



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

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



**JAHRESBERICHT 2011  
ANNUAL REPORT 2011**





**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

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

# **JAHRESBERICHT 2011**

# **ANNUAL REPORT 2011**

## 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 und Fotos**

Birgit Beckmann, Anett Brückner, Manfred Curbach, Christian Dittrich, Daniel Ehlig, Joachim Finzel, Michael Frenzel, Torsten Hampel, Jens Hartig, Anja Hummeltenberg, Martin Just, Tino Kühn, Wolfgang Leiberg, Laura Lemnitzer, Alexander Lindorf, Enrico Lorenz, Harald Michler, Regine Ortlepp, Matthias Quast, Dirk Reischel, Robert Ritter, Gregor Schacht, Silke Scheerer, Frank Schladitz, Nico Schmidt, Steffen Schröder, Katrin Schwiteilo, Doreen Sonntag, Kerstin Speck, Ulrich van Stipriaan

### **Mitarbeit/Korrektur**

Silvia Haubold, Angela Heller, Petra Kahle

### **Gestaltung**

Ulrich van Stipriaan

### **Druck**

addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>Forschung</b> .....	<b>6</b>
Kurzzeitdynamisches Verhalten von Beton .....	8
Stahlbetonplatten unter Impakt .....	10
Viskos-verzögertes Schädigungsmodell für hohe Dehnraten .....	12
2D-DEM-Simulation des Betonbruchs .....	14
Zerstörbar und doch unzerstörbar: Virtuelle Probekörper .....	16
Sichere Hülle aus Stahl- und Spannbeton .....	18
Verbundermüdung unter Querkraft .....	20
Wie dicht sind Stahlbetonbauteile mit kleinen Trennrissen? .....	22
Vorankündigung von Schubversagen .....	24
Erfassung von Rissen mit 2D-Photogrammetrie .....	26
Formgebende Werkzeuge aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen .....	28
Mehraxiale Festigkeit von UHPC .....	30
Biegeverstärkung von Platten .....	32
Übergreifung textiler Gelege .....	34
Leichte Balkonplatte aus Textilbeton .....	36
Leichtbauelemente für Brand- und Schallschutz .....	38
Schädigungsmodellierung für TRC-Sandwichplatten .....	40
Carbon-Bewehrung für wasserundurchlässigen Normalbeton .....	42
Ein Gebäude aus Textilbeton .....	44
Stützen – wie in der Natur gewachsen .....	46
Zwölf Jahre SFB 528 – Verstärken mit Textilbeton .....	48
SPP 1542 – Leicht Bauen mit Beton .....	50
<b>Lehre</b> .....	<b>53</b>
Lehrveranstaltungen des Institutes für Massivbau .....	54
Projektarbeiten .....	61
Wintersemester 10/11 und Sommersemester 2011 .....	61
Diplomarbeiten und Masterarbeiten im Jahr 2011 .....	66
Wissenschaft ist mehr... .....	74
Angeregte Besuche von Schottlands Brücken .....	75
Lange Nacht der Wissenschaften 2011 .....	76
Wie ein Gärtner den Stahlbeton erfand .....	77
Abschied nach 21 Brückenbausymposien .....	77
Spaß am Kicker aus Textilbeton .....	78
Lust auf Kunst .....	79
Beyer-Preis an Silke Scheerer .....	80
Bauindustrie-Preis für Matthias Quast .....	81
Innovationspreis Bautechnik 2011 für Frank Schladitz .....	81
Eine Investition, die sich gelohnt hat .....	82
Textilbeton in Theorie und Praxis .....	84
Das Ende der Förderung – und nun? .....	85
Herausforderungen für Zukunft des Bauens .....	86
<b>Otto-Mohr-Laboratorium</b> .....	<b>89</b>
Arbeitsgebiete und Ausstattung .....	90
Otto-Mohr-Laboratorium .....	90
Nachrechnung älterer Brücken .....	96
Was macht der Laster mit dem Pflaster? .....	97

Filigrane Treppenkonstruktion im Test ..... 98  
 Versuche am geschlitzten Mauerwerk..... 99  
**Institut ..... 101**  
 Das Institut für Massivbau in Zahlen und Fakten ..... 102  
 Promotionen ..... 113  
 Mit „zerstörungsfreiem Nachdenken“ zur Weiterentwicklung des Massivbaus beigetragen ..... 118  
 Publikationen 2011 ..... 120  
 Mitarbeiter ..... 124  
 Dank an unsere Förderer ..... 125  
 THE END ..... 126



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

## Begeisterung für Beton

Kein Jahr ist wie das andere, und auch Jahresberichte lassen sich nicht einfach aus dem Vorjahr kopieren. Das Jahr 2011 war reich an Forschungsergebnissen und Lehrerlebnissen, die es verdienen, besonders herausgestellt zu werden. Das Jahr 2011 war aber auch reich an Emotionen – positiven wie negativen –, die es ebenfalls zu nennen gilt.

Ein wichtiger Höhepunkt war der Abschluss der finanziellen Förderung des Sonderforschungsbereiches 528 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Zwölf Jahre intensive Forschung von den Grundlagen bis zur Anwendung – getragen von einer Vision, die manchem utopisch erschien, die aber nun Wirklichkeit wird: die Verwendung von Carbonfasern für die nachhaltige Rettung der aus Stahlbeton bestehenden Bauwerke. Die intensive interdisziplinäre Arbeit von Wissenschaftlern mehrerer Fakultäten der Technischen Universität Dresden war notwendig, um in einem überschaubaren Zeitraum etwas gänzlich Neues zu erforschen und der Anwendung zuzuführen.

Noch viele weitere Forschungsthemen konnten erfolgreich bearbeitet werden, die im Detail im vorliegenden Heft beschrieben werden.

Ein besonderer Höhepunkt in der Lehre war sicher die Exkursion nach Schottland mit seiner bemerkenswert schönen Landschaft und den zahlreichen herausragenden Brücken. Die Erlebnisse dieser Reise werden den Teilnehmern sicher lange im Gedächtnis bleiben.

Das Jahr 2011 hatte – wie schon angedeutet – aber auch viel zu bieten, was die Gefühle anbelangt. Nun ist es das Bestreben, mit diesem Heft vor allem zu zeigen, was im Institut für Massivbau geleistet wurde. Aber es dürfte jedem Leser klar sein, dass (bei allen Erfolgen) auch so manches nicht klappt. So haben wir viel Energie in ein neues Projekt gesteckt, von dem wir wirklich überzeugt waren und das auch wissenschaftlich sehr gut beurteilt worden ist. Und dennoch: wir alle waren fassungslos und geschockt, dass es dann mit für uns nur schwer nachvollziehbaren Gründen abgelehnt wurde. Wer weiß, wofür es gut war, dass es so gekommen ist.

Umso schöner konnte dann der Beginn des neuen Schwerpunktprogramms der Deutschen Forschungsgemeinschaft 1542 gefeiert werden. „Leicht Bauen mit Beton“ könnte nicht weniger als der Beginn eines Paradigmenwechsels im Betonbau sein.

Und neben diesen besonderen Ereignissen gab es noch viele weitere Dinge, über die in diesem Heft berichtet werden soll: aus der Forschung, der Lehre und dem Otto-Mohr-Laboratorium. Dies ist für die beiden Unterzeichner eine willkommene Gelegenheit, allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ganz herzlichen Dank für das Engagement in ihrer Arbeit und für das Institut zu sagen.

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



**FORSCHUNG**





***RESEARCH***

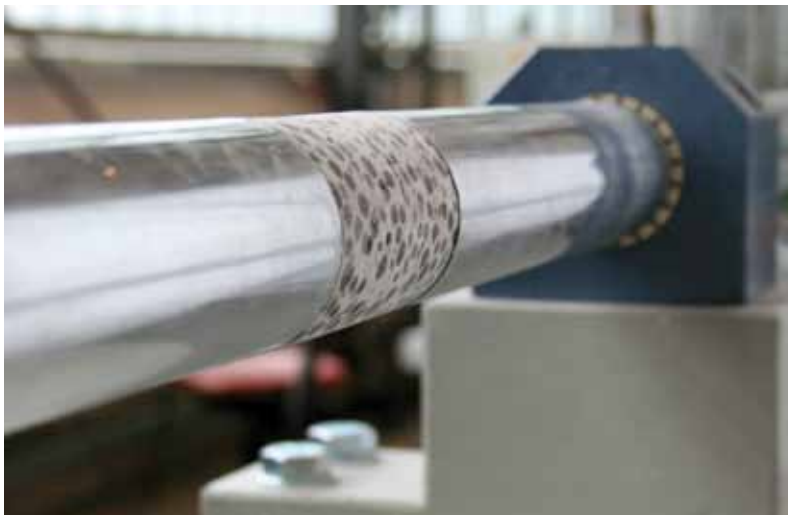
# Kurzzeitdynamisches Verhalten von Beton

Das Prinzip des Split-Hopkinson-Bar (SHB) wurde bereits 1949 zur dynamischen Materialuntersuchung entwickelt. Heute ist dieses Versuchsprinzip eine etablierte Methode, um das Verhalten eines Materials unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten (Impakt) zu charakterisieren. Der klassische Versuchsaufbau besteht aus einer Beschleunigungseinrichtung, die einen Impaktor auf die gewünschte Geschwindigkeit beschleunigt sowie zwei langen, in der Regel zylindrischen Stäben, zwischen denen die Probe eingeklemmt wird. Durch den Stoß des Impaktors auf den ersten Stab wird eine Druckwelle induziert, die den ersten Stab, die Probe und den zweiten Stab durchläuft. Damit kann ein Probekörper einaxial mit sehr hohen Dehnraten belastet werden, die z. B. einem Fahrzeuganprall, Flugzeugabsturz oder Steinschlag entsprechen.

Bisherige Forschungen zum geschwindigkeitsabhängigen Verhalten verschiedenster Materialien haben ergeben, dass die Festigkeit der Werkstoffe für Druck- und Zugbelastung mit steigender Verzerrungsrate zunimmt. Für Beton fällt die Steigerung der Zugfestigkeit mit Faktor sechs bis acht deutlich größer aus als für die Druckfestigkeit, die sich nur auf das Zwei- bis Dreifache erhöhen lässt. Weiterhin ist bekannt, dass sich die Betonfestigkeit unter mehraxialer Druckbelastung erhöht.

Nun stellt sich die Frage: Können sich diese beiden Effekte überlagern, so dass Beton unter mehraxialer hochdynamischer Belastung noch höhere Belastungen ertragen kann als unter statischen Bedingungen? Der Beantwortung dieser Frage widmet sich ein aktuelles Forschungsprojekt. Hierfür sollen würfelförmige Probekörper in zwei Richtungen gleichzeitig durch einen Impakt belastet werden. Da Impaktvorgänge innerhalb sehr kurzer Zeiten von meist nur wenigen Millisekunden ablaufen, ist die größte Herausforderung für die geplanten Versuche die exakte Synchronisierung der Belastungen aus zwei Richtungen. Erreicht werden soll diese Präzision durch zwei Gasdruckkanonen, die die Impaktoren mit Hilfe von Druckluft beschleunigen. Die Drucklufteinspeisung und die Auslösung der Gasdruckkanonen werden computergestützt durch Mikrocontroller gesteuert.

Das Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Betonprobe wird indirekt über die Dehnungen in den Stäben ermittelt. Dafür werden auf alle Stäbe, jeweils in der Mitte, Halbleiter-DMS appliziert, die mit sehr großen Abtastraten ausgelesen werden können. Zusätzlich können die Verschiebungen der Probekörperänder berührungslos mit einem Hochgeschwindigkeitsextensometer erfasst werden.



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Probekörper  
vor dem Test  
*Specimen before testing*

# High-Speed Dynamic Behaviour of Concrete

The basic concept of the Split-Hopkinson-Bar (SHB) was developed in 1949 to study materials under dynamic conditions. Today this experimental setup is an established method to characterise the behaviour of materials under high strain rates (impact). The classic test setup consists of an acceleration device, that accelerates an impactor to a designated speed, and two long, usually cylindrical rods, between which the sample is sandwiched. By the strike of the impactor on the first rod, a pressure wave is induced, which runs through the first rod, the sample and the second rod. This allows loading a specimen with very high uniaxial strain rates that correspond, for example, to a vehicle collision, plane crash or falling rocks.

Previous researches to the velocity dependent behaviour of various materials have shown that the compression and tensile strength of materials increase with rising strain rate. For concrete, the increase of tensile strength, by a factor of six to seven, is significantly larger than in compressive strength which can only be increased two- to threefold. It is also known that the concrete strength increases under multiaxial compressive loading.

That's why the question arose: Can these two effects superimpose, so that under multiaxial high

## **Titel | Title**

Verbundvorhaben: Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten, Teilprojekt: Experimentelle Untersuchungen zur zweiaxialen Festigkeit und Formulierung einer stoffgesetzlichen Beschreibung | Material behaviour of concrete under high loading velocity - Experimental investigations on biaxial strength and formulation of a material model

## **Förderer | Funding**

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

## **Zeitraum | Period**

07.2009 – 12.2012

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Anja Hummeltenberg,  
Dipl.-Ing. Matthias Quast



Vorbereiten des Versuchs  
Preparing the test

dynamic loading concrete can resist higher loads than under static conditions? A current research project focuses on the answer to this question. For this, cubical-shaped specimens shall be loaded simultaneously in two directions by an impact load. Because impacts occur within very short periods of time, usually a few milliseconds, the biggest challenge for the planned experiments is the exact synchronisation of the loads from the two directions. This accuracy shall be achieved by two gas guns that accelerate the impactors by compressed air. The supply with compressed air and the release of the gas pressure guns are controlled by computer-based microcontrollers.

The stress-strain behaviour of the concrete specimen is determined indirectly via the strain in the rods. Therefore semiconductor strain gauges are installed in the middle of all rods, which can be read with very large sample rate. Additionally, the displacements of the specimen edges can be detected by a high-speed extensometer.

# Stahlbetonplatten unter Impact

Das mechanische Verhalten von Betonbauteilen ist stark von der Belastungsgeschwindigkeit abhängig. Eine kurzzeitige, schlagartige Belastung, z. B. durch Fahrzeuganprall oder Steinerschlag, wirkt sich deutlich anders aus als eine ruhende, statische Belastung. Um dies näher zu erforschen, wurden 15 Stahlbetonplatten aus Normalbeton C20/25, HPC und UHPC ohne bzw. mit einer nachträglich angebrachten Verstärkungsschicht aus Textilbeton in einer Fallturmanlage untersucht. Die Versuche waren intensiv instrumentiert, um sowohl Effekte des lokalen als auch des globalen Plattentragverhaltens erfassen zu können.

Zunächst war vor allem der reine Impactwiderstand bzw. ein möglicher Schutzeffekt von Interesse: „Hält die Platte dem Impact stand, oder wird sie vom Impaktor vollständig durchstanzt?“ Es stellte sich heraus, dass die Normalbeton- und Hochleistungsbetonplatten dem Impact nicht standhielten und dass das unabhängig von der untersuchten Fallhöhe und damit der Auftreffgeschwindigkeit des Fallgewichts ist. Demgegenüber hielten die textilverstärkten Betonplatten und die Platten aus UHPC der Impactbeanspruchung stand; sie wurden zwar lokal beschädigt, aber nicht vollständig vom Impaktor perforiert.



Daher stellt der Einsatz einer textilen Verstärkungsschicht und/oder von Ultrahochleistungsbeton eine wirksame Schutzmaßnahme dar und ist beispielsweise für eine Anwendung bei Steinerschlaggalerien geeignet.

In der aktuellen Studie stand die Analyse der durch den Impact hervorgerufenen Dehnungen und Dehnraten im Fokus. Dabei wurden die Dehnungen des Betons an der Plattenoberseite in unterschiedlichen Abständen zum Impactzentrum sowie die Dehnungen des Bewehrungsstahls an der Plattenunterseite ausgewertet. Die Messergebnisse zeigen die zeitliche Veränderung und räumliche Ausbreitung der impactinduzierten Störung. Der Übergang vom lokalen zum globalen Plattentragverhalten wird sichtbar und zeigt bei den bügelbewehrten Platten ein anderes Verhalten als bei allen anderen Platten. Bei der Bewehrungsstahldehnung der textilverstärkten Platten ist eine lokale, begrenzte Delamination der Verstärkungsschicht zu erkennen.

Zwischen Platten aus unterschiedlichen Betonarten unterscheiden sich die gemessenen Dehnungen und Dehnraten kaum. Auch die textilverstärkten Platten weisen keine nennenswert anderen Dehnungen auf als die unverstärkten Platten. Hier zeigt sich, dass die lokalen Zugdehnungsspitzen zu einem Zeitpunkt auftreten, an dem die Frage noch nicht entschieden ist, ob die Platte dem Impact standhält oder nicht.

Fallturmversuchsstand  
im Institut für Leichtbau  
und Kunststofftechnik  
der TU Dresden

*Drop tower facility  
at the Institute of  
Lightweight Engineering  
and Polymer Technology*

# Concrete Slabs Under Impact

The mechanical behaviour of concrete structures depends on the loading velocity. An impact load such as rock fall or vehicle impact has different effects than static load. To investigate this, 15 concrete slabs made of standard concrete C20/25, high performance concrete HPC and ultra-high performance concrete UHPC with and without a subsequently added textile strengthening layer were tested in a drop tower device. Many measurement techniques were used for the data acquisition of local as well as global slab behaviour.



Normalbetonplatte nach dem Impaktversuch (umgedehte Ansicht)  
Standard concrete slab after the impact test (upside down)

First, the pure impact resistance and a potential protection effect were in focus, i.e. the question „Does the slab withstand the impact or is it entirely perforated by the impactor?“ It turned out, that the slabs made of standard concrete and of HPC did not withstand the impact load. This occurred independently of the drop heights tested. On the contrary, the textile-strengthened slabs and the UHPC slabs withstood the impact load. They were locally damaged but not entirely perforated by the impactor. For this reason, the use of a textile strengthening layer and/or UHPC is an effective protection measure against impact

and can be recommended for use in rock fall galleries, for example.

In the present study, the analysis of the strains due to the impact load was in focus. The concrete strains were detected in different distances from the impact centre at the top of the slab, and the strains of the reinforcement steel were detected at the slab bottom. The measurement results show the temporal and local variation and the propagation of the impact-induced disturbance. The transition from the local to the global slab behaviour is visualized and differs for stirrup-reinforced slabs in comparison with all other slabs. Considering the strain of the reinforcement steel of the textile-strengthened slabs, a local delamination of the strengthening layer is seen.

There are hardly any differences in terms of strains and strain rates between the slabs of different concrete types. Also the strains of the textile-strengthened slabs are in the same range as the ones of the slabs without textile reinforcement. This points out, that the local peaks in tension strain occur at a time, where the question, whether the slab withstand the impact or not, is not yet answered.

## Titel | Title

Beton unter stoßartiger Belastung | Concrete under impact loading

## Förderer | Funding

Institut für Massivbau, TU Dresden

## Zeitraum | Period

08.2009 – 12.2011

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Anja Hummeltenberg

Dipl.-Ing. Birgit Beckmann

# Viskos-verzögertes Schädigungsmodell für hohe Dehnraten

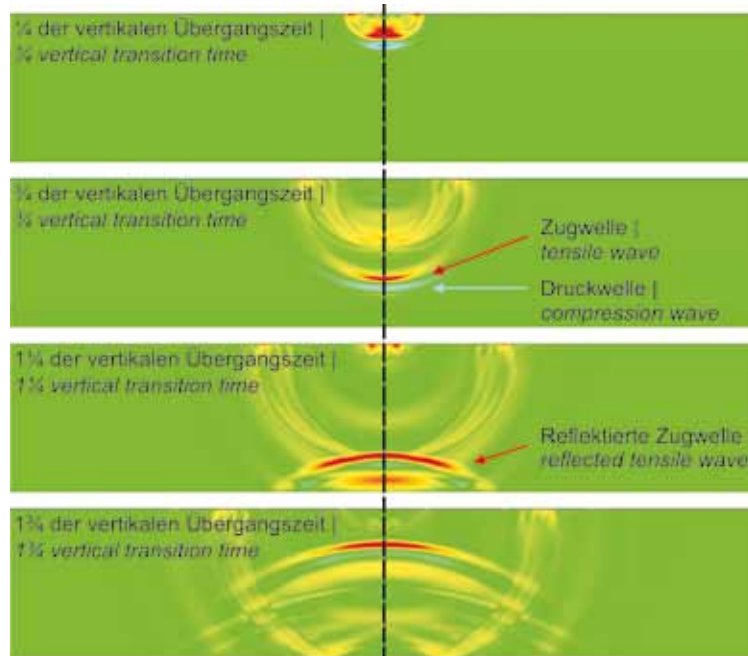
Beton verhält sich nicht immer so statisch und linear elastisch exakt, wie man es aus der alltäglichen Arbeit damit vermuten mag. Bei höheren Belastungsgeschwindigkeiten, wie sie beispielsweise im zivilen Bereich bei PKW- oder Flugzeugaufprall oder aber auch im militärischen Bereich, z. B. beim Beschuss von massiven Schutzbauwerken (Penetration) auftreten, verhält sich Beton gutmütig und reagiert scheinbar mit einer deutlich höheren Festigkeit, die unter Zugbeanspruchung etwa das siebenfache und im Druckbereich etwa das dreifache der statischen Werte erreichen kann. Diesen Effekt kann man sich bei der Dimensionierung solcher Bauwerke zu Nutze machen. Weit wichtiger ist jedoch die korrekte Abbildung dieses Materialverhaltens bei der computergestützten Modellierung nicht alltäglicher Belastungsfälle, wofür im vorgestellten Projekt ein Stoffgesetz entwickelt worden ist.

