhalten des Betons festgestellt.

Mit der vorgestellten DEM-Simulation werden die Bruchphänomene im Beton in ihrem statistisch variierenden Charakter abgebildet. Dabei zeigen die Simulationsergebnisse, dass Partikelsimulationen beziehungsweise DEM-Simulationen ein geeigneter und sinnvoller Ansatz für die numerische Untersuchung von Rissentwicklung und Bruchvorgängen im Beton sind.

Robert Ritter

## Verformungsverhalten und Grenzflächen von Ultrahochleistungsbeton unter mehraxialer Beanspruchung

Treten im Beton mehraxiale Spannungszustände auf, führen diese gegenüber einer einaxialen Beanspruchung zu einer signifikanten Änderung des Materialverhaltens. Neben einer festigkeitssteigernden bzw. -abmindernden Wirkung ergeben sich ebenfalls große Unterschiede im Spannungs-Dehnungs-Verhalten. Zur effizienten Konzipierung von Betonstrukturen unter komplexen Beanspruchungszuständen ist daher die Kenntnis des veränderten Materialverhaltens notwendig.

Zur experimentellen Bestimmung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens eines Ultrahochleistungsbetons mit einer einaxialen Druckfestigkeit von über 170 N/mm<sup>2</sup> wurden mehraxiale Belastungsversuche an würfelförmigen Probekörpern durchgeführt. Die Untersuchung umfasste insgesamt 35 zwei- und dreiaxiale Spannungsverhältnisse unter proportionaler Laststeigerung mit vorrangiger Betrachtung von Zug-Druck-Druck-Beanspruchungen. Für die Einleitung der Zugbeanspruchungen in die Prüfkörper wurde eine neue Methode entwickelt, bei der mittels einbetonierter Schrauben die Belastung auf den Beton übertragen wird. Die Bestimmung des Verformungsverhaltens erfolgte im Inneren der Probekörper mit sechs tetraederförmig angeordneten Faser-Bragg-Gittern. Die somit direkt gemessenen Dehnungen ermöglichen die nachträgliche Berechnung der Komponenten des Dehnungstensors des Bezugskordinatensystems.

Für den untersuchten Ultrahochleistungsbeton fallen die auf die einaxiale Druckfestigkeit bezogenen mehraxialen Festigkeitswerte mit zunehmendem hydrostatischen Druckspannungsanteil der Beanspruchung geringer aus als bei Normalbetonen. Weiterhin weist das Verformungsverhalten eine größere Sprödigkeit gegenüber Normalbetonen auf, so dass auch unter dreiaxialen Druckspannungszuständen die Probekörper schlagartig versagen.

Aus den gemessenen Spannungs-Dehnungs-Linien werden neben den maximalen Festigkeiten die Festigkeitswerte an der Elastizitätsgrenze,

der Affinitätsgrenze sowie beim Volumenminimum der Probekörper bestimmt. Zur Approximation dieser charakteristischen Werte wurde eine Grenzflächenbeschreibung entwickelt und an den Versuchsergebnissen kalibriert.

Des Weiteren erfolgte die Zusammenstellung einer Datenbank mit in der Literatur verfügbaren mehraxialen maximalen Festigkeitswerten von Betonen mit einaxialen Druckfestigkeiten von 10 N/mm<sup>2</sup> bis 180 N/mm<sup>2</sup> und die Kalibrierung des entwickelten Modells zur Grenzflächenbeschreibung in Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeit. Die bei der Kalibrierung der Grenzfläche für einzelne Betonfestigkeitsklassen bestimmten Freiwerte hängen dabei stark von den vorliegenden Versuchsdaten und speziell vom Wertebereich der hydrostatischen Spannungsanteile der maximalen Beanspruchungen ab.

Die Approximation des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens der mehraxial beanspruchten Probekörper erfolgt mittels eines schädigungs-basierten Materialgesetzes. Hierbei wird für den anfänglich isotropen Beton zum einen eine lastinduzierte isotrope Schädigung und zum anderen eine lastinduzierte orthotrope Schädigung angenommen, die von den auftretenden Hauptdehnungen abhängig ist. Mit dem entwickelten Materialgesetz werden sehr gute Übereinstimmungen mit den gemessenen Spannungs-Dehnungs-Linien erreicht, so dass sich ebenfalls eine gute Vorhersage der maximalen Festigkeitswerte ergibt.