Das Stoffgesetz basiert auf zwei physikalisch motivierten Annahmen zum dehnratenabhängigen Schädigungsverhalten von Beton. Ausgehend von einem statischen Schädigungsmodell wurde dieses für niedrige Dehnratenbereiche mit

einem viskosen Ansatz abgebildet und für höhere Dehnraten mit einem verzögerten Schädigungsmodell modifiziert. Letzteres bildet die strukturelle Trägheit an den Rissufern von Mikrorissen virtuell ab, welche erst bei höheren Rissöffnungsgeschwindigkeiten zum Tragen kommen. Im Gegensatz dazu berücksichtigt das viskose Modell beispielsweise Trägheitseffekte, die durch die Porosität des Mörtels und die dadurch behinderte Strömung der eingeschlossenen Medien zustande kommt.

Das komplexe hochdynamische Verhalten einer durch einen Impuls beanspruchten Struktur lässt das Bild unten an einem simplen Standardversuch erahnen. Im Gegensatz zum statischen Verhalten wird das dynamische im Wesentlichen durch Ausbreitung, Reflektionen und Interferenzen von Zug- und Druckwellen im Bauteil bestimmt. Entsprechend des Belastungsimpulses treten beispielsweise bei niedrigen Dehnraten Druckschädigungen an der Einwirkstelle und den Lagern auf oder aber später Zugschädigungen, welche zum Rissstart an der Unterseite führen. Bei höheren Dehnraten

aber führt der Impuls zu lokalen Abplatzungen an der Oberseite des Trägers, was im zweiten Bild dargestellt ist. Das entwickelte Modell ist in der Lage, alle diese Phänomene entsprechend gut abzubilden.



Rechnerisch ermittelte Druckwellenverteilung zu verschiedenen Zeitpunkten nach kurzweiliger Impactbeanspruchung.

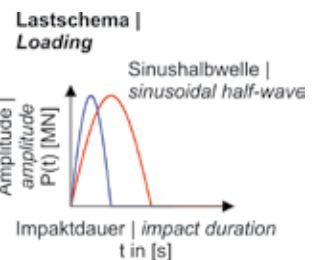
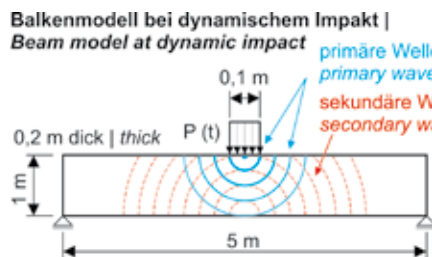
*Computationally pressure wave distribution determined at different times after short-wave impact load.*

# A Viscous Retarded Damage Model for Extensive Strain Rates

The behaviour of concrete seams not always as statically and linear elastic accurately as one may assume from the everyday work with it. With extensive rates of loading, how they arise for example within the civilian range with car or airplane impacts or in addition within the military range e.g.

with the protection of solid defensive structures against penetration, concrete behaves docile and reacts with a much higher strength which can reach almost the eightfold at tensile loads and the threefold within the compressive domain compared to the static values. This effect can be used to with the dimensioning of such buildings. But however, more important is the correct description of such material behaviour for the computer assisted modelling and design of structure for extraordinary load cases, for which in the present project a novel material formulation has been developed.

That material model is based on two physically motivated assumptions to the strain rate dependent damage behaviour of the concrete. Based on a classical static damage model this was modified



Schematik des komplexen strukturellen Verhaltens am Balken-Impakt-Modell mit beispielhafter Primär- und Sekundärwellenausbreitung.  
Schematic of the complex structural behaviour at the bar impact model with illustrated primary and secondary wave propagation.

with a viscoelastic approach for the low strain rate domain and extended for higher rates with a retarded damage model. The latter virtual describes the structural inertia on the crack wall of micro cracks which are relevant at higher crack opening velocities. In contrast the viscous part of the model considers for example delay effects which are introduced by the porosity of the mortar and however the presence of some enclosed media.

The complex dynamic behaviour of a simple standard structure attacked by an impulse load is illustrated in the figures. Contrary to classical static behaviour the dynamic is essentially determined by propagation, reflections and interferences of pressure waves in the specimen. According to the load impulse, for example with low strain rates, compressive damages at the impact zone and the supports, or however later tensile damages, which lead to the crack start at the bottom surface, take place. With higher strain rates however the impulse leads to local flaking at the top side of the bar, which is represented in the second picture. The developed material model is able to cover all these phenomena.

**Titel | Title**

Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten | Behaviour of concrete with extensive load rates

**Förderer | Funding**

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

**Zeitraum | Period**

07.2009 – 12.2012

**Leiter | Project Manager**

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

**Bearbeiter | Contributors**

Tino Kühn M.Sc.



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# 2D-DEM-Simulation des Betonbruchs

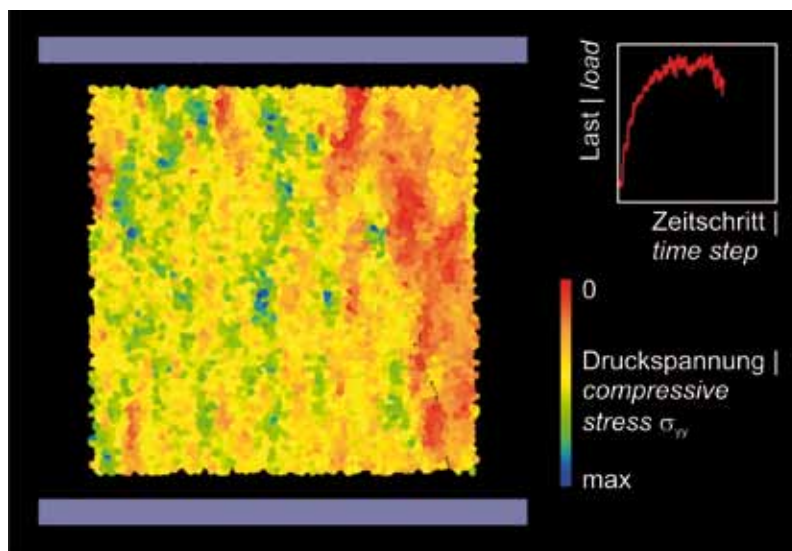
Ziel des Forschungsvorhabens ist es, Bruchphänomene von Beton insbesondere unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten zu erforschen und Rissmuster, die während beziehungsweise im Vorfeld des Betonversagens entstehen, numerisch zu simulieren. Dabei werden Betonprobekörper abgebildet, wie sie auch im realen Laborexperiment vorkommen. Ein Schwerpunkt der Betrachtung liegt dabei auf Impaktbelastungen, wie sie etwa bei Steinschlag oder Fahrzeuganprall auftreten.

Mit einem am Institut für Massivbau entwickelten Programmcode wird das Betonverhalten mit der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) simuliert. Dabei wird der Betonkörper in einzelne – diskrete – Elemente unterteilt. Aus kinematischer Sicht kann jedes der Elemente seine eigene Starrkörperbewegung durchführen. Über virtuelle Belastungsplatten wird die äußere Belastung auf den Betonkörper aufgebracht. Zwischen den Betonelementen werden Kontaktkräfte übertragen, die im nächsten Berechnungsschritt die Position und Bewegung eines Elements beeinflussen. Auf diese Weise kann mit einem Ensemble zahlreicher einzelner Partikel das Verhalten eines Betonprobekörpers simuliert werden. Ein großer Vorteil dieser Methode ist es, dass Risse prinzipiell überall entstehen können. Im Vergleich zu kontinuumsbasierten

Simulationen werden Risse hier nicht durch spezielle, an potentiell gefährdeten Stellen dem Modell hinzugefügte Risselemente repräsentiert, sondern die Risse gehen während der Simulation quasi automatisch aus dem Berechnungsmodell und der jeweiligen Belastungssituation hervor. Die entstehenden Rissmuster von äußerlich gleichen, aber durch verschiedene Ensembles simulierten Betonkörpern enthalten – genau wie im realen Laborexperiment – jeweils geringfügige Unterschiede und spiegeln somit den statistischen Charakter der Bruchvorgänge von Betonkörpern wider.

In einem der eigentlichen Simulationsrechnung nachgelagerten Postprocessing-Algorithmus können aus den an jedem Element wirkenden Kräften Spannungen ermittelt werden, um somit einen Vergleich mit Ingenieurgrößen zu ermöglichen.

Die Graphiken zeigen die Spannungsverteilung kurz nach Erreichen der Maximallast beziehungsweise im Nachbruchverhalten, wobei nach dem Bruch größere Rissöffnungen zu verzeichnen sind. In rot dargestellten Elementen wird kaum bzw. keine Druckspannung mehr übertragen, so dass die späteren Abplatzungen des Betonkörpers schon zu erkennen sind, wenn die Risse noch haarfein sind.



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

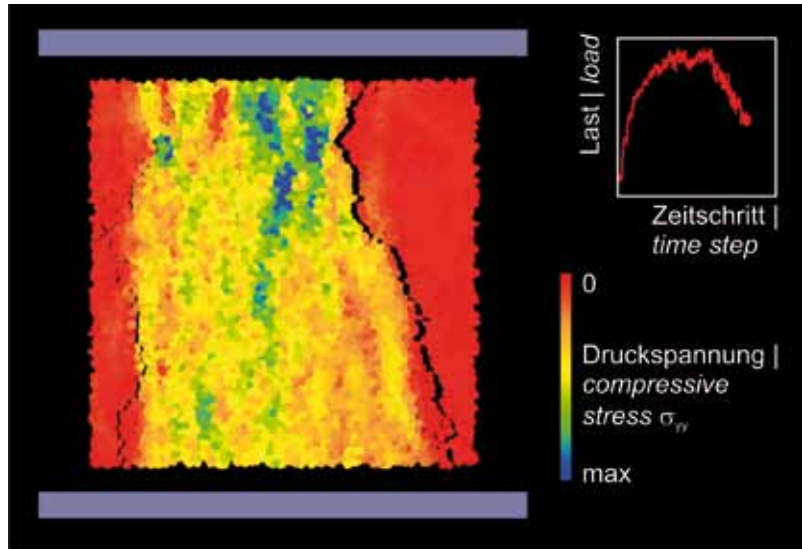
Druckspannungsverteilung  
im Betonprobekörper  
unmittelbar nach  
Erreichen der Maximallast  
*Compressive stress  
immediately  
after peak load*



# 2D DEM Simulation of Concrete Fracture

The aim of the project is to investigate phenomena of concrete fracture especially under high loading velocities and to simulate crack patterns, which appear before and during the concrete failure. The shape and size of the concrete specimen chosen in the simulation are the same as in real laboratory tests. Regarding the load cases, the focus lays on impact loads such as rock fall or vehicle impact.

The concrete behaviour is simulated with an inhouse-code using the Discrete Element Method DEM. The concrete body is discretized into separate – discrete – elements. From the kinematic point of view, each element can follow its own rigid-body motion. The load is applied onto the concrete specimen via virtual loading plates. Between the concrete elements, contact forces are transmitted, which influence the position and motion of the elements in the next time step. Doing so, the behaviour of a concrete specimen can be simulated with an assembly of many single particles. It is a great advantage of the Discrete Element Method,



Druckspannungsverteilung im Betonprobekörper im Nachbruchbereich

Compressive stress during post-peak behaviour

that cracks can evolve anywhere in principle. In contrary to continuum-based methods, the cracks are not represented by special crack elements added on potential positions, but arise automatically from the model during simulation. For different assemblies of the same charge of concrete specimen, the crack patterns resemble broadly, but differ in details and mirror the statistic character of concrete fracture – same as in real-life laboratory experiments.

In a post-processing, stresses are calculated from the forces acting on the particles. This allows the comparison to engineering variables. The graphic at the left hand side shows the stress distribution in a time step concisely after peak load of a standard compression test. The graphic at the right hand side shows the stress distribution with wider cracks during post-peak behaviour. In elements coloured in red, no (or almost no) compressive stress is transmitted. Thus, the later spalling areas can be seen, even when the cracks are still extremely thin.

## Titel | Title

DEM-Simulation von Impaktvorgängen | DEM Simulation of impact processes

## Förderer | Funding

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

## Zeitraum | Period

10.2010 – 09.2013

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Birgit Beckmann

# Zerstörbar und doch unzerstörbar: Virtuelle Probekörper

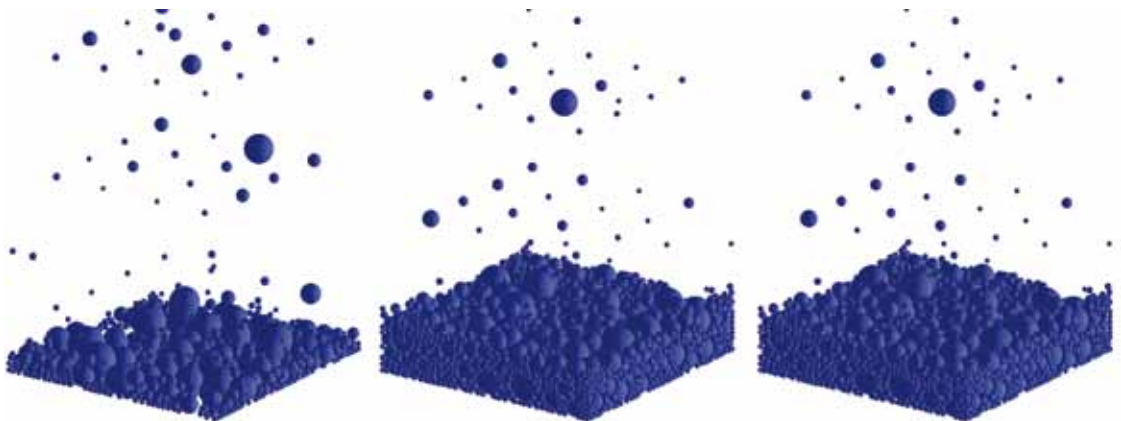
Experimente zum Schädigungsverhalten von Beton, vor allem an normierten, repräsentativen Probekörpern, liefern unmittelbare Erkenntnisse über das Schädigungsverhalten der verwendeten Probekörper, bei einer zureichenden Anzahl an Versuchen auch über das Schädigungsverhalten des Materials an sich.

Experimente zum Schädigungsverhalten an realen Probekörpern bedeuten aber immer auch die Zerstörung derselben und ihre Nicht-Wiederverwendbarkeit. Die Herstellung repräsentativer, normierter Probekörper ist mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden, und auch die Aufbringung der immer gleichen Belastungsszenarien in der Prüfmaschine verlangt erhebliches Geschick und Sorgfalt.

Virtuelle Probekörper sind zerstörbar und zugleich unzerstörbar. Die numerische Simulation erlaubt Dinge, die in der Realität unmöglich sind: Die Wiederverwendung des soeben zerstörten virtuellen Probekörpers in einem anderen Lastregime, unter einer anderen Belastungsgeschwindigkeit, bei einer veränderten Lasteinleitung. Numerische Experimente erlauben also ein erneutes Aufsetzen der exakt gleichen „Versuchsanordnung“ unter veränderten Bedingungen.

Am Institut für Massivbau wurde ein Prototyp zur Modellierung kohäsiver Reibungsmaterialien entwickelt, der schrittweise hin zum Verständnis der grundlegenden Versagensmechanismen des Materials Beton reichen soll. Das Programm ermöglicht die Generierung von Haufwerken kugelförmiger Zuschlagkörner, die direkte Verleimung derselben miteinander (d. h. momentan noch ohne die Gegenwart einer Zementsteinmatrix) und schließlich die flächige Belastung des fertigen Probekörpers durch Druck oder Zug. Ein interessantes Detail sehen wir in der schichtenweisen Generierung der Zuschlagkörner oberhalb des zu füllenden Schalungskörpers, welche es ermöglicht, äußerst dichte Haufwerke kugelförmiger Teilchen zu erzeugen, deren Korngrößenverteilung sich an realistischen Sieblinien orientiert. Die so erhaltenen virtuellen Probekörper sind im unbelasteten Zustand formstabil, verhalten sich elastisch bei der Aufbringung kleiner Lasten und zeigen ein deutliches Schädigungsverhalten bei zunehmender Druck- oder Zugbelastung.

Wir hoffen, durch unsere numerischen Simulationen wertvolle Einblicke in die Versagensmechanismen betonartiger Probekörper zu gewinnen, und auf diese Weise zu einem besseren Verständnis von Material- und Schädigungsverhalten des Werkstoffs insgesamt beitragen zu können.



Generierung eines virtuellen Probekörpers  
*Generation of a virtual specimen*

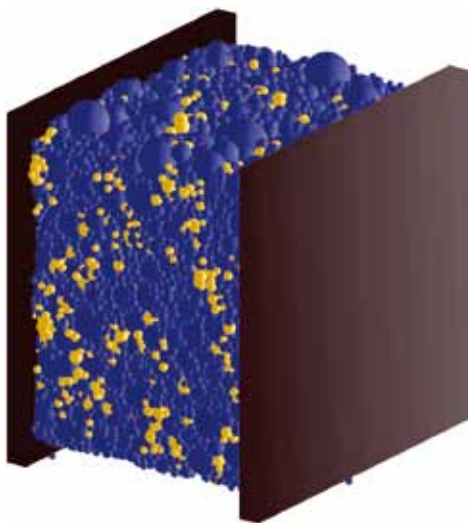
# Destructible, yet Indestructible: Virtual Specimens

*Experiments on the damage behaviour of concrete, especially on standardized, representative specimens, provide insight on the damage behaviour of the specimens used and – after having carried out a sufficient number of experiments – on the damage behavior of the material itself.*

*Experiments on the damage behaviour of real specimens, though, always imply destruction and non-reusability. The construction of representative, standardized test specimens is a non-trivial task and also the application of always the same loading scenarios in the testing machine requires considerable skill and care.*

*Virtual specimens are destructible and indestructible at the same time. The numerical simulation allows things that are impossible in reality: reusing the specimen in different load regimes, under different rates of loading, under another load application. Numerical experiments allow thus a replacing of the exact same “experiment” under changed conditions.*

*A prototype for cohesive frictional materials has been developed that will be gradually extended to gain better understanding of the basic failure mechanisms of concrete. The program allows the generation of heaps of spherical aggregate parti-*



## **Titel | Title**

Modellierung des Bruchverhaltens von Beton und Stahlbeton mit der Methode der Diskreten Elemente  
| *Modeling the fracture behaviour of concrete and reinforced concrete using the method of discrete elements*

## **Förderer | Funding**

Institut für Massivbau, TU Dresden

## **Zeitraum | Period**

07.2011 – 06.2012

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Math. techn. Dirk Reischl

*cles, the direct gluing of them (currently without the presence of a cement paste matrix) and finally the loading of the specimen by compression or tension. An interesting detail is seen in the layer-wise on-the-fly generation of aggregate particles above the virtual mould that allows the generation of extremely dense heaps of spherical particles, the particle size distribution is oriented towards realistic sieving curves. The resulting virtual specimens are stable in the unloaded state, behave elastically while the application of small loads and show clear damage behaviour with increasing compression or tension.*

*Due to our numerical simulations we hope to gain valuable insight into the failure mechanisms of concrete-like specimens, which may contribute to a better understanding of elastic and damage behaviour of the material as a whole.*

Ein virtueller Probekörper im Druckversuch:  
Die hell gezeichneten Teilchen haben den Kontakt zu einem oder mehreren ihrer früheren Kontaktpartner verloren – Anzeichen für eine Schädigung.

*A virtual specimen under pressure:  
Light-shaded particles have lost contact to one or more of their former contact partners, which may indicate crack propagation.*

# Sichere Hülle aus Stahl- und Spannbeton

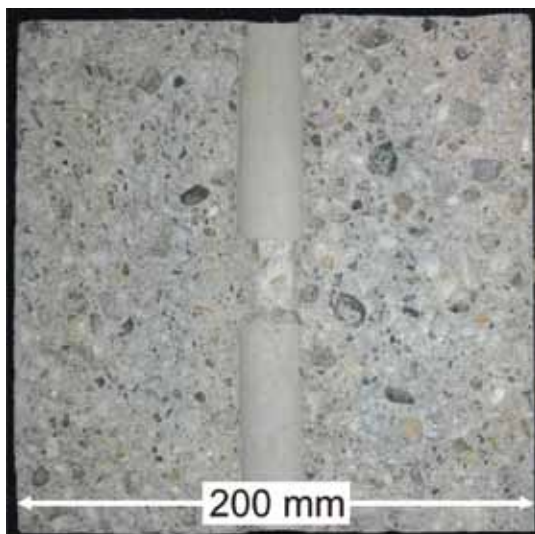
Die Sicherheit bestehender Kraftwerke ist von vielen Faktoren abhängig. Dazu zählt der Einsatz von Containments. Mit dem bloßen Vorhandensein einer solchen Schutzhülle ist jedoch noch keine definierte Absicherung gewährleistet. Der Nachweis von Integrität und Dichtheit des Stahl- bzw. Spannbetoncontainments ist daher von großer Bedeutung. Dies geschieht zumeist mit Hilfe von FE-Analysemodellen, um eine realistische Simulation verschiedener Szenarien zu ermöglichen. Die Vorhersage realitätsnaher Rissbreiten und Leckageraten ist ein wichtiger Schritt, um im Fall einer Innendruckerhöhung und damit zwei-axialen Zugbelastung die Funktion bestehender Containments zu gewährleisten. Zur Kalibrierung und Verifizierung dieser Analysemodelle wurden im Rahmen des Projekts verschiedene Versuche durchgeführt.

Das Verbundverhalten von Betonstahl unter Querzug wurde an ca. 200 würfelförmigen Ausziehkörpern mit kurzer Verbundlänge ermittelt. Mit steigender Querzugbelastung und sinkender Betondeckung tritt statt eines Ausziehversagens ein immer früher einsetzender Spaltbruch auf. Mit

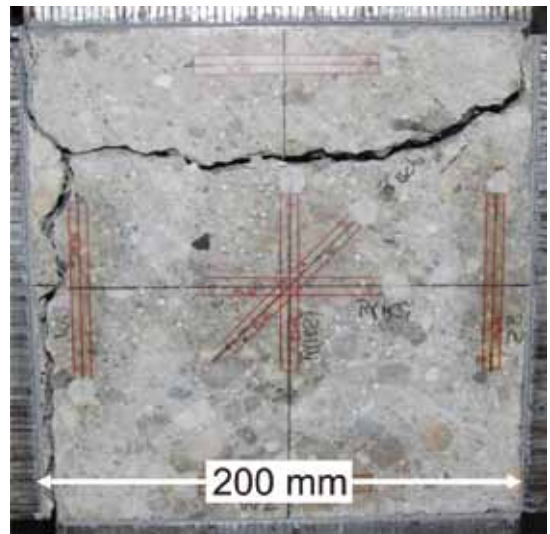
dem aus den Versuchsergebnissen entwickelten Formelapparat können in Abhängigkeit von Stabgeometrie, Betonfestigkeit und Betondeckung für beliebige Querzugbelastungen unterhalb der Risslast lokale Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen formuliert und die Verbundversagensart sowie der Versagenszeitpunkt bestimmt werden.

An 50 scheibenförmigen Probekörpern erfolgte die Untersuchung des zwei-axialen Zugtragverhaltens von unbewehrtem Normalbeton für zwei Festigkeitsklassen und vier Zugspannungsverhältnisse. Die Versuchsergebnisse zeigten die Notwendigkeit, ein Bruchkriterium in Abhängigkeit der Betonfestigkeitsklasse zu formulieren.

Das Zusammenwirken aller Komponenten wurde an zwölf großformatigen Stahlbetonscheiben mit Spanngliedern im nachträglichen Verbund in zwei-axialen Zugversuchen geprüft. Es wurde nachgewiesen, dass eine zwei-axiale Zugbelastung das Tragverhalten des gesamten Bauteils beeinflusst. In Abhängigkeit der Höhe der Querzugbelastung konnten Aussagen zum Verformungsverhalten und zur Rissbildung getroffen werden.



Aufgesägter Ausziehkörper nach dem Verbundversuch  
*Pullout specimen after the bond test*

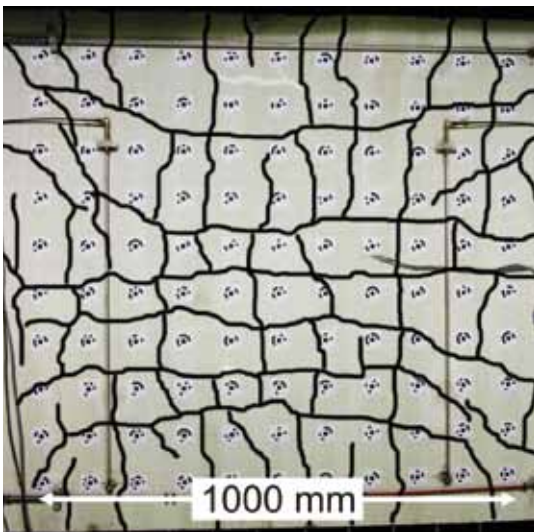


Rissbild einer unbewehrten Betonscheibe nach zwei-axialer Zugbelastung  
*Crack pattern of a plain concrete panel after biaxial tensile loading*

# Protective Cover from Reinforced and Prestressed Concrete

The safety of existing nuclear power plants depends on numerous factors. Therefore at international level, containments are used for pressurised water and boiling water reactors. However, the mere existence of such a protective cover does not guarantee a defined safety. Hence, the verification of integrity and tightness of the reinforced or prestressed concrete containment is of great importance. For this purpose, FE models are developed in order to provide realistic simulations of different scenarios. The prediction of realistic crack widths and leakage rates is important in case of increasing internal pressure and the resulting biaxial tensile loading, in order to guarantee the integrity and tightness of existing containments. For calibrating and verifying these analysis models, various tests have been conducted within this research project.

The bond behaviour of reinforcing steel under transverse tension has been determined on about 200 cubic-shaped pullout specimens with short bond length. With increasing transverse tension and decreasing concrete cover an early splitting failure occurs instead of pullout



Rissbild im Großversuch  
nach zweiachsialer Zugbelastung  
*Crack pattern of a large-scale test  
after biaxial tensile loading*

failure. With the equations deduced from the test results, local bond stress-slip relations can be expressed for any transverse tension level below the cracking load depending on the bar geometry, concrete strength and concrete cover. Also the bond failure mode as well as the point in time of failure can be determined.

Investigations on the biaxial tensile load bearing behaviour of plain concrete were conducted on 50 panels for two concrete strength classes and four tensile stress ratios. The test results showed the necessity to express a failure criterion depending on the concrete strength.

The interaction of all structural element components was tested on twelve large-scale reinforced concrete panels with post-tensioned tendons by means of biaxial tension tests. The biaxial tensile load influences the load bearing and deformation behaviour of the panels. Information about the stiffness, the initial cracking loads and the crack formation was determined.

## **Titel | Title**

Der Einfluss von Querzug auf die Rissbildung und den Verbund zwischen Beton und Bewehrung in Stahlbeton- und Spannbetoncontainments | *Influence of transverse tension on cracking and bond between concrete and reinforcement in reinforced and prestressed concrete containments*

## **Förderer | Funding**

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

## **Zeitraum | Period**

04.2007 – 01.2011

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

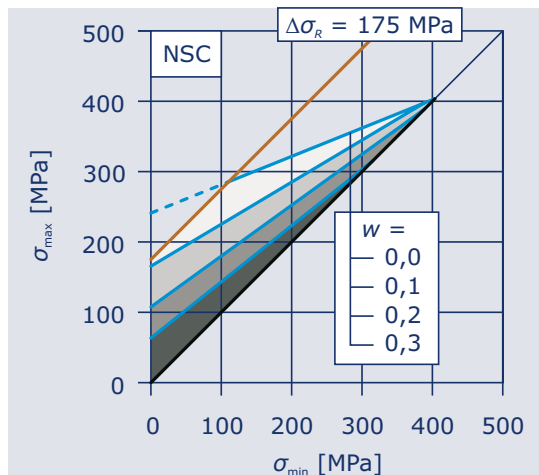
Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer, Dipl.-Ing. Steffen Schröder



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

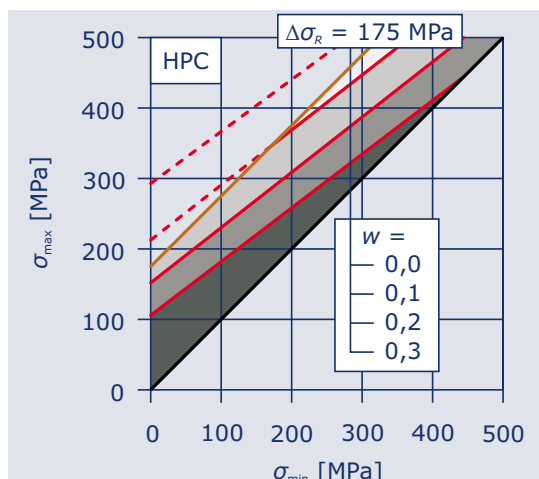
# Verbundermüdung unter Querzug

Im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens steht die gezielte Analyse des Verbundverhaltens zwischen Bewehrungsstahl und Beton unter kombinierter Beanspruchung aus Ermüdung und Querzug. Den Hintergrund bilden Stahlbetonbauteile, wie z. B. Fahrbahnplatten von Verbundbrücken, welche einen zweiaxialen Lastabtrag unter nicht vorwiegend ruhenden Belastungen aufweisen.



Dauerfestigkeitsdiagramm für Normalbeton (NSC)

*Constant life diagram for normal strength concrete (NSC)*



Dauerfestigkeitsdiagramm für hochfesten Beton

*Constant life diagram for high performance concrete (HPC)*

Die Untersuchungen für normal- und hochfesten Beton erfolgten an Ausziehkörpern mit einem durch Querzugspannungen hervorgerufenen Längsriss entlang des Bewehrungsstabes. Das Versuchsprogramm beinhaltete hochzyklische Schwellversuche mit vier verschiedenen Schwingspielen und variierenden Längsrissbreiten bis zu einer Million Lastwechseln. Die Gegenüberstellung der einzelnen Belastungsbedingungen erfolgte anhand der Schlupfentwicklung zwischen Bewehrungsstab und Beton in Abhängigkeit von der Lastwechselzahl. Dabei konnte eine deutliche Abhängigkeit des Verbundwiderstandes vom Querzug beobachtet werden. Je breiter der querzugbedingte Längsriss war, desto stärker wuchs der Schlupf. Dieser stand zudem unter dem Einfluss der Mittelspannung, der Spannungsschwingbreite sowie der Betonfestigkeit. Die analytische Beschreibung der Schlupfentwicklung gemäß Model Code 90 konnte entsprechend den Versuchsergebnissen modifiziert werden.

Aufbauend auf der Vorhersage der Schlupfentwicklung erfolgte die Ableitung von Wöhlerlinien der Verbundermüdung. Da bereits die Überschreitung einer bestimmten Relativverschiebung für den Verbund zwischen Stahl und Beton kritische Folgen hat, wurden die Verbundwöhlerlinien auf der Grundlage eines zulässigen Schlupfzuwachses von 0,1 mm in Form von normierten Wöhlerlinien aufgestellt. Diese können direkt in Beziehung zu den Wöhlerlinien der Betonstahlermüdung gesetzt werden und vereinfachen durch die Normierung auf Quasi-Dauerfestigkeitswerte bei einer Grenzlasterwechselzahl von 1 Million die Erstellung von Dauerfestigkeitsdiagrammen. Aus diesen können die für Bemessungszwecke benötigten, zulässigen Spannungsschwingbreiten in Abhängigkeit von der Längsrissbreite abgelesen werden. Es wird deutlich, dass die Ermüdungsfestigkeit des Verbundes durch das Vorhandensein eines Längsrisses gegenüber der Betonstahlermüdung verstärkt an Bedeutung gewinnt. Damit muss hinterfragt werden, inwieweit das bisherige Verfahren mit getrennten Ermüdungsnachweisen für Bewehrungsstahl und Beton ausreicht, dieser Problematik gerecht zu werden.

# Bond Fatigue Under Transverse Tension

The main goal of this research project is the specific analysis of the bond behaviour between reinforcement and concrete under combined loading resulting from fatigue and transverse tension. The background is formed by reinforced concrete elements such as bridge decks of steel-concrete composite bridges, which show a bi-axial load bearing behaviour under not predominantly monotonic loading.



Betonage der Probekörper  
Casting of the specimens

The investigations for normal strength and high performance concrete were conducted on pull-out specimens with one longitudinal crack along the reinforcing bar caused by transverse tension. The experimental program included high cyclic tests with four different load cycles and varying longitudinal crack widths up to one million load cycles. The comparison of the individual load conditions was carried out by means of the slip development between reinforcing bar and concrete depending on the number of load cycles. A definite dependency of the bond strength on the transverse tension could be observed. The wider the longitudinal crack due to transverse tension, the more the slip increased. The slip was also affected by the mean stress, the stress range and the concrete strength. The analytical description of the slip development according to Model Code 90 could be modified considering the test results.

Based on the prediction of the slip development, S-N curves for bond fatigue could be deduced. Since the exceeding of a certain relative displacement has severe consequences for the bond between steel and concrete, the S-N curves were set up as normalised S-N curves based on a tolerable slip increase of 0.1 mm. These S-N curves can be set in direct relation to the S-N curves for steel fatigue and simplify creating constant life diagrams, due to the normalised quasi fatigue

strength values at a limit number of load cycles of one million load cycles. From these diagrams, which are needed for design purposes, the valid stress ranges in dependency to the longitudinal crack width can be read. It becomes clear that the bond fatigue strength, due to an existing longitudinal crack, gains in importance in comparison to the fatigue strength of the reinforcing steel. Therefore, it has to be questioned, to what extent the previous procedure of separate verifications for reinforcing steel and concrete meets the requirements of this problem.

## Titel | Title

Die Auswirkungen der Kombination von Querkzug und Ermüdungsbeanspruchung auf den Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl | The effects of the combination of transverse tension and fatigue on bond between concrete and reinforcing steel

## Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG

## Zeitraum | Period

04.2007 – 03.2009

11.2009 – 03.2012

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Alexander Lindorf

# Wie dicht sind Stahlbetonbauteile mit kleinen Trennrissen?

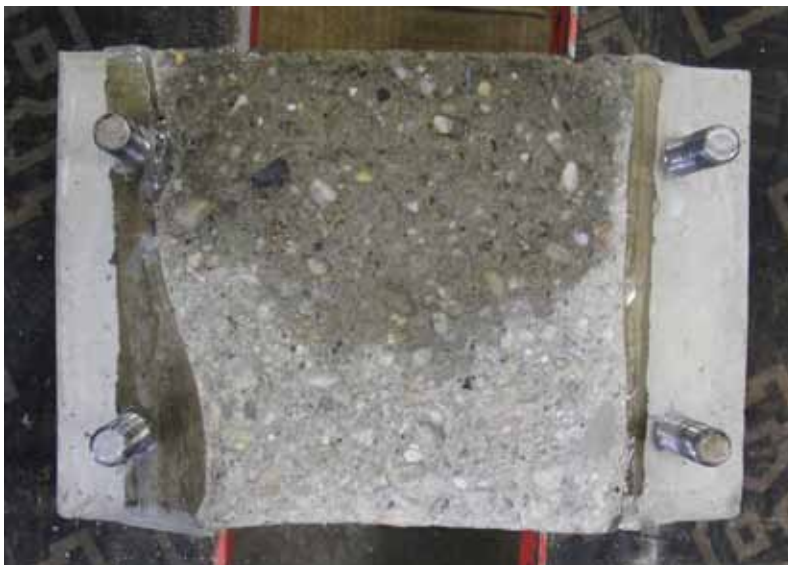
Bei der Konzeption von Anlagen, die dem Lagern, Ab- und Umfüllen von wassergefährdenden Stoffen dienen – sogenannte LAU-Anlagen –, ist es von oberster Priorität, dass das Austreten dieser Stoffe in die Umwelt und somit in Gewässer oder ins Grundwasser unter allen Umständen vermieden wird. Deshalb muss sichergestellt werden, dass der gefährliche Stoff in einer vorgeschriebenen Zeit die umgebende Baukonstruktion nicht durchdringt bzw. maximal eine definierte kritische Eindringtiefe erreicht. Dieses Kriterium muss auch bei rechnerisch vorhandenen Trennrissen erfüllt sein.

In diesem Projekt sollte überprüft werden, inwieweit ein definiertes Zuverlässigkeits- bzw. Sicherheitsniveau bei der Bemessung solcher Bauteile mit den gegebenen Ansätzen sichergestellt werden kann. Zweifel ergeben sich dabei vor allem aus der Vorhersagegenauigkeit von Rissbreiten. Mit den aktuellen Rissbreitenmodellen kann insbesondere im Bereich sehr kleiner Rissbreiten mit  $w \leq 0,1$  mm, welche für LAU-Anlagen maximal zulässig sind, keine ausreichende Genauigkeit erreicht werden.

Um das tatsächliche Zuverlässigkeitsniveau von entsprechenden Schutzbauteilen feststellen zu

können, müssen daher die Streuungen sowohl bei den tatsächlich auftretenden Rissbreiten, als auch bei den Eindringtiefen der wassergefährdenden Stoffe in Stahlbetonbauteile berücksichtigt werden. Auf der Seite der Rissbreiten steht eine große Menge an Daten zur Verfügung, mit der sich die Abhängigkeit von tatsächlich auftretenden Rissbreiten im Verhältnis zu den vorher berechneten herstellen lässt. Auf der Seite der Eindringtiefen war für eine statistische Auswertung keine ausreichende Datenbasis vorhanden. In eigenen Versuchen werden daher für zehn Flüssigkeiten Versuche durchgeführt, bei denen über einen festen Zeitraum die jeweils zu prüfende Flüssigkeit auf einen Trennriss mit definierter Rissbreite einwirkt.

Die in den Versuchen gewonnenen Daten werden nun genutzt, um das Bemessungsmodell für die Bauweise von Bauteilen mit rechnerischen Trennrissen in LAU-Anlagen hinsichtlich dessen Zuverlässigkeit statistisch belastbar zu verifizieren.



Rissfläche nach Versuchsende; gut zu sehen ist der Eindringhorizont  
*Crack surface after the test; clearly visible is the moistened zone*



# Leak Proof Elements Made of Reinforced Concrete with Small Separation Cracks

*In the design of facilities which are used for storage, filling and handling of chemical substances (substances hazardous to water – in short: SFH facilities) it is of utmost priority to ensure that leakage of such substances in the environment and thus in water is avoided under all circumstances. Therefore, it has to be ensured, that a critical depth of penetration is not reached due exposure time, even when separation cracks occur.*

*It is necessary to determine whether a defined reliability and safety can be ensured when designing such facilities with the given approaches. Doubts arise primarily from the accuracy of the prediction of the crack widths. For SFH facilities, only very small crack widths  $w \leq 0.1$  mm are maximum permissible. But using current crack width models, especially in this range of fine cracks, the achievable accuracy is too low and therefore insufficient.*

*To determine the actual reliability level of such facilities or elements, the variances of both, the crack widths actually occurring and also the penetration depths, have to be known. A large amount of data is available to generate the dependence between the calculated crack widths and the actually occurring ones. On the side for the penetration depth data for a statistical analysis are not available. Therefore own experiments are performed for ten liquids, in which over a fixed period of time each liquid has to be tested on a concrete specimen with predefined crack width.*



Versuchsstand während der Beaufschlagung mit verschiedenen wassergefährdenden Stoffen  
Test set up during impingement with different fluids hazardous to water

*The data obtained in the experiments are used for making a statistically robust verification of the model for the design of elements with small separating cracks in SFH facilities regarding to its reliability.*

## **Titel | Title**

Beurteilung des Zuverlässigkeitsniveaus von Bauteilen mit kleinen Trennrissen | *Assessing the reliability level of components with small separating cracks*

## **Förderer | Funding**

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

## **Zeitraum | Period**

03.2011 – 02.2012

## **Leiter | Project Manager**

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

## **Bearbeiter | Contributors**

Martin Just M.Sc.

# Vorankündigung von Schubversagen

Für die experimentelle Untersuchung von bestehenden Stahlbetonkonstruktionen ist es entscheidend, dass das Tragverhalten unmittelbar während des Versuches genau analysiert und bewertet werden kann. Nur dadurch kann ein sich ankündigendes Versagen rechtzeitig erkannt und eine unzulässig starke Schädigung der Struktur vermieden werden. Anders als beim Biegeversagen ist dies für gering-duktilen Versagensarten, wie z. B. für das Schubversagen von Stahlbetonbauteilen ohne Bügelbewehrung, aufgrund ihrer geringen Vorankündigung bisher nicht sicher möglich.