## PUBLIKATIONEN 2013

### Monografien und ausgewählte Forschungsberichte

- Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdener Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 11.–12.03.2013 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, 304 S. – ISBN 987-3-86780-313-7
- Curbach, M.; Brückner, A.; Ortlepp, R.; Wellner, S.; Scheerer, S.: Untersuchungen zur Querkraftverstärkung mit Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung. Schlussbericht zum DAfStb-Vorhaben V 472, Institut für Massivbau der TU Dresden, August 2013, 136 S.
- Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2012 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Eigenverlag, 2013, 128 S.
- Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T.: Tagungsband zum 7. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen am 05.09.2013 in Dresden. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 32, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, 200 S. – ISSN 1613-6934
- Hummeltenberg, A.; Kühn, T.; Just, M.; Quast, M.; Curbach, M.; Häußler-Combe, U.: Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten – Experimentelle Untersuchungen zur zweiaxialen Festigkeit und Formulierung einer stoffgesetzlichen Beschreibung. Abschlussbericht zum BMWi-Forschungsvorhaben 1501377A, Institut für Massivbau der TU Dresden, September 2013, 197 S.

Marx, S.; Schacht, G.; Maas, H.-G.; Liebold, F.; Bolle, G.: Versuchsgrenzlastindikatoren bei Belastungsversuchen II. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Zukunft Bau“, 2013, 80 S.

Schröder, S.: Der Einfluss der zweiaxialen Zugbelastung auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Beton und gemischt bewehrten Bauteilen. Dissertation, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, veröffentlicht 2013 unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-103866> und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 31, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, 245 S. – ISSN 1613-6934

Wellner, S.; Wachtel, H.; Hampel, T.: Schwingungsmessung und Festlegung des günstigsten Standortes für ein Gravimeter im Staatsbetrieb für Geobasisinformation und Vermessung Sachsen, Dresden. Bericht im Auftrag des SIB Dresden I, 2013

### Beiträge in Zeitschriften oder Monografien

- Brückner, A.; Wellner, S.; Ortlepp, R.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Plattenbalken mit Querkraftverstärkung aus Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Belastung. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 3, S. 169–178 – DOI: 10.1002/best.201200075
- Curbach, M.: Bauen für die Zukunft. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 11, S. 751