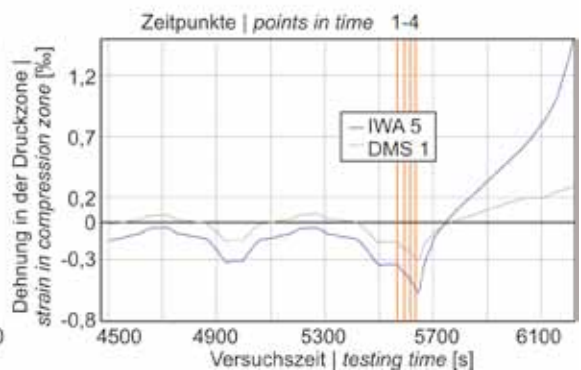
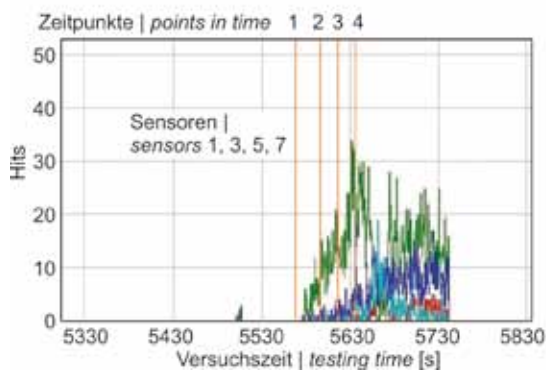
Ziel des Vorhabens ist die genaue Untersuchung des Tragverhaltens von Stahlbetonbauteilen ohne Bügelbewehrung und die Entwicklung sogenannter Versuchsgrenzlasterindikatoren, die eine sichere Echtzeitbewertung des Tragwerkszustandes während einer experimentellen Tragsicherheitsbewertung erlauben und so eine unzulässige Schädigung des Tragwerks verhindern.

Dazu werden neben der herkömmlichen Messtechnik vor allem flächenhafte Messverfahren,

wie die Photogrammetrie und die Schallemissionsanalyse verwendet. Ein besonderes Ziel ist es, vor allem durch die Kombination der genannten Messverfahren eine wesentliche Verbesserung der Informationsqualität während des Belastungsversuches zu erreichen und aus der Auswertung der Messergebnisse objektive Kriterien für die Bestimmung der Versuchsgrenzlasterlast zu definieren.

In den durchgeführten Schubversuchen zeigte sich, dass durch die gewählten Messverfahren eine gewisse Vorankündigung im Versuch detektierbar ist. Die Abbildung unten zeigt einen direkten zeitlichen Vergleich der Messtechniken. Es ist erkennbar, dass sowohl die Schallemission als auch die Photogrammetrie die sich einstellende Schrägrissbildung früh anzeigen, so dass der kritische Tragwerkszustand ausreichend vorzeitig erkannt werden kann.

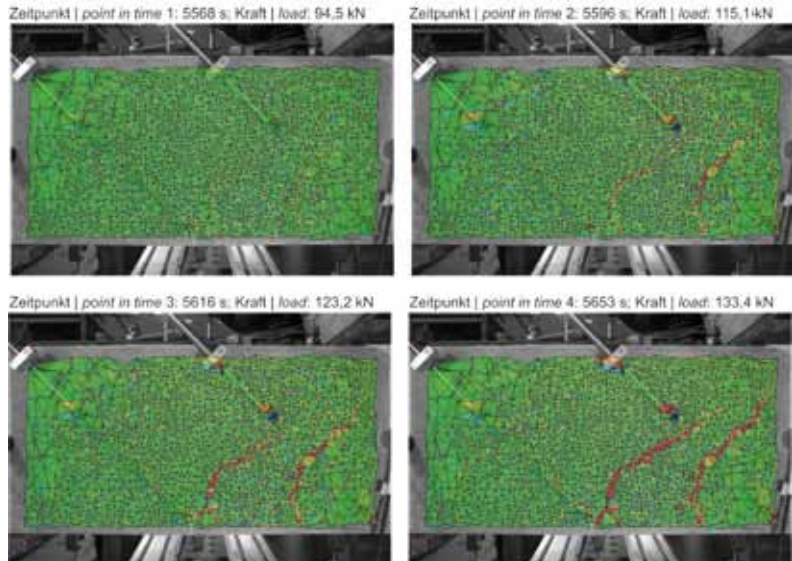
In den nächsten Schritten sollen die theoretischen und experimentellen Erkenntnisse zu Indikatoren weiterentwickelt werden, die dann in sich anschließenden experimentellen Untersuchungen erprobt und verifiziert werden.



Zeitlicher Vergleich der Schallemissionsanalyse, der Verformungs- und Photogrammetrienergebnisse  
*Temporal comparison of the results of acoustic emission, deformation and photogrammetry measurements*

# Advance Notice of Shear Failure

For the experimental investigation of existing reinforced concrete structures it is crucial to analyse and assess the load bearing behaviour simultaneously during the loading test. Only the on-line evaluation ensures the detection of an impending failure at an early stage or to avoid an inadmissible damage of the structure. In contrast to bending failure this is yet not always securely possible for low-ductile types of failure, like the shear failure of reinforced concrete elements without web reinforcement, because of their little advanced notice of developing failure.



Visualisierung des Rissverlaufs mit Hilfe der Photogrammetrie

Visualization of the crack pattern with photogrammetry

Aim of the research project is the detailed investigation of the load bearing behaviour of reinforced concrete elements without web reinforcement and the development of so called ultimate test load indicators, which allow a reliable on-line assessment of the actual condition of the structure and therefore prevent any undesired and inadmissible damage.

For this purpose, additional to common measuring equipment, especially 2D and 3D measuring

technologies like photogrammetry and acoustic emission are used. By combining the different measuring technologies it is aimed to improve the quality of structural information during an experimental investigation and to obtain objective criteria for the experimental maximum load.

In the experiments of the shear bearing behaviour a certain advanced notice of the failure was detectable with the used measuring techniques. The figure on the left page shows the direct time based comparison of all measuring techniques. It can be seen that the acoustic emission and the photogrammetry were able to indicate the developing shear crack and thereby a critical condition of the beam can be detected sufficiently early.

In the following steps the theoretical and experimental findings are to be further elaborated to indicators, which are then tested and verified in subsequent laboratory and in-situ experiments.

## Titel | Title

Versuchsgrenzlastindikatoren bei Belastungsversuchen | Criteria for the determination of the ultimate load during load testing

## Förderer | Funding

Zukunft Bau, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

## Zeitraum | Period

10.2009 – 08.2011

## Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

## Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Gregor Schacht

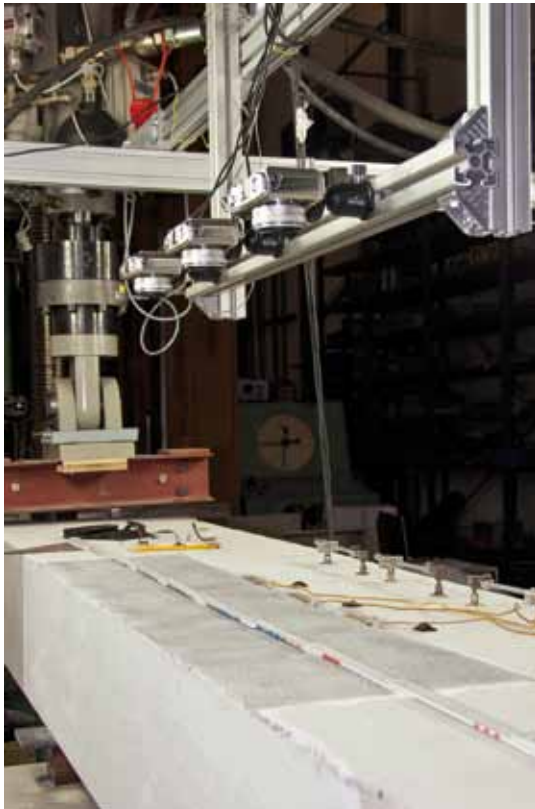
# Erfassung von Rissen mit 2D-Photogrammetrie

Um den Einfluss einer textilen Carbonbewehrung auf die Dichtigkeit von Stahlbetonbauteilen zu untersuchen und nachzuweisen, fiel die Wahl auf die Methode der Photogrammetrie. Mit einem speziell angepassten 2D-Photogrammetriesystem wurde u. a. bei 4-Punkt-Biegeversuchen die Rissentstehung und Rissbreitenentwicklung kontinuierlich über den gesamten Belastungsversuch beobachtet. Üblicherweise werden zwei Kameras zur Beobachtung eines Punktes eingesetzt, um mittels Triangulation die Punktlage exakt im Raum erfassen zu können. Bei dem angepassten 2D-Photogrammetriesystem wird die Beobachtungsfläche mit nur einer Kamera beobachtet, wodurch keine Triangulation möglich ist. Damit verliert man zunächst die Information über den Abstand der Punkte zur Kamera und damit den

Maßstab. Dieser „Fehler“ kann aber leicht behoben werden, indem ein geeigneter Maßstab einmal mit fotografiert wird. Bleibt der Abstand von Objekt und Bild während des Versuchs konstant, kann auch mit einer Kamera zuverlässig gemessen werden. Abbildungsfehler spielen eine untergeordnete Rolle, sofern lediglich Differenzverschiebungen ausgewertet werden sollen. Die Auswertung fand mit Standardsoftware statt.

Verfälscht werden die Ergebnisse aber, wenn sich der Abstand zwischen Kamera und Objekt ändert oder das Objekt so gedreht wird, dass Objekt- und Bildebene nicht mehr parallel zueinander sind. Bei diesem Projekt konnte aber nachgewiesen werden, dass unter den gegebenen Aufnahmebedingungen (Abstände, Auflösung, Bild- und Objektgröße) lediglich hinnehmbare Genauigkeitsfehler entstanden. Werden zudem punktuell die Verformungen des Versuchskörpers mit induktiven Wegaufnehmern ermittelt, könnten die Messwerte der Photogrammetrie nachträglich korrigiert werden.

Als Kamera eignet sich eigentlich jede handelsübliche Digitalkamera, vorzugsweise mit größerem APS-C-Chip und Wechselobjektiven. Manuelle Einstellmöglichkeiten für Fokus, Belichtung und Synchronisation, z. B. über Kabelauslöser, sind vorteilhaft. Je nach Messaufgabe kann auch die mögliche Bildfrequenz oder die Dauerbetriebsfrequenz das entscheidende Kriterium für die Kameraauswahl sein. Auch die optischen Gesetzmäßigkeiten sollten bei der Wahl von Brennweite und Objektabstand und damit der Bildweite berücksichtigt werden. Werden diese Empfehlungen beachtet, kann ein großer Kostenvorteil im Vergleich zu üblichen 2-Kamera-Systemen erzielt werden bzw. wird die Beobachtung einer größeren Fläche mit mehreren Kameras (Panorama) erschwinglich.



Versuchsaufbau Photogrammetrie  
*Test setup with photogrammetrie*

# 2D Photogrammetry for the Recording of Cracks

For the task of examining the influence of a textile carbon reinforcement to the tightness of reinforced concrete components the choice was given to the method of the photogrammetry. A special 2D photogrammetry system was designed to observe continuously the crack initiation and the development of the crack widths at 4 point bending tests on concrete specimen. Normally two cameras are used for the observation of a point to be able to grasp the position of the point exactly by means of triangulation in the room. This 2D photogrammetry system will observe the points with only one camera, which results in some restrictions, but it will not influence the data mainly. The lost information about the distance of the points to the camera and with that the scale can be observed separately. However, this can be easily included afterwards to calculate the cracking data.

It could be problematic, if the distance between the camera and the object changes and/or the object is turned, i.e. the object level is no longer parallel to the focal plane, because the results are then distorted (at it). It can be stated that this leads, under the given conditions of admission (distances resolution picture and object size), only to acceptable faults in the precision. The measurements of the photogrammetry could be corrected even correspondingly, if the deformations of the specimen are known selectively, e.g. from IWA data.

## Titel | Title

2D-Photogrammetrie zur messtechnischen Erfassung der Rissentstehung und Rissbreitenentwicklung | 2D photogrammetry for the recording of cracks

## Förderer | Funding

Im Rahmen des Projektes: Kennwertermittlung von Textilbeton bei Anwendung an wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF)

## Zeitraum | Period

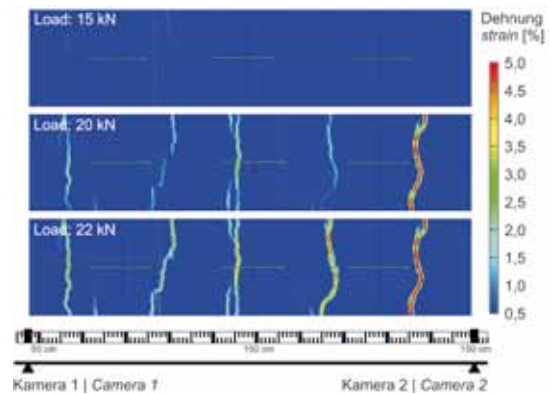
03.2010 – 10.2011

## Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Harald Michler

## Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Harald Michler



Verformungsmessungen bei verschiedenen Laststufen, aufgenommen mit Photogrammetrie

Strain at different load levels, detected with photogrammetry

As camera, every standard digital camera is suitable, preferably one with a bigger chip (APS-C) and changeable objectives. Also manual setting possibilities for focus, exposure and synchronization, e.g. over the cable trigger, are of advantage. Depending on the measurement task the possible maximum modulating frequency or the duration working frequency can also be the decisive criterion for the camera choice. The visual legitimacies also should be taken into account in the choice of focal length and object distance and with that the picture distance.

If these recommendations are considered, a great cost advantage can be obtained in comparison with the usual two camera systems and/or the observation of a bigger area becomes affordable with several cameras (panorama).

The evaluation of the pixel pictures then takes place with standard software. The won point movings are available for every evaluation. It could be shown that with this method meaningful measurements can be won with relatively simple aids.

# Formgebende Werkzeuge aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen

Durch die Entwicklung von ultrahochfesten Betonen eröffnen sich hydraulisch gebundenen Materialien neue Anwendungsfelder. So können zum Beispiel formgebende Matrizen aus Beton bei der wirkmedienbasierten Blechumformung eingesetzt werden, die gegenüber Stahlmatrizen speziell bei Klein- und Kleinstserien Vorteile bieten. Durch die gießtechnische Herstellung der Matrizen in konturgebenden Formen bedürfen sie keiner weiteren Nachbearbeitung und sind durch eine spezielle Wärmenachbehandlung 24 Stunden nach der Betonage einsatzbereit. Versuche haben gezeigt, dass mit Betonmatrizen Umformergebnisse mit der gewünschten Maßgenauigkeit bis zu einem Umformdruck von 80 MPa erzielt werden können.

Für eine effiziente Gestaltung ist es notwendig, den Umformprozess durch wirklichkeitsnahe Berechnungen vorab zu simulieren, um positive Materialeigenschaften wie die Festigkeitssteigerung bei mehraxialen Druckspannungszuständen auszunutzen oder negative Eigenschaften wie die geringe Zugfestigkeit zu berücksichtigen. Für eine realitätsnahe Simulation ist das implementierte Materialgesetz des verwendeten Betons von großer Bedeutung. Da davon ausgegangen wird, dass ein Versagen der Matrize durch das Überschreiten der Zugfestigkeit unter einer mehraxialen Beanspruchung erfolgt, werden derzeit dreiaxiale Zug-Druck-Druck-Versuche an würfelförmigen Prüfkörpern durchgeführt, um die maximale Beanspruchbarkeit sowie das Verformungsverhalten des Betons zu bestimmen. Zur Ermittlung der Dehnungen erfolgt vor der Betonage eine tetraederförmige Anordnung von sechs Faser-Bragg-Gitter-Sensoren auf einem Trägergerüst in der Betonierform, von denen vorab nachgewiesen wurde, dass sie nahezu keine Auswirkungen auf das Materialverhalten haben.

Aus den Messwerten werden die Normaldehnungen berechnet. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass der verwendete Beton beim Auftreten einer Zugspannungskomponente, die die größte Beanspruchung aller drei Richtungen darstellt, ein lineares Materialverhalten bis zum Versagen aufweist. Unter der Zunahme der Druck- und



Mehraxiale Zug-Druck-Druck-Versuche

*Multiaxial  
Tension-Compression-Compression Tests*

Abnahme der Zugbeanspruchung stellt sich bei Belastungen nahe der maximalen Festigkeit ein zunehmender Bereich nichtlinearen Materialverhaltens ein. Um eine möglichst hohe Beanspruchbarkeit im Bereich des linear-elastischen Materialverhaltens zu erreichen, sollten aufgrund der geringen Zugfestigkeit des Betons mehraxiale Spannungszustände mit großen Zugspannungskomponenten vermieden werden.

## **Titel | Title**

Entwicklung von formgebenden Werkzeugen aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen für wirkmedienbasierte Umformverfahren | *Development of forming dies made of hydraulic binder agent materials for sheet metal hydroforming*

## **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

## **Zeitraum | Period**

04.2007 – 03.2009 (1. Periode)

01.2010 – 07.2012 (2. Periode)

## **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)

Dipl.-Ing. Frank Steinbach (TU Dortmund)

# Forming Dies Made of Hydraulic Binder Agent Materials

Due to the development of ultra high performance concrete, which have uniaxial compressive strengths of more than  $150 \text{ N/mm}^2$ , new application fields for concrete open even beyond the field of civil engineering. For example, forming dies made of hydraulic binder agent materials can be applied for sheet metal hydroforming, which is advantageous especially concerning small and smallest batch production. Due to the casting process of the concrete dies in form-giving moulds, these do not require further treatment and are ready for use 24 hours after casting because of a subsequent heat curing. First tests on concrete dies showed that forming products with the required contour accuracy can be produced up to a forming pressure of 80 MPa. This means that the forming die shows elastic material behaviour up to this pressure.

For an efficient design of the dies, it is necessary to simulate the forming process in advance with realistic simulations, in order to use positive material properties such as the increase in strength at multiaxial compressive stress states to full capacity or to consider negative aspects e.g. the low tensile strength. In order to obtain a realistic simulation, the implemented material law of the

applied concrete is of great importance. To set up such a law, we performed tension-compression-compression tests on cubic specimens to find out the maximum strength as well as the deformation behaviour. Before concreting, a tetrahedron-shaped arrangement of six Fiber Bragg grating sensors on a framework inside the casting mould takes place to determine the strains. These Fiber Bragg gratings have been verified in advance to not have any effect on the material behaviour.

By means of the obtained test results, the normal strains in normal stress directions are calculated. The previous results demonstrate that the applied concrete shows elastic material behaviour until failure due to tension, in case of an occurring tensile stress component as the maximum stress of the three directions. Due to increasing compression and decreasing tension, the range of non-linear material behaviour increases at loadings close to the maximum stresses. When designing structures which are exposed to multiaxial loading, multiaxial stress states with great tensile stress components should be avoided, because of the low tensile strength of concrete, to be able to maximise the strength in the range of the linear-elastic material behaviour.



Tetraederträgergerüst  
in einer Würfelform  
vor der Betonage  
Tetrahedron framework  
in cubic cast  
before concreting

# Mehraxiale Festigkeit von UHPC

Ultrahochleistungsbeton (UHPC) besitzt viele Vorteile wie hohe Druckfestigkeit und große Steifigkeit, große Dichtigkeit und damit hohe Dauerhaftigkeit. Er hat aber auch Nachteile, die beim Konstruieren mit UHPC berücksichtigt werden müssen. So nimmt die Zugfestigkeit nicht im gleichen Maße zu wie die Druckfestigkeit, was sich in einem allgemein spröderen Versagen äußert. Auch führt die dichte Struktur zu einem schlagartigen Versagen bei Brandbeanspruchung. Diese Nachteile werden durch die Zugabe von Stahl- und/oder Polypropylenfasern teilweise kompensiert.

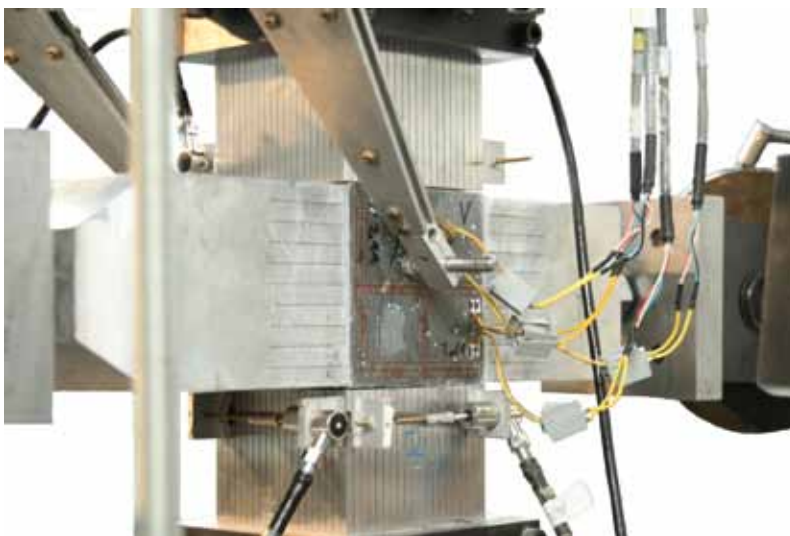
Zur Aufnahme von Zugkräften im Bauteil wird Bewehrung in den Beton eingelegt. Oft ist dennoch die Zugfestigkeit des Betons maßgebend für die Tragfähigkeit, wie bei der Bewehrungsverankerung, der Abtragung von Schubkräften oder der Lasteinleitung in Dübel oder Schubleisten. In der Regel sind mehraxiale Druck-Zug-Bbeanspruchungen bemessungsrelevant. Deshalb wurde die Tragfähigkeit von UHPC nicht nur unter zwei- und dreiaxialer Druckbeanspruchung untersucht, sondern sie wird in der dritten Phase des Vorhabens auch unter kombinierter Druck-Zug- und Zug-Zug-Bbeanspruchung experimentell bestimmt.

Die Versuche wurden in der Triaxialprüfmaschine im Otto-Mohr-Laboratorium durchgeführt. Für

die Einleitung der Zugkräfte wurden spezielle Zug-Belastungsbürsten entwickelt, die im Gegensatz zu den aus hochfestem Stahl bestehenden Druck-Belastungsbürsten aus Aluminium gefertigt wurden. Sie weisen kürzere und weniger Einzelborsten auf, wodurch sich bei ähnlichen Steifigkeitsverhältnissen die Haltbarkeit der Klebefuge zwischen Beton und Lasteinleitungsbürste verbessert.

Die ertragbare Zugspannung liegt bei zweiaxialem Zug und im Bereich zwischen einaxialem Zug und reinem Schub (Zugkraft gleich Druckkraft) auf dem Niveau der einaxialen Zugfestigkeit und fällt dann bei Spannungsverhältnissen hin zum einaxialen Druck nahezu linear ab. UHPC verhält sich dabei nahezu linear-elastisch bis zum Bruch. Durch die Zugabe von bis zu 2,5 Vol.-% Stahlfasern wurde dieses Verhalten qualitativ nicht signifikant verändert, nur die einaxiale Zugfestigkeit wurde um rund 30 % erhöht.

Das Materialverhalten von UHPC unter mehraxialen Spannungszuständen unterscheidet sich signifikant von dem Verhalten von Normalbeton, so dass die bekannten Bemessungsansätze nicht auf UHPC übertragbar sind. Die Beschreibung dieses Verhaltens ist für die Anwendung von ultrahochfestem Beton somit unbedingt erforderlich, da die mehraxiale Festigkeit oft sicherheitsrelevant ist.



Druck-Zug-Versuch  
*Compression-tension test*

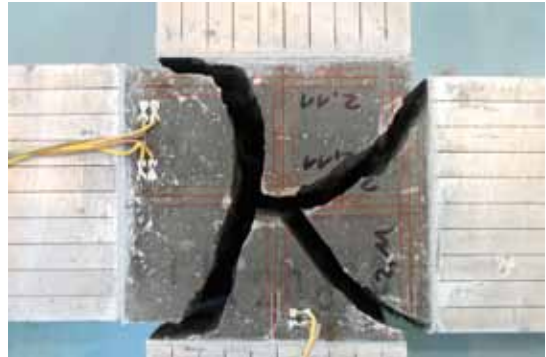


# Multiaxial Strength of UHPC

Ultra-high performance concrete (UHPC) has many advantages such as high compressive strength and high stiffness, high density and therefore high durability. UHPC also has disadvantages that must be considered in construction with UHPC. For instance, the tensile strength does not increase at the same rate as the compressive strength, which results in a generally more brittle failure. Even the dense structure leads to a sudden failure at a fire attack. These disadvantages are partially compensated by the addition of steel and/or polypropylene fibres.

To absorb tensile forces in the structural element, reinforcement is inserted into the concrete. Often, however, the tensile strength of concrete is still decisive for the load-bearing capacity, as in the reinforcement anchorage, the transfer of shear forces or the load transfer into dowels or shear connectors. In general, multi-axial compression-tension loads are relevant for dimensioning. Therefore, the load capacity of UHPC was not just investigated under bi- and triaxial compressive stress, but it was determined experimentally under combined compression-tension and tension-tension loads in the third phase of the project.

The experiments were carried out in the triaxial testing machine in the Otto-Mohr Laboratory. For the introduction of tensile forces special tension-load brushes were developed that were manufactured in contrast to the existing high-strength steel compression-load brushes made of aluminium. They have shorter and less bristles that enhance the durability of the glued joint between



Versagen unter zweiaxialer Zugbeanspruchung  
Failure under biaxial tensile load

the concrete and load application brush at similar stiffness conditions.

When biaxial tension occurs in the range between the uniaxial tension and pure shear (tensile force equal to compressive force), the tolerable tensile stress lies at the level of the uniaxial tensile strength and then the tolerable tensile stress decreases almost linearly with stress ratios up to uniaxial compression. UHPC behaves almost linear-elastic until failure. This behaviour is not qualitatively changed significantly by the addition of up to 2.5 % by volume steel fibres; only the uniaxial tensile strength was increased by about 30 %.

The material behaviour of UHPC under multiaxial states of stress differs significantly from the behaviour of normal concrete, so that the renowned design approaches are not applicable to UHPC. The description of this behaviour is necessary for the use of ultra-high strength concrete, as the multi-axial strength is often safety relevant.

## Titel | Title

Versuchstechnische Ermittlung und mathematische Beschreibung der mehraxialen Festigkeit von Ultra-Hochfestem Beton (UHPC) | *Experimental determination and mathematical description of the multi-axial strength of ultra-high performance concrete (UHPC)*

## Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1182

## Zeitraum | Period

11.2005 – 06.2012

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Kerstin Speck

# Biegeverstärkung von Platten

Im Transferprojekt T6 des Sonderforschungsbereiches 528 wurden weiterführende Untersuchungen an textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen durchgeführt. Besonderes Augenmerk galt dem in einem früheren Teilprojekt entwickelten Rechen- und Bemessungsverfahren zur Bestimmung der erforderlichen textilen Bewehrungsfläche für die Biegeverstärkung von Platten und Balken für den Versagensfall des Biegezugversagens. Dieses Modell basiert auf einer Erweiterung der standardmäßigen Biegebemessung im Stahlbetonbau. Erstmals wurde die Anwendbarkeit des Verfahrens auf zu verstärkende Stahlbetonquerschnitte mit einer Vielzahl veränderlicher Parameter, wie Bauteildicke, statische Nutzhöhe, Stahlbewehrungsgrad und Bewehrungsdurchmesser, und unter Anwendung eines in den vergangenen Jahren neu entwickelten Car-bontextils mit 800 tex Garnfeinheit und einem Rovingabstand von  $7,2 \times 18,0$  mm überprüft. Im Otto-Mohr-Laboratorium wurden dazu 15 kleinformatige Platten mit einer Grundfläche von  $1,80 \times 0,60$  m und Dicken von 10 oder 18 cm im Biegeversuch bis zum Bruch getestet.

Vor Beginn der Testreihe waren zehn der 15 Platten ein-, zwei- oder dreilagig verstärkt worden. Die Textillagen wurden im Laminierverfahren und unter Anwendung eines Feinbetons im Spritzverfahren auf die zu verstärkende Oberfläche aufgebracht. Die nötige Maschinenteknik, Arbeitsabläufe und Vor- und Nachbehandlungsmaßnahmen wurden entwickelt. Vor allem die von der Firma Pagel Spezial-Beton GmbH konzipierte Feinbetontrockenmischung ist einfach zu handhaben, was eine schnelle und wirtschaftliche Ausführung der Spritzbetonarbeiten ermöglicht.

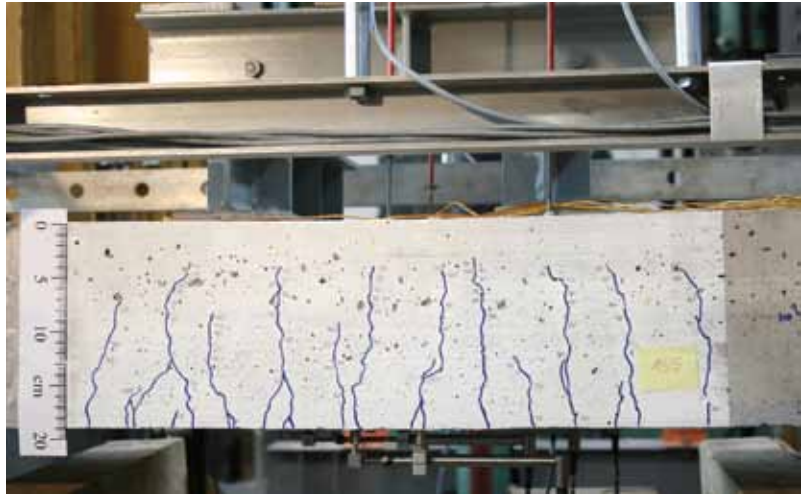
Die experimentellen Betrachtungen führten zu dem Ergebnis, dass das aufgestellte Rechenverfahren als geeignet beurteilt und für die Bemessung empfohlen werden kann. Ein weiteres Ziel des Transferprojektes war die Entwicklung von praxistauglichen, einfach zu handhabenden Bemessungstabellen. In Anlehnung an die bekannten Bemessungstabellen des Stahlbetonbaus wurden die dazu notwendigen mathematischen Grundlagen erarbeitet. Die Bemessungstabellen werden gegenwärtig noch verfeinert.



Versuchsstand für Biegeversuche an verstärkten Stahlbetonplatten  
*Test set up for bending tests of the strengthened concrete slabs*

# Flexural Strengthening of Elements

Within the transfer-project T6 of the Collaborative Research Centre 528 „Textile Reinforcements for Structural Strengthening and Repair“ additional textile strengthened reinforced concrete elements under flexural loading were studied. Particularly, the already developed computation and design methods were verified to determine the amount of the required textile reinforcement. The model is based on the common design method for steel-reinforced structural members and was extended for an additional textile reinforced concrete layer. At the first time, the computation method was applied to RC-cross sections with different parameters. Properties like the thickness, structural depth, reinforcement ratio and steel diameter were varied. For the strengthening works, a recently developed carbon textile with a fineness of 800 tex and roving distances of 7.2 and 18.0 mm respectively was used. 15 small-sized specimens with a surface area of  $1.80 \times 0.60$  m and thicknesses of



Rissbild einer zweilagig verstärkten Stahlbetonplatte  
Crack pattern of a two layer strengthened steel reinforced slab

10 and 18 cm were loaded at the Otto-Mohr-Labor until they failed under bending.

Ten slabs were strengthened with one, two or three textile layer before testing, five remained un-strengthened as reference. Appropriate strengthening methods are meanwhile available for the users of textile reinforced concrete. The fine grained concrete can be sprayed and the textile fabric can be applied layer by layer. The necessary machinery, working steps, pre- and post-treatment measures have been developed. Especially, the ready-mixed concrete mixture of the Pagel Spezial-Beton GmbH is easy to use and allows a quick and economic execution of the shotcrete works.

The experimental studies and the following theoretical considerations led to the conclusion that the developed computational methods can be assessed as suitable and recommended for design calculations.

Another objective of the transfer project was the development of practical and easy-to-use design tables. Based on the known ones for reinforced concrete elements the necessary mathematical formula and design tables for strengthened cross-sections have been developed. They are currently still refined.

## Titel | Title

Bemessungsmodell und Applikationstechnologie für Biegeverstärkung von Stahlbetonplatten | Design model and application technology for strengthened reinforced concrete slabs under bending

## Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB 528 – T6

## Zeitraum | Period

07.2008 – 06.2011

## Leiter | Project Manager

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

## Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Michael Frenzel, Dipl.-Ing. Manuel Hentschel

## Projektpartner | Project Partner

Bilfinger Berger SE, Leipzig | Putzmeister Holding GmbH, Aichtal | Pagel Spezial-Beton GmbH & Co. KG, Essen

# Übergreifung textiler Gelege

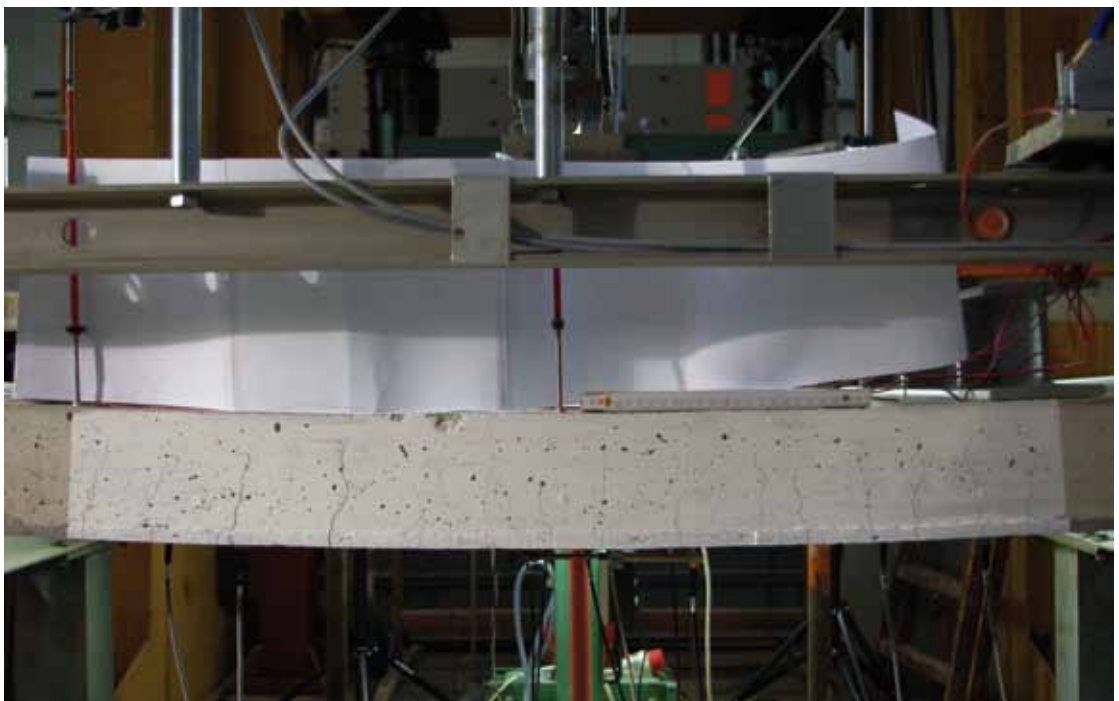
Zur Sicherstellung der Übertragbarkeit von anhand einaxialer Übergreifungsversuche konstruierter Stöße textiler Bewehrungen in Verstärkungsschichten aus Textilbeton wurden Biegeversuche an textilbetonverstärkten Stahlbetonplatten mit einem Übergreifungsstoß in Plattenmitte durchgeführt.

Die untersuchten Stahlbetonplatten waren 2,7 m lang, 60 cm breit und 10 cm dick. Sie besaßen in Längsrichtung eine untere Betonstahlbewehrung von 4 Stück  $\varnothing = 8$  mm im Abstand von 15 cm. Als textile Bewehrung kamen praxistaugliche Carbond Textilien mit Textilquerschnittsflächen von  $169 \text{ mm}^2/\text{m}$  zum Einsatz.

Vor dem Verstärken mit Textilbeton wurden die Stahlbetonplatten sandgestrahlt, um eine ausreichend raue Verbundfuge zu erzeugen. Nach dem Vornässen der Stahlbetonplatten erfolgte der lagenweise Auftrag des Textilbetons mit der Ausbildung eines Übergreifungsstoßes in Plattenmitte. Die Tragfähigkeit der Platten wurde in 4-Punkt-Biegeversuchen mit einer Plattenspannweite von 2,50 m getestet.

In den Versuchen wurden für Textilzugfestigkeiten von  $305 \text{ kN/m}$  erforderliche Übergreifungslängen der textilen Bewehrung von 37 cm nachgewiesen. Dadurch konnten die bereits aus einaxialen Zugversuchen abgeleiteten Regeln und Bemessungsvorgaben zur Bestimmung von Übergreifungslängen und Ausbildung von Stößen in Verstärkungsschichten aus Textilbeton verifiziert werden. Angemerkt sei außerdem, dass die nachgewiesene Steigerung der Biegetragfähigkeit der mit lediglich einer Lage Textilbeton verstärkten Bauteile ca. 150 % im Vergleich zu den unverstärkt getesteten Stahlbetonplatten betrug.

Mit den im Rahmen des Teilprojektes B5 des SFB 528 durchgeführten experimentellen und analytischen Untersuchungen konnten wesentliche Grundlagen für eine rechnerische Bestimmung und sichere Ausführung von Übergreifungen textiler Bewehrungen innerhalb von Verstärkungsschichten aus textilbewehrtem Beton geschaffen werden.



Beim 4-Punkt-Biegeversuch | *During 4-point bending test*

# Lap Joints for Textile Fabrics

With the aim of ensuring the transferability of the joints between textile reinforcements in strengthening layers made of textile reinforced concrete, which were constructed based on the results of uniaxial lap tests, bending tests were carried out on textile reinforced RC slabs with a lap joint positioned at the centre of the slab.

The examined RC slabs had a length of 2.7 m, a width of 60 cm and a thickness of 10 cm. In longitudinal direction, a steel reinforcement consisting of four pieces  $\varnothing = 8$  mm was positioned at intervals of 15 cm. The textile reinforcement applied was made of practice oriented carbon textiles with textile cross sections of  $169 \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Before the RC slab was strengthened with textile reinforced concrete, it had been sandblasted to create a bonding joint which was sufficiently rough. After the RC slabs had been prewetted, the textile reinforced concrete was applied layer by layer. In the process a lap joint was created in the middle of the slab. The test regarding the load-bearing capacity of the slabs was carried out in 4-point bending tests with a span width of 2.50 m.



Messtechnik an der Plattenunterseite  
Measurement on the bottom side of the slab

The tests confirmed that the ultimate tensile strength of the textile of  $305 \text{ kN/m}$  require lap lengths of  $0.37 \text{ m}$  in the textile reinforcement. Consequently, the rules and design specifications for the development and determination of lap lengths in strengthening layers made of textile reinforced concrete, which had already been deduced from uniaxial tension tests, could be verified. The tests showed also that the flexural strength of structural components reinforced by just one layer of textile reinforced concrete increased by approximately 150 % in comparison to unstrengthened RC slabs.

As a result, the experimental and analytical tests carried out in the framework of subproject B5 of the CRC 528 have contributed decisively to the arithmetic calculation and safe execution of textile reinforcement laps in strengthening layers made of textile reinforced concrete.

## Titel | Title

Grundlagen konstruktiver Bewehrungsdetails | Fundamentals of structural reinforcement details

## Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB 528 – B5

## Zeitraum | Period

07.2009 – 06.2011

## Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

## Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Enrico Lorenz M.Sc.

# Leichte Balkonplatte aus Textilbeton

Im Rahmen einer durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) geförderten Industriekooperation wurde die Eignung von Textilbeton für die Herstellung von leichten, materialeffizienten Balkonbodenplatten untersucht. Es konnte erfolgreich nachgewiesen werden, dass im Vergleich zu der herkömmlichen Ausführung in Stahlbeton die Platten filigraner und leichter sein können. Besondere Herausforderung des Projektes war es, eine geeignete Herstelltechnologie für eine industrielle und wirtschaftliche Massenfertigung zu finden. Es wurden zudem Berechnungs- und Bemessungsverfahren für die erforderlichen Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit entwickelt.

Als Ergebnis der theoretischen Betrachtungen und fünf experimentell untersuchten Prototypen steht den Praxispartnern eine funktionstüchtige, vierpunktgelagerte Balkonplatte mit einer Grundfläche von  $3,75 \times 1,75$  m und einem umlaufenden Randbalken, ausgebildet als Oberzug, zur Kundenpräsentation zur Verfügung. Als Bewehrung kamen verschiedene Materialien wie

Baustahl BSt 500, BSt 500 NR und Carbondtextil SIGRATEx Grid 600 (SGL Technologies GmbH) zum Einsatz. Diese Bewehrungsmaterialien wurden entsprechend ihrer optimalen Eignung den Bauteilbereichen zugeordnet – BSt 500 dem (massiven) Randbalken, die Carbonbewehrung dem filigranen Plattenspiegel und der Edelstahl im Übergangsbereich Platte-Randbalken. An der Oberseite wurde außerdem eine Nuttschicht aus Prägebeton angeordnet. Mit einer Plattenspiegeldicke von lediglich 4,5 bis 11 cm konnte eine sehr filigrane, leichte Struktur konstruiert werden. Die Herstellung erfolgte im Betonwerk in einem kombinierten Verfahren aus Fließbetonage und Laminieren.

Die kontinuierliche Verbesserung der Konstruktion während der Prototypenentwicklung führte zur Minimierung des Fertigungsaufwandes und der Herstellkosten. Die abschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigte, dass unter Ausnutzung weiterer noch nicht berücksichtigter Optimierungsmöglichkeiten die entwickelte Textilbetonplatte mit einer gleichwertig tragfähigen Stahlbetonplatte konkurrieren kann.