- Curbach, M.: Concrete light – possibilities and visions. *Structural Concrete* 14 (2013) 2, S. 87–88 – DOI: 10.1002/suco.201390010
- Curbach, M.; Schladitz, F.; Lieboldt, M.: Zwanzig20 – Carbon in Beton leitet die Zukunft des Bauens ein. *Carbon Composites Magazin* (2013) 2, S. 78
- Frenzel, M.; Ortlepp, R.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Hormigón armado con textiles. Un material innovador, ligero y moldeable – Textile Reinforced Concrete. A novel, light and shapeable material. *Hormigón y Acero* 64 (2013) 268, S. 47–74
- Frenzel, M.; Nguyen, V. A.; Curbach, M.: Be tong luoi soi – Phan 1: Thanh phan cau tao va tinh chat. *Tap chi xay dung cua bo xay dung* 52 (2013) 5, S. 78–81
- Frenzel, M.; Nguyen, V. A.; Curbach, M.: Be tong luoi soi – Phan 2: Nghien cuu thuc nghiem va ung dung thuc te. *Tap chi xay dung cua bo xay dung* 52 (2013) 9, S. 88–90
- Lieboldt, M.; Mechtcherine, V.: Capillary transport of water through textile-reinforced concrete applied in repairing and/or strengthening cracked RC structures. *Cement and Concrete Research* 52 (2013) 10, S. 53–62
- Lorenz, E.; Schütze, E.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Textilbeton – Grundlegende Untersuchungen im Überblick. *Beton- und Stahlbetonbau* 108 (2013) 10, S. 711–722
- Michler, H.: Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton – Rottachsteg Kempten im Allgäu. *Beton- und Stahlbetonbau* 108 (2013) 5, S. 325–334
- Quast, M.; Curbach, M.: Betone unter hochdynamischen Einwirkungen. In: Nothnagel, R.; Twelmeier, H. (Hrsg.): Baustoff und Konstruktion – Festschrift zum 60. Geburtstag von Harald Budelmann, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2013, S. 493–500
- Ritter, R.; Curbach, M.: Strain Measurement of Steel Fiber-Reinforced Concrete under Multiaxial Loads with Fiber Bragg Grating. *ACI Materials Journal* 110 (2013) 1, S. 57–66
- Schacht, G.; Bolle, G.; Marx, S.: Messen bei Querkraftversuchen – Technische Entwicklung und heutige Möglichkeiten. *Beton- und Stahlbetonbau* 108 (2013) 12, S. 875–887 – DOI: 10.1002/best.201300050
- Schacht, G.; Hoffmann, N.; Marx, S.: Federgelenke – Anwendung im Hoch- und Brückenbau. *Stahlbau* 82 (2013) 12, S. 903–910 – DOI: 10.1002/stab.201310115
- Schacht, G.; Müller, L.; Curbach, M.; Marx, S.: Schubbruchgefahr bei hochbautypischen Stahlbetonplattentragwerken. *Beton- und Stahlbetonbau* 108 (2013) 9, S. 592–602 – DOI: 10.1002/best.201300033
- Schmidt, A.; Curbach, M.: Historische Betrachtungen zur Formoptimierung von Stützen. In: Krawtschuk, A.; Zimmermann, T.; Strauss, A. (Hrsg.): Werkstoffe und Konstruktionen – Innovative Ansätze 2013. Festschrift zu Ehren von o.Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.phil. Dr.-Ing.e.h. Konrad Bergmeister, MSc., Ernst & Sohn, 2013, S. 19–26
- Schmidt, A.; Henke, M.; Fischer, O.; Curbach, M.: Formvariationen von Druckgliedern. *Beton- und Stahlbetonbau* 108 (2013) 11, S. 792–803 – DOI: 10.1002/best.201300053
- Schütze, E.; Tietze, M.; Curbach, M.; Hülsmeier, F.: Heizen mit Bauteilen aus Textilbeton – Das Projekt smarttex. *Carbon Composites Magazin* 2 (2013) 2, S. 79
- Sovják, R.; Vogel, F.; Beckmann, B.: Triaxial Compressive Strength of Ultra High Performance Concrete. *Acta Polytechnica* 53 (2013), S. 901–905
- Vogel, F.; Sovják, R.; Máca, P.; Beckmann, B.: Experimentální stanovení pevnosti vysokohodnotného betonu v trojosém tlaku. *Beton-TKS* 13 (2013) 4, S. 100–103
- Weber, W.; Curbach, M.: Wellenausbreitung in bewehrten Feinbetonpaneelen. *Beton- und Stahlbetonbau* 108 (2013) 8, S. 562–569 – DOI: 10.1002/best.201200068
- Weiland, S.; Schladitz, F.; Schütze, E.; Timmers, R.; Curbach, M.: Rissinstandsetzung eines Zuckersilos. *Bautechnik* 90 (2013) 8, S. 498–504 – DOI: 10.1002/bate.201300046
- Zalewski, S.; Schacht, G.; Bachmann, H.; Curbach, M.: Beschreibung der Querkrafttragfähigkeit von stumpf gestoßenen Fertigteilstützen unter Berücksichtigung einer außergewöhnlichen Stoßbelastung. *Beton- und Stahlbetonbau* 108 (2013) 7, S. 441–451 – DOI: 10.1002/best.201300021

#### Beiträge in Tagungsbänden und Vorträge

- Beckmann, B.; Schicktanz, K.; Curbach, M.: DEM-Simulation of Concrete Fracture Phenomena. Vortrag auf der ICMM3 – 3rd International Conference on Material Modelling 2013 in Warsaw, Poland, Druck in Vorbereitung
- Bolle, G.; Schacht, G.; Burkhardt, R.: Experimentelle Tragsicherheitsbewertung an Spannbetonhohlplatten eines Parkdecks. In: Raupach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 3. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, 22.–23.01.2013 an der Technischen Akademie Esslingen in Ostfildern, S. 493–502 – ISBN 98-3-943563-03-0
- Brückner, A.; Ortlepp, R.; Wellner, S.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Plattenbalken mit Querkraftverstärkung aus Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Belastung. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 11.–12.03.2013 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 255–266 – ISBN 987-3-86780-313-7
- Curbach, M.: Brückenbau morgen – was in Zukunft wichtig sein könnte. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 11.–12.03.2013 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 15–19 – ISBN 987-3-86780-313-7