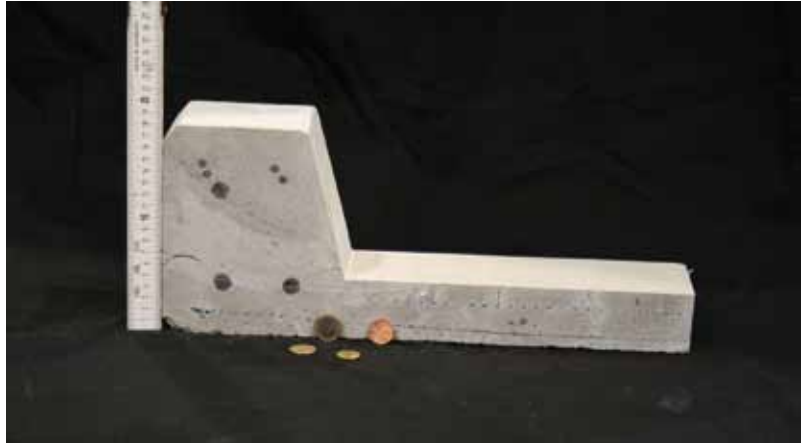


Balkonplatte  
unter Belastung  
*Loaded balcony slab*

# Lightweight TRC Balcony Slab

The suitability of textile reinforced concrete for lightweight, material-efficient balcony floor slabs was examined by an industrial cooperation project, which was promoted by the "Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungen (AiF)". It was successfully demonstrated that, compared to the conventional steel reinforced concrete design, balcony slabs can be manufactured thinner and lighter. Special challenge of this project was to find an appropriate procedure for an industrial and economic mass production. There have also been developed computation and design methods to satisfy the required ultimate and serviceability limit state criteria.

As a result of the theoretical considerations and of five experimentally tested prototypes, the cooperative partners provided a fully functional, four point supported balcony floor slab with a periph-



Schlanker Anschluss zwischen textilbewehrter Platte und stahlbewehrtem Randbalken

*Slender connection between textile reinforced slab and steel reinforced beam*

eral edge beam and an area of 3.75 m x 1.75 m which may be presented to customers. Different reinforcing materials like reinforcing steel BSt 500, stainless steel BSt 500 NR and a carbon textile SIGRATEx Grid 600 (SGL Technologies GmbH) were applied. These different reinforcing components were assigned to different slab parts in dependence of their suitability – reinforcing steel BSt 500 to the (solid) edge beam, the carbon fabric to the slender parts of the slab and the stainless steel in the transition area between slab and edge beam to achieve optimal bond there. Additionally, a top layer made of a special coating was placed onto the slab to guarantee a durable, resistant surface. Due to the little slab thickness which varies between 4.5 and 11 cm, a slender lightweight structure was designed. The prototype of the balcony slab was concreted by a cast-and-laminate technology in a concrete plant.

The continuous improvement of the design during the prototype development led to a minimization of the manufacturing time and costs. The final economic analysis, considering further not yet integrated optimizations, showed that a textile reinforced concrete slab can compete with an equally bearable steel reinforced concrete slab.

## **Titel | Title**

Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von oberflächenfertigen vollkomplettierten textilbewehrten Balkonbodenplatten mit integrierter Tragelemente-Anbindung | *Development of a manufacturing technology for surface-ready, fully completed textile reinforced balcony slabs with integrated bearing elements*

## **Förderer | Funding**

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

## **Zeitraum | Period**

07.2010 – 10.2011

## **Leiter | Project Manager**

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

## **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

## **Projektpartner | Project Partner**

Metallbau Guke GmbH, Seerhausen | Betonwerk Oschatz GmbH, Oschatz | Institut für Baustoffe, TU Dresden

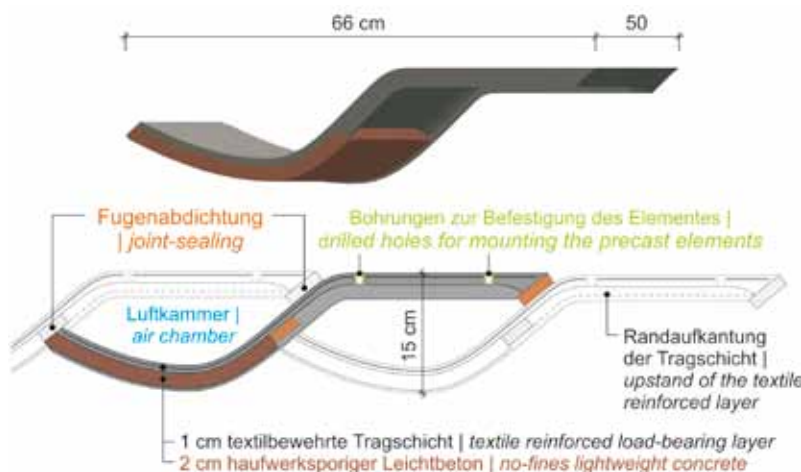
# Leichtbauelemente für Brand- und Schallschutz

Textilbewehrter Beton inspiriert durch seine Formbarkeit und Leichtigkeit immer wieder zu neuen Ideen der Anwendung. Ein Beispiel sind organisch gekrümmte Fertigteile, die – als Unterdecke montiert – die Raumakustik sowie den bautechnischen Brandschutz verbessern.

Die im Brandfall beanspruchte Unterseite der Fertigteile besteht aus einer Leichtbetonschicht mit offenporigem Gefüge. Die Zuschlagkörner sind nur punktuell verklebt, so dass kleine Hohlräume verbleiben, die den Wärmedurchgang der Schicht reduzieren während das Absorptionsvermögen für Schallwellen steigt. Eine zweite Schicht aus textilbewehrtem Feinbeton gewährleistet die Zugtragfähigkeit der Fertigteile. Durch die S-förmige Krümmung der Fertigteile entstehen bei der Montage der Unterdecke weitere Luftkammern. Die Nachweisebene für die Brandwiderstandsdauer befindet sich über den Luftkammern auf der Oberseite der Unterdecke.

Entscheidend für die Dicke der Leichtbetonschicht ist der Temperaturanstieg in der textilbewehrten Tragschicht. Dieser ist soweit zu begrenzen, dass die Tragfähigkeit der textilen Bewehrung innerhalb einer Branddauer von 60 bis 90 min erhalten bleibt. Für Glasfaserbewehrungen sind bereits Temperaturen zwischen 300 und 400 °C kritisch, da die Zugfestigkeit der Fasern in diesem Temperaturbereich schnell und deutlich absinkt. Carbonfasern hingegen sind bis zu einer Temperatur von 400 °C unter Normalatmosphäre (oxidierender Brand) beständig.

Die Wärmedämmung der haufwerksporigen Schicht wurde für verschiedene Betonrezepturen im Brandversuch geprüft. Die Aufbringung der Brandbeanspruchung erfolgte nach der norm-



Entwurf der Fertigteile  
*Design of the prefabricated elements*

ten Einheitstemperaturzeitkurve (ETK), die üblicherweise für die Klassifizierung von Bauteilen verwendet wird.

Nach den Ergebnissen der Brandprüfung, die im Diagramm für eine haufwerksporige Schichtdicke von 2 cm dargestellt sind, erweisen sich leichte Zuschläge wie Blähglas als besonders effektiv. Der Temperaturanstieg auf der Oberseite der Tragschicht ist nach 90 min mit ca. 260 °C am geringsten. Deutlich höher ist der Temperaturanstieg bei den schwereren Zuschlägen. Sowohl bei den Verbundplatten mit Blähton als auch bei den Verbundplatten mit Blähschiefer steigen die Temperaturen auf der Oberseite der textilbewehrten Tragschicht auf über 300 °C an, so dass für Glasbewehrungen mit einem deutlichen Festigkeitsabfall zu rechnen ist. Ob dieser Festigkeitsabfall für die Tragfähigkeit der Fertigteile kritisch ist, wird derzeit in weiteren Brandversuchen an biegebeanspruchten Textilbetonproben geprüft.



# Lightweight Construction Elements for Noise and Fire Protection

Due to its flexibility and lightness, textile reinforced concrete TRC inspires new ideas for its application. For example, organically curved precast elements which, mounted as suspended ceiling, improve the room's acoustics and the structural fire protection.

The underside of the precast element, which would be stressed in case of fire, consists of a lightweight concrete layer with porous structure. The aggregate is glued with cement paste only in the contact points. Small air-filled cavities, which reduce the layer's thermal conductivity while the absorbing capacity of sound waves is increased, remain within the structure. A second layer of TRC guarantees the tensile resistance of the precast elements. When installing the suspended ceiling, additional air chambers result from the S-shaped curve of the prefabricated elements.

## Titel | Title

Räumlich geformte, hitzebeständige sowie schalldämmende Leichtbauelemente aus textildewehrten mineralischen Baustoffen (Multiaxiale Baustoffverbunde) | Spatially shaped, heat-resistant as well as sound absorbing lightweight components made of textile reinforced mineral building materials (multiaxial building-material compounds)

## Förderer | Funding

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

## Zeitraum | Period

09.2009 – 02.2012

## Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Anett Brückner, Dr.-Ing. Jan Hausding

## Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Anett Brückner, Dipl.-Ing. Thomas Engler, Dr.-Ing. Marko Butler

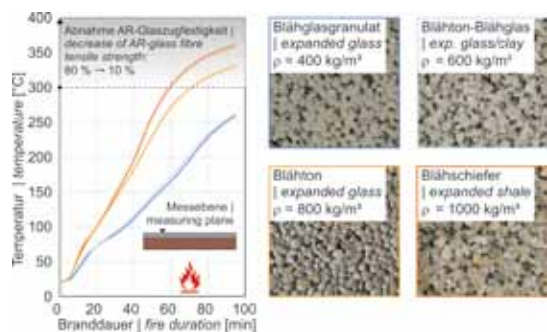
## Projektpartner | Project Partner

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

In case of fire resistance, the rise in temperature in the TRC-layer is essential for the thickness of the lightweight concrete layer located at the bottom of the element. In case of glass fibre reinforcements, temperatures of only 300 to 400 °C become decisive. In this temperature range, the fibre tensile strength decreases from 80 % (300 °C) to only 10 % (400 °C). In contrast to this, carbon fibres can be applied up to a temperature of 400° C in standard atmosphere.

The thermal insulation of the lightweight concrete layer was tested for various concrete compositions in fire tests. The application of fire exposure was based on the approved temperature-time curve for cellulose fire which is usually used for the classification of structural members.

With a lightweight aggregates layer thickness of 2 cm the temperature increase of approximately 260 °C after 90 min on the upper side of the load-bearing layer was the lowest when using expanded glass. The increase was higher for heavier aggregates. As a result, for glass reinforcements a significant decrease in strength can be expected. Whether this decrease is critical for the load-bearing capacity of the precast elements will be tested in further fire tests on textile reinforced concrete samples with flexural loading.



Temperamentwicklung auf der Oberseite des Materialverbundes

Temperature development on the upper side of the material compound

# Schädigungsmodellierung für TRC-Sandwichplatten

In diesem Projekt wird das Biegetragverhalten von Sandwich-Platten untersucht und mit verschiedenen numerischen Modellen verglichen. Die Sandwichelemente sind 600 bzw. 1200 × 100 mm groß und bestehen aus einem 80 mm dicken Kern aus Polyurethanschaum bzw. Porenbeton und zwei 8 mm starken Deckschichten aus Textilbeton (TRC). Die Schichten wurden mit Epoxidharz verklebt.

Neben einer Parameterstudie, in der der Einfluss von Spannweite, Kernmaterial und Bewehrungsgrad der Deckschichten untersucht wurde, liegt der Fokus

vor allem auf der numerischen Modellierung der Strukturen einschließlich der Schädigungsentwicklung.

Neben Ingenieurmodellen wurden zur Nachrechnung verschiedene FE-Programme eingesetzt, wobei die besten Ergebnisse mit Abaqus/Explicit erzielt wurden. Zur Modellierung der Textilbetondeckschichten konnte auf Daten aus Dehnkörperversuchen – das sind Standardversuche bei Textilbeton – zurückgegriffen werden. Der Beton wird durch ein sprödes Zugtragverhalten charakterisiert und entsprechend modelliert, die Bewehrung durch eingebettete Elemente abgebildet.

Von entscheidender Bedeutung für das Tragverhalten der Gesamtstruktur ist die Modellierung der Kernschicht. Dies erfolgte mit verschiedenen Modellen, die sehr unterschiedliche Ergebnisse erbrachten: Das plastische Materialmodell ermöglicht eine gute Anpassung der Last-Verformungs-Kurve, jedoch auf Kosten einer ungenauen Verformungsfigur. Das in allen Versuchen aufgetretene Versagen durch Schubrissbildung



Versuchskörper mit Rissbildung im 3-Punkt-Biegeversuch  
*Specimen in a 3-point bending test and crack formation*

kann nicht simuliert werden. Ein speziell für Schaumstoff konzipiertes Materialmodell zeigte dieselben Schwächen. Ein linear-elastisches Modell, kombiniert mit einem Schädigungsmodell, das auf kohäsiven Rissen basiert, gibt die reale Rissbildung und das Versagen durch den zum Auflager fortschreitenden Schubriss sehr genau wieder, jedoch mit ungenauer Abbildung der Last-Verformungs-Kurve.

Die o. g. Rechenmodelle müssen weiter optimiert werden bzw. es muss ein eigenes Materialmodell in Abaqus/Explicit implementiert werden, sodass die Versuchsdaten besser reproduziert und später das Modell zur Simulation von anderen Bauteilen verwendet werden kann. Ferner sollen die Untersuchungen auf dynamische Effekte ausgeweitet werden. Als Grundlage dienen hier Kräfte und Beschleunigungen, die in einer Fallgewichtsanlage in Anprall-Versuchen gewonnen und aufgezeichnet werden sollen.

# Damage Modelling for TRC-Sandwich Plates

In this project the load bearing behaviour of sandwich plates in bending is being assessed and compared to numerical models. The sandwich elements (600 / 1200 × 100 mm) consist of an 80 mm core layer made of polyurethane foam or aerated concrete and two 8 mm thin cover layers made of textile reinforced concrete (TRC). The cover layers and the core layer were bonded by epoxy resin cement.

Besides a parametric study to examine the influence of span, core material and percentage of reinforcement in the cover layers, the main objective is the numerical modelling of the structures including damage evolution.

In addition to engineering models, various FEA-programs were used for calculation. Best results were achieved by Abaqus/Explicit. Test data from tensile standard tests could be used to model the cover layers. Concrete displays an elastic-brittle tensile behaviour and is modelled accordingly. Textile reinforcements are added as embedded elements.

To model the load bearing behaviour of the structure, an accurate material model for the core is crucial. The results yielded by various models differed largely. Plastic material models allow a good fitting of the load-deflection curve, yet with an inaccurate deformation figure. The shear failure that occurred in all experiments could not

## Titel | Title

Textilbeton-Sandwichplatten unter Stoßbelastung |  
TRC sandwich panels under impact loading

## Förderer | Funding

Institut für Massivbau, TU Dresden

## Zeitraum | Period

01.03.2011 – 29.02.2012

## Leiter | Project Manager

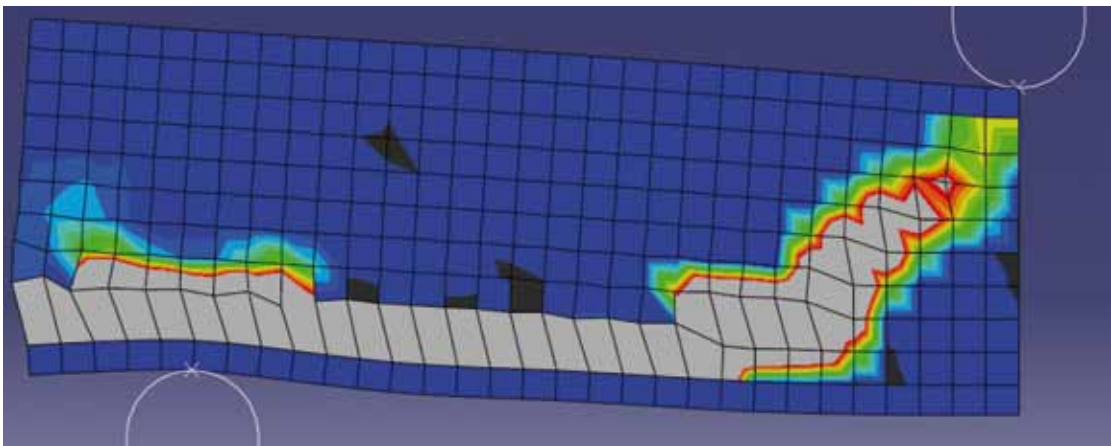
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

## Bearbeiter | Contributors

Joachim Finzel M.Sc.

be simulated. A 'crushable foam' material model displayed the same inadequacy. A linear-elastic material model, combined with a damage model based on cohesive crack formation, can model the real crack formation and the crack propagation towards the support very well, but yields an inaccurate load-deflection curve.

The above-mentioned computational models must be further optimised, or rather a user defined material model has to be implemented in Abaqus/Explicit, so experimental data can be reproduced more accurately and the model can be used for simulation of other elements in the future. Furthermore, the research shall be extended to dynamic effects, using force and acceleration data which will be recorded in a falling-weight facility in the Otto-Mohr-Laboratory.



Schädigungsentwicklung des Kernmaterials beim Materialmodell mit kohäsivem Riss  
Damage evolution in the core material according to cohesive crack material model

# Carbon-Bewehrung für wasserundurchlässigen Normalbeton

Im Rahmen einer Industriekooperation mit der Firma Quinting Zementol GmbH wird die Eignung von Carbontextilien zur Erzielung von wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen untersucht. Die Carbonstrukturen werden hierbei als zusätzliche Bewehrung im Bereich der Betondeckung, also relativ oberflächennah, eingebaut. Ermöglicht wird dies durch ein spezielles Herstellungsverfahren, welches die Firma entwickelt hat.

Durch die Anordnung des Textils in der sonst unbewehrten Betondeckung ca. 5 mm unter der Oberfläche wird erreicht, dass die beim Reißen des Betons frei werdende Rissenergie mit günstigerem statischem Hebelarm in den Geleigen aufgenommen wird. Damit können die absoluten Rissbreiten wesentlich verkleinert werden. Die Wasserundurchlässigkeit einer solchen Betonkonstruktion wird deutlich verbessert.

Im Rahmen des Projektes wurden hauptsächlich 4-Punkt-Biegeversuche durchgeführt, in denen die Rissbildung mit einem speziell angepassten 2D-Photogrammetriesystem kontinuierlich beobachtet wurde. So konnte der Einfluss der textilen Bewehrung auf die Rissentstehung und -entwicklung im Gebrauchslastzustand beobachtet und quantifiziert werden. Mit dem Textil SGL GRID 600 (ca. 600 g/m<sup>2</sup>) ist es möglich die Rissbreiten im Gebrauchslastzustand von 0,3 bis

0,4 mm auf 0,1 bis 0,15 mm zu begrenzen. Das Gleiche kann mit einer 400-g/m<sup>2</sup>-Struktur (SGL GRID 400) erreicht werden, wenn die Garne zusätzlich besandet werden.

Begleitet werden die Laborexperimente durch bautechnische Einbauversuche auf Großbaustellen und durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Es konnte gezeigt werden, dass die textile Bewehrung mit dem Verfahren der Firma Quinting Zementol GmbH lagesicher und mit ausreichender Betondeckung eingebaut werden kann. Der gute Verbund zur Betonmatrix wird über die Art der Nachbehandlung und Nachverdichtung erreicht und sichergestellt. Auch Übergreifungsstöße konnten ohne größere Schwierigkeiten ausgeführt werden.

In diesem Projekt konnte somit nachgewiesen werden, dass textile Strukturen in einen Normalbeton mit einem üblichen Größtkorn von 16 bis 32 mm eingesetzt werden können. Ein spezieller Feinbeton ist somit nicht zwingend erforderlich, um die positiven Eigenschaften der textilen Strukturen zu aktivieren. Das Verfahren ist sowohl im Labor als auch unter den rauen Bedingungen einer Großbaustelle sicher anwendbar. Die gewählten Carbon-Textilien sind ausreichend robust für dieses Einsatzgebiet. Das Vorhaben wurde Ende 2011 abgeschlossen, ein Abschlussbericht ist verfügbar.



Überlappungsstoß  
mit GRID 400

*Overlapping joint  
SGL-GRID 400*

# Carbon Reinforcement for Water Impermeable Normal Concrete

*This project is an industrial cooperation with the Quinting Zementol GmbH to prove the ability of carbon textiles to design a more water resistant concrete construction. The carbon textile structures are applied as an additional reinforcement in the concrete cover and are therefore located relatively close to the surface. A special manufacturing method of the company made such constructions possible.*

*The application of carbon reinforcement approximately 5 mm under the concrete surface helps to gain better control of the cracking energy. The carbon fibres absorb a main part of the cracking energy due to the more beneficial static lever arm. The absolute crack width can be reduced radically and therefore the water resistance of such a concrete construction is clearly improved.*

*To determine the parameters of the carbon textiles, the main testing is done by 4 point bending tests. A special 2D photogrammetry system is used to monitor the cracking itself and the developing of the crack width. Three cameras looking at different parts of the monitoring field make it possible to observe the influence of carbon textiles on crack behaviour and development. The quantity of the crack width is calculated in a second step by means of the taken photos.*

## **Titel | Title**

Kennwertermittlung von Textilbeton bei Anwendung an wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen |  
Carbon reinforcement for water impermeable normal concrete

## **Förderer | Funding**

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

## **Zeitraum | Period**

03.2010 – 10.2011

## **Leiter | Project Manager**

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

## **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Harald Michler

## **Projektpartner | Project Partner**

Quinting Zementol GmbH



Kontrolle der Einbaulage des Textils

Position monitoring of the carbon reinforcement

*With textile structures of approximately  $600 \text{ g/m}^2$  (SGL GRID 600) it is possible to limit the crack width under service load from 0.3-0.4 mm to 0.1-0.15 mm. The same can be achieved with a  $400 \text{ g/m}^2$  textile structure (SGL GRID 400) by an additional sanding of the textile.*

*Along with these laboratory experiments technical installation tests on construction sites and efficiency analyses have been made. It could be shown that the textile can be installed by the special method of the Quinting Zementol GmbH in a firm position. A good bond between concrete matrix and textile could be reached. This demonstrates that textile structures can be put into a normal concrete with a usual aggregate size from 16 to 32 mm and a special fine grained concrete is not necessarily in each application case.*

*Constructive requirements, such as overlap lengths, can be designed without difficulties. The method is suitable for the use on a construction site and its rough conditions. The chosen carbon textiles are robust enough for this field of application. The project was completed at the end of 2011, a final report is available (in German).*

# Ein Gebäude aus Textilbeton

Zu Beginn des SFB 528 im Jahre 1999 stand die grundlegende Erforschung des innovativen Verbundbaustoffs textilbewehrter Beton im Vordergrund. Aus dieser Erprobungs- und Entwicklungsphase heraus wurden mit der Zeit immer mehr praxisbezogene Projekte ins Leben gerufen. So gelang es uns, in Pilotprojekten Textilbeton bei tragenden Bauteilen einzusetzen, beispielsweise beim Bau von leichten Segmentbrücken oder bei der Sanierung und Verstärkung von Deckensystemen oder Überdachungen. Bei nicht tragenden Bauteilen, wie z. B. bei selbsttragenden Vordachfassaden, wie sie beispielsweise die Firma Heringbau herstellt, ist Textilbeton bereits heute Stand der Technik.

Obwohl viele positive Eigenschaften des Materials mittlerweile sicher erforscht und in der Praxis bekannt sind, wurde Textilbeton für tragende Bauteile bisher nur im begrenzten Maße eingesetzt. Um dies zu ändern, arbeiten wir einerseits verstärkt an der Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, andererseits wollen wir mit Hilfe weiterer Solitärprojekte den Bekanntheitsgrad des Materials noch weiter erhöhen.

Ein aktuelles Projekt ist ein Pavillon aus dünnen, frei geformten Fertigteilen. Ziel ist die Entwick-

lung einer Prinziplösung für Gebäude, die vollständig aus einzelnen Textilbetonelementen bestehen und beliebig oft montiert und demontiert werden können. Als textile Bewehrung werden Gelege aus korrosionsbeständigen Carbonfasern verwendet. Somit kann die Betondeckung gegenüber herkömmlichem Stahlbeton deutlich verringert werden, wodurch filigrane und architektonisch ansprechende Bauteile hergestellt werden können. Durch das Zusammensetzen von mehreren schalenförmigen Fertigteilen aus textilbewehrtem Beton soll es möglich werden, Gebäude mit unterschiedlichsten Grundflächen zu realisieren. Mit dieser Systemlösung können dann sowohl Bungalows als auch Versammlungsräume errichtet werden.

Die Geometrie und die textile Bewehrung der Fertigteile wurden so optimiert, dass neben einer vielseitigen Einsetzbarkeit auch alle Anforderungen an die Tragfähigkeit der einzelnen Elemente sowie des gesamten Gebäudes erfüllt werden. Außerdem muss die Herstellung wirtschaftlich möglich sein. Ein solches Herstellverfahren wird derzeit von den Partnerfirmen entwickelt.



Fertigteil aus Textilbeton  
*Precast TRC Segment*

# A Building Made of TRC

In the year 1999, when SFB 528 commenced, the research work done in the field of innovative composite building materials such as textile reinforced concrete (TRC) was still in the foreground. However, more and more projects have been launched since the initial testing and developmental phases of this material. This has further empowered us to develop pilot projects in which the textile reinforced concrete is used in structural members such as light-weight bridge segments, or for strengthening of existing RC structures, e.g. roof systems. Non-structural systems such as self-supporting façade elements, which are manufactured e.g. by Heringbau GmbH, TRC represents the state-of-the-art today.

In the past, textile reinforced concrete has seen only limited application in structural members in spite of careful exploration of its many agreeable properties. To change this we have been rigorously working with a two point agenda. On one

## **Titel | Title**

Entwicklung einer Prinziplösung für Gebäude aus tragfähigen Textilbetonfertigteilen | *Development of a principle solution for buildings composed of load-bearing TRC components*

## **Förderer | Funding**

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

## **Zeitraum | Period**

07.2010 – 02.2012

## **Leiter | Project Manager**

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

## **Bearbeiter | Contributors**

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

## **Projektpartner | Project Partner**

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



Modell eines Gebäudes aus schalenförmigen Textilbetonfertigteilen

*Model of a building consisting of TRC components*

hand, we are striving for General building inspection approval and on the other hand, we are creating awareness about the material by encouraging individual projects.

The current project is a pavilion made of thin, free formed precast elements. The aim is to develop a basic solution for buildings built entirely with single elements made of TRC. These elements should be combined and disassembled. As the textile reinforcement is made out of corrosion resistant carbon fibers, the necessary concrete cover can be considerably reduced in comparison to common steel reinforcement. Therefore, architecturally and aesthetically appealing structures can be produced. On conjoining several shell-like segments, buildings of different types can be built. In the future bungalows or conference halls will be a possibility with these systems.

The geometry of the finished parts of textile reinforcement were optimized so that in addition to versatile applicability, requirement for the sustainability of individual elements and of the entire building can be achieved. Furthermore, economical production of the system is also made possible. Such a preparation process is being developed by the partner companies.

# Stützen – wie in der Natur gewachsen

In der Natur gibt es nur wenige Fugen zwischen den einzelnen Bauteilen. Fast alles ist monolithisch miteinander verbunden – zusammengewachsen. Natürliche Stützen sind meist mit den angrenzenden Bauteilen annähernd starr verbunden. Diese eindimensionalen, vorwiegend auf Druck beanspruchten Bauteile sind offenbar nicht nur im Bauwesen weit verbreitet. Es gibt unzählige verschiedene Arten, Größen und Formen in der gewachsenen Natur. In den Schuppen von Schmetterlingsflügeln sind sie sehr klein. Als Stämme der Sequoias – Mammutbäume – werden sie bis zu 100 m hoch. Anders als in der Natur zeigt die typisch monolithische Stütze im Bauwesen jedoch einen über die Höhe konstanten sowie quadratischen Querschnitt. Aus ästhetischen Gründen wird manchmal eine kreisrunde oder bei stark unterschiedlichen Horizontallasten ggf. rechteckige Geometrie verwendet. Eine weitere Anpassung der Stützenform an den Kraftfluss wird oft nicht vorgenommen, obwohl noch einige Bereiche im Bauteil nicht ausgelastet sind.

Doch wie sehen optimal geformte Stützen aus? Die biegesteife Verbindung von Elementen in der Natur überträgt Verformungen und erzeugt somit Kräfte bzw. Spannungen, für deren Aufnahme die Anschlusspunkte der natürlichen Stütze verdickt

werden. Diese Aufweitung des Querschnitts ist für das Bündeln der ankommenden Lasten günstig, denn diese verlaufen nicht immer optimal durch die Stützenachse. Auch geringe Lasten senkrecht zur Mittelachse sind so übertragbar. Eine trichterförmige Verdickung, wie z. B. bei Astgabeln, lenkt die ankommenden Lasten sozusagen in die richtige Richtung, die dann effektiv über einen geringen Querschnitt in der Mitte abgetragen werden. Auch die angrenzenden Bauteile werden gleichmäßiger belastet.

Ansätze zur effizienteren Ausnutzung von Stützen im Bauwesen gab es zum Beispiel in den 60er Jahren von Frank Lloyd Wright. Er entwarf und baute sehr schlanke Stützen für große Räume mit einer oberen Aufweitung – so genannte Pilzstützen. Diese Bauweise ist wieder in Vergessenheit geraten, da deren Herstellung durch die aufwändige Schalung teuer ist. Wird mit neuen Betonen und Schalungstechniken die kraftflussoptimierte Anpassung von Stützen möglich und wirtschaftlich? Beton eignet sich generell sehr gut zum Herstellen von frei geformten Bauteilen, da er in der Verarbeitung fließfähig ist und somit jede Form annehmen kann. Mit der besseren Schalungs- und Rechner-technik sind alle Voraussetzungen gegeben, eine optimale Stützenform zu entwickeln.



Gewachsene Stütze  
als Vorbild?

*Grown columns  
as role model?*

[Foto: Sylke Scholz]



# Columns as Grown in Nature

*In nature there are only few gaps between individual structural components. Almost everything is monolithically connected – grown together. Also, natural columns are almost rigidly connected with the adjacent components. These one-dimensional, mainly pressure loaded components are apparently not only in field of construction widespread. In the grown nature there are countless different types, sizes and shapes. In the flaces of butterfly wings, they are very small and branched. As tree trunks of the giant redwoods they are up to 100 m high. Unlike in nature, the typical form of monolithic columns in civil engineering, however, shows a cross section that is constant over the height and mostly quadratic. Sometimes, for aesthetic reasons, a circular or, for very different horizontal loads, a rectangular geometry is used. A further adjustment of the shape of columns to the power flow is often not made, although there are some areas in the component material, where the load bearing capacity of the material is not fully used.*



*Pilzstützen in der Alten Mensa der TU Dresden während der Rekonstruktion  
Dendriform columns in Alte Mensa at the TU Dresden during reconstruction*

*But what are optimally shaped columns? The rigid connection of the elements in nature transmits deformations and thus generates forces and stresses.*

## **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**

Dipl.-Ing. Katrin Schwiteilo

*Therefore the incorporation of the connection points of the natural support will be thickened. This widening of the cross section is beneficial for bundling the incoming loads, because they do not always run perfectly along the column axis. Even small loads that are perpendicular to the central axis are transferable. This funnel-shaped thickening, like at crutches, directs incoming loads in the right direction, which can then be effectively carried over a small cross section in the middle. The adjacent parts are equally loaded.*

*There were approaches to the efficient use of columns in constructions, for example in the 1960's by Frank Lloyd Wright. He designed and built very slim columns for large spaces with an upper widening – so-called dendriform columns. This design has been forgotten, because their production is expensive due to the complex formwork. The question is now whether new concrete and formwork techniques make it possible and economical to adjust column shapes to the force flow. Concrete is generally very suitable for making freely formed parts, because it is capable of flowing during the processing and thus can take any shape. With the advanced formwork and computer technology all requirements are given to design an ideal column shape based on nature.*

# Zwölf Jahre SFB 528 – Verstärken mit Textilbeton

Die Suche nach alternativen Werkstoffkombinationen brachte Mitte der 1990er Jahre Dresdner Forscher auf die Idee, textile Gelege aus sehr zugfesten, korrosionsbeständigen Endlosfasern anstelle des korrosionsanfälligen Stahls in den Beton einzubetten. Der neuartige, innovative Verbundbaustoff ist der Fachwelt mittlerweile als textilbewehrter Beton bekannt.

Im Mittelpunkt der 12-jährigen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Arbeiten stand das Ziel, gesicherte Grundlagen für die praktische Anwendung von Textilbeton zu schaffen. Dazu wurde Grundlagenforschung von den Materialien über Bauteilversuche bis hin zu Bemessungskonzepten erfolgreich betrieben.

Heutige Bewehrungstextilien der dritten Generation bestehen aus hoch tragfähigen, geradlinig gestreckten Carbongarnen, welche hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit mit herkömmlicher Stahlmattenbewehrung problemlos konkurrieren können, dafür aber wesentlich flexibler und leichter sind. Der speziell für diese textilen Gelege entwickelte Feinbeton ist mittlerweile als Sackware auf dem Markt erhältlich.

Die Langzeiteigenschaften wie Dauerhaftigkeit und Dauerfestigkeit wurden vor allem in der vierten Förderperiode des SFB 528 untersucht. Somit

gibt es heute belastbare Aussagen zur Lebensdauer von mit Textilbeton verstärkten Bauteilen, was vor allem für die Bauwerkssicherheit von Bedeutung ist.

Die praktische Anwendung setzt ebenfalls voraus, dass das Trag- und Verformungsverhalten der verstärkten Bauteile nicht nur mechanisch beschrieben, sondern auch mit ausreichender Genauigkeit prognostiziert werden kann. Dazu wurden für die gängigen Beanspruchungsarten Biegung, Querkraft, Normalkraft und Torsion Ingenieurmodelle für die Bemessung der mit Textilbeton verstärkten Bauteile entwickelt. Spezielle numerische Verfahren zur Tragwerksanalyse erlauben sehr umfassende Untersuchungen des Tragsystems unter Berücksichtigung streuender Eingangsgrößen. Die Eignung all dieser Verfahren für eine Prognose des Tragverhaltens von mit Textilbeton verstärkten Bauteilen wurde anhand von Großversuchen in der letzten Förderperiode des SFB eindrucksvoll nachgewiesen.

Auch nach Abschluss des SFB 528 am 30. Juni 2011 bleibt die Forschung an Textilbeton ein hochaktuelles Thema, denn auch am Ende der vierten Förderperiode tauchten immer noch neue Fragen auf, die wir beantworten wollen. Also forschen wir auch in Zukunft weiter, um dem Textilbeton die letzten Geheimnisse zu entlocken.



Filigrane Verstärkungsschicht  
aus Textilbeton  
*Filigrée strengthening layer  
made of TRC*

# Twelve Years CRC 528 – Strengthening with Textile Reinforced Concrete

*On the search for alternative material combinations, in the middle of the 1990s Dresden researchers got the idea of embedding textile fabrics from very high tensile strength, corrosion-resistant continuous fibres in concrete instead of the corrosion delicate reinforcing steel. Today, the new innovative composite is known as textile reinforced concrete (TRC) to the experts.*



Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton in Kempten

*Segmental TRC bridge in Kempten*

*The objective to create protected bases for the practical application of the TRC was in the centre of the 12-year research work funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG. This fundamental research was done successfully from testing the single materials about component tests up to design concepts.*

*Present-day reinforcing textiles of the third generation consist of very load-bearing, straight elongated carbon fibres which can compete without problems with traditional steel mesh reinforcement and, however, are fundamentally more flexible and lightweight. The fine concrete developed for these textile fabrics especially is available as pre-bagged cement on the market by now.*

*The long term properties like durability and fatigue*

## **Titel | Title**

Sonderforschungsbereich 528 | Collaborative Research Center 528

## **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

## **Zeitraum | Period**

07.1999 – 06.2011

## **Sprecher | Speaker**

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

## **Geschäftsführung | Management**

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

*strength were mainly examined in the 4th funding period of the SFB 528. Therefore there are resilient statements concerning the life time of components strengthened with TRC today, what is primarily for the building safety of importance.*

*The practical application also presupposes that the load carrying and deformation behaviour of the strengthened components cannot only be described mechanically but also forecast with sufficient precision. To this, engineer models were developed for the design of the components strengthened with TRC for the common kinds of loading: bending, shear force, normal force and torsion. Special numeric methods for structural analysis permit very comprehensive examinations of the load carrying system under consideration of statistically spreading input quantities. The suitability of all these methods for a forecast of the load carrying behaviour of components strengthened with TRC was proved impressively with large-scale experiments in the last funding period of the SFB.*

*Also after completion of the SFB on June 30th, 2011 the research on TRC remains a highly topical topic, because new questions still appeared at the end of the fourth funding period which we want to answer, too. Thus, we will do further research also in future to elicit the last secrets from the TRC.*

# SPP 1542 – Leicht Bauen mit Beton

Leicht Bauen mit Beton – ist das nicht ein Widerspruch? Wenn man unsere üblichen Bauwerke ansieht scheinbar ja. Die Formensprache von gewöhnlichen Bauwerken aus Stahlbeton ist heute vor allem aus finanziellen Gründen recht einfach. Ebene und rechteckige Formen sind der Regelfall. Muss das so sein?, fragte sich eine Gruppe deutscher Forscher und initiierte das Schwerpunktprogramm 1542, welches seit Sommer 2011 von der DFG gefördert wird.

Beton ist vor seiner Erhärtung plastisch bis flüssig und kann nahezu jede beliebige Form im Erstarungsprozess konservieren. Die Möglichkeit der freien Gestaltung ist bei der Stahlbetonbauweise also gegeben. Das SPP 1542 hat zwei wesentliche Ziele:

- Angestrebt ist ein ästhetischer Paradigmenwechsel. Die Erweiterung des heute üblichen Formenspektrums im Betonbau vergrößert den Gestaltungsspielraum beim Bauen mit Beton. Die Bauwerke sollen zweckmäßig sein, gleichzeitig aber auch variablen Nutzungsanforderungen genügen.
- Leichtbau entsprechend „form follows force“ führt zu einer Reduktion des Eigengewichts der Bauteile, zur Einsparung von natürlichen Ressourcen und von Energie bei der Bereitstellung der Baumaterialien aber auch zu einer Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

Maßgebende Konstruktionselemente wie Decken, Wände und Stützen sollen ihre Geometrie nach

dem Prinzip „form follows force“ als Folge des gegebenen, aber auch beeinflussbaren Kräfteflusses im Bauteil erhalten. Es sollen die theoretischen und konstruktiven Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bau frei geformter und leichter Konstruktionen aus Beton bereitgestellt werden. Kernpunkt wird die bauteilspezifische Grundlagenforschung sein. Die nach Kraftfeldern entworfenen Bauteile sollen idealerweise gewichtsminimal sein. Anhaltspunkte für effiziente Tragstrukturen bietet die Natur mit Hilfe der Bionik.

Weitere Schwerpunkte sind die Entwicklung von Schalungssystemen und Bautechnologien für frei geformte Betonbauteile, von geeigneten Fügetechniken im Hinblick auf Rückbau und Wiederverwendbarkeit und von geeigneten Berechnungsverfahren für dynamisch kritische und stabilitätsgefährdete Strukturen, um leichte Bauteile sicher auslegen zu können. Zudem soll mit Hilfe der Differentialgeometrie die Formensprache für den Betonleichtbau beschreibbar gemacht, Kräfteverläufe analysiert und mathematisch definiert werden.

Das Schwerpunktprogramm 1542 wird von Dresden aus koordiniert. Im November 2011 fand das Auftakttreffen in Trifels/Pfalz statt, das von der Forschergruppe in Kaiserslautern organisiert wurde. In regelmäßigen Treffen wird nun eng zusammengearbeitet, um möglichst bald erste Ergebnisse präsentieren zu können.



Zwei Arten, Brücken zu bauen [Foto links: Andrea Badrutt, rechts: sbp]  
*Two ways to build bridges [photo on the left: Andrea Badrutt, on the right: sbp]*

# SPP 1542 – Concrete light

Before concrete is hardening its plastic to liquid and can preserve almost any shape in the setting process. The possibility of free shaping when using reinforced concrete for construction is thus given. However, today the design language of ordinary reinforced concrete structures is very easy, especially for cost reasons. Plane surfaces and rectangular geometry are the rule.

We have two main objectives:

- The goal is an aesthetic change of paradigm, because the expansion of the spectrum of the usual forms of concrete increases the possibilities of design in building with concrete. The buildings should be functional, while allowing variable uses.
- Lightweight building with concrete accordingly "form follows force" leads to a reduction in the dead weight of the components, saving of natural resources and energy in fabrication the building materials but also to a reduction in CO<sub>2</sub> emissions.

Our aim is that relevant structural elements such as ceilings, walls, columns get their geometry

## **Titel | Title**

SPP 1542 – Leicht Bauen mit Beton. Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien | *Concrete light. Future concrete structures using bionic, mathematical and engineering formfinding principles*

## **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

## **Zeitraum | Period**

07.2011 – 06.2014

## **Koordination | Coordinator**

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

## **Geschäftsführung | Management**

Dr.-Ing. Silke Scheerer



Forscher des SPP 1542 beim 1. Arbeitstreffen in Trifels

Scientists participating in the SPP 1542 during their 1st workshop in Trifels

according to the principle "form follows force" as a result of the given, but also influenceable force flow in the component. We want to find the constructive and theoretical basics for design, calculation and construction of free-form and lightweight designed concrete components.

Special focus will be the component-specific basic research. The whole buildable structures – shells, plates, columns – should be explored. The components which are designed according to force fields are, ideally, minimum weight. Indications for effective bearing structures are offered by nature with the help of bionics.

Another focus is the development of formwork systems and building technologies for free-formed concrete structures. Joining technologies are in terms of deconstruction and reuse of (parts) of concrete structures of interest. In addition, appropriate calculation methods to design stability endangered structures safely.