- Curbach, M.; Scheerer, S.: Form follows force – Materialminimiertes Bauen mit Beton. BFT International 79 (2013) 2, S. 10–11 [Proceedings der 57. Betontage & Vortrag, 05.–07.02.2013 in Neu-Ulm]
- Curbach, M.; Scheerer, S.; Hampel, T.; Schmidt, N.; Wellner, S.: Structural Reassessment of Existing Road Bridges in Germany. In: IABSE c/o ETH Hönningerberg (Hrsg.): Proceedings of IABSE Conference Rotterdam 2013 – Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures, 06.–08.05.2013 in Rotterdam, Conference Report, Vol. 99, S. 420–421 – ISBN 978-3-85748-123-9
- Curbach, M.; Scheerer, S.: Leicht Bauen mit Beton. In: Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke der TU Dresden (Hrsg.): Tagungsband zum 17. Dresdner Baustatik-Seminar am 25.10.2013 in Dresden, S. 95–107 – ISSN: 1615-9705
- Curbach, M.; Schmidt, N.; Wellner, S.: Chronik des Brückenbaus. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 11.–12.03.2013 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 279–301 – ISBN 987-3-86780-313-7
- Frenzel, M.; Ehlig, D.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Textile Reinforced Concrete – Practical Applications. In: Dancygier, A. N. (Hrsg.): Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling & Construction – Proceedings of the fib Symposium 2013 in Tel-Aviv, 22.–24.04.2013, Israeli Association of Construction & Infrastructure Engineers (IACIE) & Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion – Israel Institute of Technology, 2013, 8 S. (published on CD)
- Frenzel, M.; Kahnt, A.: Ökobilanzielle Betrachtung von leichten Sandwichelementen aus Beton. In: Breitenbücher, R.; Mark, P. (Hrsg.): Beiträge zur 1. DAfStb-Jahrestagung mit 54. Forschungskolloquium am 07.–08.11.2013 an der Ruhr-Universität Bochum, Ruhr-Universität Bochum 2013, S. 23–28
- Häußler-Combe, U.; Hartig, J.; Weselek, J.: Stochastic Crack Formation in Reinforced Concrete Tension Bars. In: Jirasek, M.; Allix, O.; Moes, N.; Oliver, J. (Hrsg.): Proceedings of 3rd International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures (CFRAC 2013), 05.–07.06.2013 in Prague (Czech Republic), ISBN 978-80-01-05279-2, 2013, S. 170
- Häußler-Combe, U.; Kühn, T.: A Novel Strain Rate Model for Concrete and its Influence upon Crack Energy. In: Jirasek, M.; Allix, O.; Moes, N.; Oliver, J. (Hrsg.): Proceedings of 3rd International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures (CFRAC 2013), 05.–07.06.2013 in Prague (Czech Republic), ISBN 978-80-01-05279-2, 2013, S. 112
- Häußler-Combe, U.; Kühn, T.: A viscoelastic retarded damage material law for concrete structures exposed to impact and explosions. In: van Mier, J.; Ruiz, G.; Andrade, C.; Yu, R.; Zhang, X. (Hrsg.): Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-8), 10.–14.03.2013 in Toledo (Spain), book: ISBN 978-84-941004-0-6, CD-ROM: ISBN 978-84-941004-3-7, 2013, 1, S. 964–975
- Just, M.; Quast, M.; Curbach, M.: Concrete at high dynamic biaxial loads. In: Suresh, N.; Ramathiratha, H. N. (Hrsg.): Proceedings of Protect 2013, 26.–27.08.2013 in Mysore (India), published on CD, 10 S.
- Kühn, T.; Beckmann, B.; Hummeltenberg, A.; Curbach, M.: Experimental and numerical investigation of concrete slabs under drop weight load. In: Dancygier, A. N. (Hrsg.): Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling & Construction (fib-2013), Tel-Aviv, Israel, Israeli Association of Construction & Infrastructure Engineers (IACIE), ISBN 978-965-92039-0-1, 2013, 1, 639.
- Lieboldt, M.: Textilbewehrter Beton: Praktische Anwendungen. Vortrag auf dem Techtexil & Avantex Symposium 2013, 13.06.2013, Messe Frankfurt
- Michler, H.: Innovativ! Leicht! Formbar! Bewährt! – Textilbetonbrücke Rottachsteg in Kempten im Allgäu. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 11.–12.03.2013 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 239–252 – ISBN 987-3-86780-313-7
- Michler, H.: Shear lugs – model and safety concept. Vortrag auf dem 38th meeting of fib SAG4 „Fastenings to Concrete and Masonary Structures“ in Helsinki, May 2013
- Nguyen, V. A.: Experimental investigation of sandwich elements using textile reinforcement and expanded polystyrene concrete. In: Breitenbücher, R.; Mark, P. (Hrsg.): Beiträge zur 1. DAfStb-Jahrestagung mit 54. Forschungskolloquium am 07.–08.11.2013 an der Ruhr-Universität Bochum, Ruhr-Universität Bochum 2013, S. 53–58
- Quast, M.; Finzel, J.; Just, M.: Messtechnik in der Impaktforschung. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Tagungsband zum 7. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen am 05.09.2013 in Dresden. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 32, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 101–114 – ISSN 1613-6934
- Reischl, D. S.: Viel-Teilchen-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton. In: Breitenbücher, R.; Mark, P. (Hrsg.): Beiträge zur 1. DAfStb-Jahrestagung mit 54. Forschungskolloquium am 07.–08.11.2013 an der Ruhr-Universität Bochum, Ruhr-Universität Bochum 2013, S. 365–370
- Schacht, G.; Bolle, G.; Marx, S.: Experimentelle Untersuchung der Schubtragsicherheit. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Tagungsband zum 7.

- Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen am 05.09.2013 in Dresden. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 32, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 187–200
- Schacht, G.: Experimentelle Bewertung der Schubtragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen. Vortrag im Rahmen des Kolloquiums für Jungingenieure beim Beton- und Bautechniktag 2013 in Hamburg, DBV, S. 59–60
- Schacht, G.; Ritter, R.: Maillart, Menn, Matterhorn – Brückenbauexkursion 2012 in die Schweiz. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 11.–12.03.2013 in Dresden, Institut für Massivbau der TU Dresden, Eigenverlag, 2013, S. 269–277 – ISBN 987-3-86780-313-7
- Scheerer, S.: Beton und Kraftfluss. In: Verlag Bau & Technik GmbH (Hrsg.): Tagungsband zur 5. Betonfachtagung Nord – Fertigteile im Ingenieur-, Industrie-, Büro- und Wohnungsbau, 19./20.09.2013 in Braunschweig, S. 53–69 – ISBN 978-3-7640-0582-5
- Schladitz, F.: Leicht und mit Textilbeton Bauen – Konstruktionen der Zukunft? Vortrag anlässlich der Transportbeton-Tage 2013, Dresden, 05.–06.09.2013
- Schladitz, F.: Spacer for textile reinforcements in concrete (Abstandhalter für textile Bewehrungen im Beton). Vortrag zum Techtexil-Symposium, Frankfurt am Main, 11.–13.06.2013
- Schladitz, F.: Textilbeton auf dem Weg in die Praxis. Vortrag zur Vortragsveranstaltung der Güteschutzgemeinschaft Betoninstandsetzung Berlin und Brandenburg e.V., Potsdam, 06.03.2013, 2013
- Schladitz, F.: Textilbeton – ein Beitrag zur Zukunft des Bauens. Vortrag zur 1. Projektwerkstatt „Zukunftswerkstoff Textilbeton – Hightech sucht Praxis“ am 09.10.2013 in Dresden
- Schladitz, F.: Textilbeton – Praxisprojekte im Überblick. Vortrag zum Forum Architektur und Bau am 17.10.2013 in Stuttgart
- Schladitz, F.: Textilbeton – Wissenstransfer effizient und praxisbezogen. Vortrag zur 1. Projektwerkstatt „Zukunftswerkstoff Textilbeton – Hightech sucht Praxis“ am 09.10.2013 in Dresden
- Schladitz, F.: Textilbewehrter Beton für die Verstärkung und Instandsetzung von Betonbauwerken. Vortrag zum 8. GUEP-Planertag am 20.11.2013 in Köln
- Schladitz, F.: TUDALIT – Standardisierung von Textilbeton. Vortrag zur Informationsveranstaltung Transfer von FuE-Ergebnissen durch Normung und Standardisierung (TNS) des Deutschen Institutes für Normung e. V. (DIN) am 18.02.2013 in Berlin
- Schladitz, F.; Walther, T.: DisTEX – Abstandhaltersystem für Textilbeton. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 9 zur 5. Anwendertagung Textilbeton am 24–25.09.2013 in Friedrichshafen, S. 13
- Schladitz, F.: Zulassung von textilbewehrtem Beton. Vortrag zur ersten Arbeitstagung der Abteilung CC TUDALIT am 13.03.2013 in Augsburg
- Schütze, E.; Curbach, M.; Tietze, M.; Hülsmeier, F.; Kahnt, A.: smarttex – klimaneutrale Strahlungsheizung in Textilbeton. In: TUDALIT e.V. (Hrsg.): Magazin Nr. 9 zur 5. Anwendertagung Textilbeton am 24–25.09.2013 in Friedrichshafen, S. 25
- Zobel, R.: Modellierung des Verbundverhaltens von Betonstahl unter Querzug. In: Breitenbücher, R.; Mark, P. (Hrsg.): Beiträge zur 1. DafStb-Jahrestagung mit 54. Forschungskolloquium am 07.–08.11.2013 an der Ruhr-Universität Bochum, Ruhr-Universität Bochum 2013, S. 371–376

# MITARBEITER

Stand: 31.12.2013

Institut für Massivbau

## **Professur für Massivbau**

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

Prof. Dr. rer. nat. Klaus Thoma

*Honorarprofessor, Fachgebiet Kurzzeitdynamik*

## **Geschäftsführende Oberingenieurin**

Dr.-Ing. Silke Scheerer

## **Oberingenieur Projektmanagement**

Dipl.-Krist. Wolfgang Leiberg

## **Organisation Lehre**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

## **Sekretariat**

Silvia Haubold

Sabine Hofmann

## **Professur für Spezielle Massivbauwerke**

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

## **Sekretariat**

Angela Heller

## **Wissenschaftliche MitarbeiterInnen**

### **Forschungsgruppe 1: Verbund / Leicht Bauen**

Dr.-Ing. Robert Ritter

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

Dipl.-Ing. Viet Anh Nguyen

Dipl.-Ing. Gregor Schacht

Dipl.-Ing. Angela Schmidt

Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm

Dipl.-Ing. Robert Zobel

### **Forschungsgruppe 2: UHPC / DEM / Impakt**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

Dr.-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

Andra Corina Buescu M.Sc.

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

Enrico Lorenz M.Sc.

Dr.-Ing. Harald Michler

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

## **Beurlaubt**

Dr.-Ing. Frank Jesse

## Otto-Mohr-Laboratorium

### **Leiter OML**

Dr.-Ing. Torsten Hampel

### **Stellvertreter OML**

Dipl.-Ing. Kathrin Dietz

### **Sekretariat**

Petra Kahle

### **Wissenschaftliche Mitarbeiterin**

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

### **Technische Mitarbeiter**

Ludwig Beier (Hallenmeister)

Rainer Belger

Heiko Günther

Jens Hohensee

Tino Jänke

Maik Patricny

Annett Pöhland

Mario Polke-Schminke

Doreen Sonntag

Andreas Thieme

Heiko Wachtel

Bernd Wehner

# 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

Deutsches  
Institut  
für  
Bautechnik



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

STAATSBETRIEB IMMOBILIEN-  
UND BAUMANAGEMENT  
SIB



Freistaat  
SACHSEN

GEFÖRDERT VOM

STAATSMINISTERIUM  
FÜR WISSENSCHAFT  
UND KUNST



Freistaat  
SACHSEN



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



*Ideen eine Zukunft geben*





**»Wissen schafft Brücken.«**