The main objective of applied mathematical research – specifically of differential geometry – is to make the design language for the lightweight concrete describable and to analyze the force distributions and to define them mathematically.



wib





LEHRE

# LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTES FÜR MASSIVBAU

Die Lehre stellt neben der Forschung einen wichtigen Auftrag jeder Universität dar. Beide Bereiche hängen eng zusammen: Für uns kommt es darauf an, mit dem Wissen auch die Begeisterung für unser Fach zu übertragen und die Studenten optimal auf den Beruf des Bauingenieurs vorzubereiten. Wir wollen die Faszination und Innovationskraft unseres Fachgebietes vermitteln und sehen die Studenten als Multiplikatoren, die nach dem Abschluss des Studiums dieses Wissen in die Praxis hinaustragen oder durch eine Tätigkeit in der Forschung weiterentwickeln.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Institutes für Massivbau betreuen hauptsächlich Lehrveranstaltungen des Diplomstudienganges Bauingenieurwesen. Beginnend mit dem Wintersemester 2010/11 startete außerdem der englischsprachige Masterstudiengang „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies – ACCESS“. Darüber hinaus werden Lehrveranstaltungen für die Bachelorstudiengänge Wasserwirtschaft, Wirtschaftsingenieure und Lehramt Berufsbildende Schule angeboten.

Wir setzen weiterhin bewusst auf die Einbindung junger Kollegen in die Durchführung der Lehrveranstaltungen, um neue Ideen mit den langjährigen Erfahrungen der beiden Professoren

Curbach und Häußler-Combe sowie unseren Postdoktoranden zu kombinieren und weiterzuentwickeln. Wir arbeiten daran, unsere Methoden kontinuierlich zu verbessern und sehen das Urteil der Studenten als einen wichtigen Gradmesser für unseren Erfolg. Neben den obligatorischen Evaluationen suchen wir das Gespräch mit den Studenten, um Anregungen und Kritik aus erster Hand zu erfahren.

Besonders direkten Kontakt pflegen wir zu den mehr als 60 studentischen Hilfskräften am Institut, die direkt in die Forschungsarbeit eingebunden werden. Ob es um hochdynamische Belastungen, um leichtes und energieeffizientes Bauen, um die Verwendung von neuen Materialien oder um die Verstärkung von Tragwerken geht, all dies erfordert sowohl fundiertes Wissen als auch Phantasie und Kreativität – ein ideales Aufgabenfeld für junge Studenten und Ingenieure. Durch noch stärkere, frühzeitige Einbeziehung in die Lösung solcher Aufgabenstellungen wollen wir begabte und motivierte Studenten für eine weitere Tätigkeit am Institut gewinnen. Gleichzeitig pflegen wir Kontakt zur Bauindustrie, um deren Anforderungen an Hochschulabsolventen in die Vorlesungen einfließen zu lassen. So können wir unser Lehrkonzept ständig weiterentwickeln und in die Praxis umsetzen.

## Klaus Thoma zum Honorarprofessor ernannt



Prof. Dr. rer. nat. Klaus Thoma ist Ende 2011 vom Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, zum Honorarprofessor für das Fachgebiet Kurzzeitdynamik ernannt worden. Prof. Thoma, der seit 1996 Direktor des Fraunhofer Ernst-Mach-Instituts für Kurzzeitdynamik in Freiburg ist, gilt als einer der führenden Entwickler auf dem Gebiet der

Strukturdynamik und Werkstoffmodellierung von Verbundwerkstoffen und Keramik und der rechnergestützten Simulation extrem dynamischer Beanspruchung von Werkstoffen und Trag- und Schutzstrukturen. In Zukunft wird Prof. Thoma sein profundes Wissen auch in Lehrveranstaltungen den Studentinnen und Studenten vermitteln.

Bild rechts:  
Das Lehre-Team  
des Institutes für Massivbau





### **Stahlbetonbau (BIW 2-05)**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Dipl.-Ing. Katrin Schwiteilo  
Dipl.-Ing. Steffen Schröder

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

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

Die Studierenden beherrschen nach Abschluss des Moduls die Grundprinzipien des konzeptionellen Entwurfs von Tragwerken. Sie kennen die üblichen Tragwerkstypen für die verschiedenen Arten von Ingenieurbauwerken und sind in der Lage, dieses Wissen auf spezifische örtliche und funktionale Situationen anzuwenden. Sie

Saaletalbrücke  
Jena Göschwitz  
[Bild:  
Deutscher Brückenbaupreis]



verstehen die ganzheitlichen Entwurfskriterien hinsichtlich Form und Konstruktion, Funktionalität sowie Ökologie und Ökonomie. Die Studierenden können selbständig geeignete Systeme entwerfen, modellieren und berechnen. Sie sind in der Lage, die Entwürfe gemeinsam im Team zu entwickeln und diese vor einem Fachpublikum zu präsentieren.

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

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

#### **Brückenbau (BIW 4-16)**

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

- 7. Semester: Massivbrückenbau  
2 SWS Vorlesung

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

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

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

Vom Institut für Massivbau wird die Vorlesung Massivbrückenbau betreut. Zum Modul gehören noch eine Vorlesung zum Stahl- und Verbundbrückenbau, die vom Lehrstuhl für Stahlbau betreut wird (2 SWS Vorlesung), und die Vorlesungsreihe Schrägkabelbrücken, die von Herrn Dipl.-Ing. Svensson gehalten wird (1 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung).

### **Beton im Wasserbau und Stahlwasserbau (BIW 4-52)**

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

8. Semester: 1 SWS Vorlesung

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

Nach dem Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden Kenntnisse über besondere Betone und Betonierverfahren im Wasserbau (Unterwasserbeton, Walzbeton u.a.), die Dauerhaftigkeitsprognose und -bemessung für Wasserbauwerke sowie deren Schutz und Instandsetzung. Sie wissen um die Auswirkungen von Hydratationswärme, Temperaturspannungen, Zwangs- und Eigenspannungszuständen sowie um die Rissbildung und Rissbreitenbeschränkung. Des Weiteren beherrschen sie maßgebende konstruktive Details wie Bauwerksfugen und Fugendichtungen. Die Studierenden kennen sich mit den Tragwerken spezieller Bauwerkstypen wie Weiße Wannen, Behälter und Schleusen

sowie mit dem speziellen Normenwerk des Betons im Wasserbau aus. Die Studierenden sind mit den Verschlussstypen des Stahlwasserbaus und deren konstruktiven und statischen Besonderheiten vertraut. Sie verfügen über Kenntnisse zur Konstruktion und Berechnung (statische Modelle, Lastannahmen, Normen) von Wehrverschlüssen, Schleusen- und Segmenttoren sowie Notverschlüssen. Die Studierenden kennen verschiedene Dichtungstypen, deren Anforderungen und Belastungsdrücke.

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

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

Dr.-Ing. Kerstin Speck

7. Semester: Nachhaltige Tragwerksplanung  
1 SWS Vorlesung

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

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

erforderlichen ökologisch relevanten Nachweise samt Konstruktionsbeispielen bekannt.

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

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

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

7. Semester: 4 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Grundlagen der Anwendungsmöglichkeiten von numerischen und anderen rechnergestützten Verfahren im Bereich des Massivbaus wie beispielsweise die speziellen Materialeigenschaften von Beton, die Rissbildung und das Zusammenwirken von Beton und Betonstahl im Hinblick auf Modellbildung und Diskretisierung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden geeignete Verfahren zur Lösung der nichtlinearen Problemstellungen sowie die speziellen Verfah-

rensmerkmale 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),



Talsperre bei Bad Gottleuba  
[Bild: Ulrich van Stipriaan]

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 textillbewehrter Beton zur Verstärkung.

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

### **Grundlagen des Stahlbetonbaus (BWA14)**

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

1 Semester: 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

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

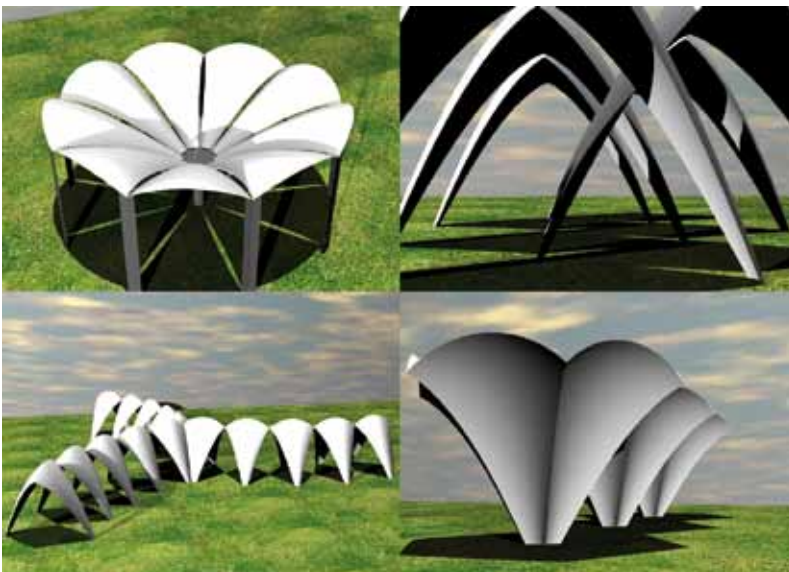
Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, einfache Stahlbetonbauteile selbstständig zu konstruieren und zu bemessen.

# PROJEKTARBEITEN

WINTERSEMESTER 10/11

SOMMERSEMESTER 2011

Im 9. Semester wird im Diplomstudiengang Bauingenieurwesen von den Studenten eine Projektarbeit angefertigt. Durch die Arbeit an einem Projekt zu aktuellen fachspezifischen Themen und Fragestellungen der gewählten Vertiefung soll die Fähigkeit zur methodischen wissenschaftlichen Arbeitsweise nachgewiesen werden. Hierbei sollen die Studenten zeigen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können. Die während ihres Studiums erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten sind möglichst selbständig, einzeln oder im Team auf eine konkrete Aufgabenstellung anzuwenden, die Arbeitsschritte sind nachvollziehbar zu dokumentieren sowie die Ergebnisse im Rahmen eines Kolloquiums zu präsentieren und zur Diskussion zu stellen.



Aus der Projektarbeit  
von Elisabeth Schütze:  
Entwicklung einer  
Prinziplösung  
für Gebäude aus  
tragfähigem Textilbeton

*Elisabeth Schütze*

**Entwicklung einer Prinziplösung für Gebäude aus tragfähigem Textilbeton**

(Projektarbeit)

Der Verbundwerkstoff Textilbeton bietet einzigartige gestalterische, konstruktive und wirtschaftliche Möglichkeiten für dünnwandige Konstruktionen aus Beton. In der Projektarbeit wurden verschiedene Aspekte des Entwurfs eines Gebäudes aus dünnwandigen, tragfähigen, zweiachsig gekrümmten Schalenelementen aus Textilbeton untersucht.

Hauptanliegen war es hierbei, eine konstruktive Lösung für die kraftschlüssige Verbindung der Textilbetonmodule zu finden. Zu dem Zweck wurden die Anforderungen an die Verbindungselemente ermittelt und auf dieser Grundlage verschiedene Varianten auf ihre Eignung unter-

sucht und in einer Variantenstudie miteinander verglichen. Anschließend wurde eine Verbindung über verschraubte Stahlflansche als Vorzugsvariante anhand von kleinformatigen Prüfkörpern in Vorversuchen genauer auf ihre Momenten- und Zugkrafttragfähigkeit untersucht.

Neben der Entwicklung der Verbindungsmittel bestand ein weiterer wichtiger Punkt dieser Arbeit in dem Umgang mit dem Entwurf der Textilbetonelemente. Es wurden aus der vorgegebenen Geometrie zusätzlich zur bestehenden Entwurfsvariante eines Veranstaltungsgebäudes weitere Kombinations- und Verwendungsmöglichkeiten für das Grundelement entwickelt und bewertet.

Mit dem Bau eines Modells des Veranstaltungsgebäudes wurde der Entwurf schließlich zu Präsentationszwecken veranschaulicht.



Modell eines Ausstellungspavillons aus Textilbeton

*Sebastian Schneider*

**Ermüdung von Stahl- und Spannbetonbauteilen bei sehr hohen Lastwechselzahlen**

(Projektarbeit)

Viele bestehende Stahlbeton- und Spannbetonbauwerke, wie z. B. Brücken, Kranbahnen, Windenergie- und Offshoreanlagen, sind über ihre Lebenszeit hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt. Dabei können leicht Lastwechselzahlen von mehr als  $10^7$  erreicht werden. Diese wechselnden Beanspruchungen haben zur Folge, dass die verwendeten Materialien wie der Beton,

der Bewehrungs- und Spannstahl, aber auch der Verbund zwischen Beton und Stahl mit zunehmender Zeit ermüden. Daher wurde zunächst eine umfangreiche Literaturrecherche hinsichtlich der experimentell ermittelten und normativ festgelegten Ermüdungsfestigkeiten der einzelnen Baustoffe angestellt. Es wurde deutlich, dass die Ermüdungsfestigkeiten der besagten Baustoffe





Hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt: Windenergieanlagen.  
[Bild: Ulrich van Stipriaan]

im Bereich von Lastwechselzahlen  $>10^7$  experimentell kaum erforscht sind. Problematisch ist hierbei die lange Versuchsdauer, um die benötigten Lastwechsel auf den Probekörper aufzubringen.

Anschließend wurde die Ermüdung des Verbundes zwischen Beton und Bewehrungsstahl unter dynamischer Schwellbelastung und gleichzeitig wirkendem Querkzug betrachtet. Solche Situationen treten z. B. in Querrichtung der Fahrbahnplatten von Stahlverbundbrücken auf. Hierfür wurden am Institut für Massivbau der TU Dresden eine Vielzahl von Dauerschwingversuchen an speziell konstruierten Versuchskörpern durchgeführt. Dabei blieben die Parameter der Verbundlänge und des Stabdurchmessers konstant. Variiert wurden hingegen die Betonfestigkeit, die Belastungshöhe und die Längsrissbreite. Für zwei Betonsorten konnten Verbundwöhlerlinien erstellt werden, die den Einfluss einer Längsrissbreite von 0 mm bis 0,3 mm berücksichtigen. Es zeigte sich, dass mit steigender Betonfestigkeit die Versagenslastspielzahlen stiegen, aber der Einfluss der Rissbreite

zunahm. Die Schlupfwerte waren immer noch kleiner als die des normalfesten Betons, aber der prozentuale Schlupfzuwachs war größer. Insgesamt nimmt mit steigender Lastwechselzahl und Längsrissbreite der Unterschied zwischen den ertragbaren Verbundspannungen der beiden Betonfestigkeiten ab.

*André Reichardt*

#### **Untersuchung von fußgängerinduzierten Schwingungen an 2 Spannbetonbrücken in Köln und Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes**

(Projektarbeit)

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Schwingungsanfälligkeit zweier bestehender Fußgängerbrücken in Köln. Dazu wurden dynamische Messungen durchgeführt, die Schwingungen an Hand der Messergebnisse bewertet und zwei Gutachten für die Stadt Köln erstellt. Unter Zuhilfenahme der gewonnenen Messdaten

wurden Tragwerksmodelle erstellt, an denen anschließend verschiedene Einwirkungen aus der menschlichen Bewegung simuliert werden konnten. Um die dynamischen Lasten von Fußgängern möglichst gut abzubilden, wurde ein Lastmodell entworfen, in welchem der Schrittverlauf der menschlichen Fortbewegung orts- und zeitabhängig dargestellt wird. Vergleichend wurden den numerischen Simulationen analytische Berechnungen gegenübergestellt. Weiterhin wurde die Auswirkung von Dämpfungsmaßnahmen untersucht, welche als mögliche Sanierungsmaßnahme für Schwingungen in Frage kommen.

die Flussdiagramme als Hilfsmittel des Berechnungsablaufs erstellt wurden. Anhand zweier realer Beispiele erfolgte die Bemessung der Verstärkungen für jeweils alle drei untersuchten Verfahren. Anschließend wurden die Ergebnisse gegenübergestellt und ausgewertet. Mithilfe der ausgearbeiteten Leistungsverzeichnisse könnte die Ausführung der Verstärkungsmaßnahmen in Auftrag gegeben und in puncto Wirtschaftlichkeit verglichen werden. Schließlich wurde eine generelle Einschätzung der drei Verfahren zur Tragwerksertüchtigung in tabellarischer Form angegeben.

*Hans Reinhardt*

**Vergleich verschiedener Verfahren zur Verstärkung von Stahlbetontragwerken**

(Projektarbeit)

Die Praxis zeigt, dass Bauen im Bestand für das Bauwesen in naher Zukunft immer wichtiger wird. Dadurch steigen auch der Bedarf und das Interesse daran, Bestandsgebäude zu verstärken. Die Möglichkeiten einer Verstärkung sind dabei recht verschieden. In dieser Arbeit wurden die drei Verfahren der Bauwerksertüchtigung Spritzbeton, CFK-Lamellen sowie Textilbeton behandelt. Dazu wurden zunächst allgemeine Informationen unter anderem zum generellen Tragverhalten und Materialverhalten recherchiert und zusammengetragen. Hauptaugenmerk lag dann auf der Bemessung für die Biegeverstärkung, für

*Stefanie Zalewski*

**Untersuchung der Tragfähigkeit bestehender Massivbauwerke**

(Projektarbeit)

Das Investitionsvolumen für Projekte von Bestandsbauwerken ist in den letzten Jahrzehnten deutlich angestiegen. Dabei bildet die Bewertung der Tragsicherheit eine grundlegende Aufgabe. Die für die Sanierung beziehungsweise Umnutzung erforderlichen versteckten Tragreserven können in der Regel nur durch eine experimentelle Probelastung aufgespürt werden. In dieser Projektarbeit wurden verschiedene Theorien und Modelle von speziellen rechnerischen Verfahren zur Bestimmung der Tragfähigkeit von massiven Bestandskonstruktionen recherchiert und deren Anwendungskriterien sowie Vor- und Nachteile



Biegeverstärkung einer Decke mit Textilbeton  
[Bild: TUDALIT / Silvio Weiland]



Der „Koloss von Prora“  
im Jahr 2011  
[Bild: Ulrich van Stipriaan]

le herausgestellt. Anschließend wurden diese Verfahren an einem konkreten Bestandsbauwerk, dem Kraft-durch-Freude (KdF) Seebad in Prora auf Rügen, angewendet. Das während eines Belastungsversuches festgestellte Tragverhalten wurde analysiert. Die rechnerischen Ergebnisse wurden abschließend in Bezug auf die experimentellen Ergebnisse bewertet.

*Nick Schultze*

**Homogenität der Dehnungsmessung mit FBG-Sensoren in Abhängigkeit von der Zuschlagsgröße im Beton**  
(Projektarbeit)

Bei der Messung von Dehnungen in heterogenen Materialien wie Beton spielt die Wahl der Messlänge, über welche die Dehnung gemessen werden soll, eine wesentliche Rolle. Unter der Voraussetzung, dass eine mittlere Dehnung das Messziel darstellt, darf die Messlänge einen Mindestwert nicht unterschreiten. Bei Beton ist diese von der Größe der Zuschlagskörner abhängig und sollte das Dreifache des verwendeten Größtkorns nicht unterschreiten.

Werden Faser-Bragg-Gitter-Sensoren (FBG-Sensoren) zur Dehnungsmessung verwendet, besteht das Problem, dass die Messlänge nur wenige Millimeter beträgt und somit bei Verwendung von Betonen mit Größtzuschlägen von 4 mm und größer den Mindestwert der Messlänge unterschreitet. Im Rahmen der Projektarbeit wurde an Betonen mit Größtzuschlägen von 0,5 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm untersucht, inwiefern sich die Zuschlagsgröße auf die Dehnungs-

messung auswirkt. Die FBG-Sensoren wurden hierfür auf Trägerprofile appliziert, wobei je fünf Messstellen in einem Abstand von 1 cm angeordnet waren. Anschließend wurden die Messstellen in die prismenförmigen Prüfkörper einbetoniert. Während der einaxialen Zug- und Druckversuche wurden die Dehnungen vergleichend mit 2D-Photogrammetrie, induktiven Wegaufnehmern und Dehnmessstreifen auf der Probenoberfläche gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei der gewählten Applikation der FBG-Sensoren der Einfluss der Zuschlagsgröße gering ist.

*Jörg Weselek*

**Berechnung und Bemessung einer Stahlbetonscheibe nach verschiedenen Verfahren**  
(Projektarbeit)

Stahlbeton hat seit seiner Einführung im Bauwesen eine enorme Bedeutung erlangt, da er durch seine nahezu unbegrenzte Formbarkeit die Möglichkeit eröffnet, zum einen ökonomische und zum anderen sichere Bauwerke zu planen. Durch Einzug der Finiten-Elemente-Methode lassen sich in vielen Bereichen präzise Aussagen über Verformung und Tragsicherheit treffen. In der Projektarbeit wurden verschiedene Bemessungsvarianten, vor allem in Bezug auf den einzulegenden Stahl, verglichen. Ein Stabwerkmodell wurde entworfen, welches als Bewehrungsgrundlage diente. Des Weiteren kam ein Bemessungsmodul des FE-Programms RFEM zum Einsatz. Die Tragsicherheit wurde durch eine nichtlineare Rechnung, ausgeführt von dem FE-Programm ATENA, nachgewiesen.



# DIPLOMARBEITEN UND MASTERARBEITEN

IM JAHR 2011

Die Diplomprüfung bildet den berufsqualifizierenden Abschluss des Studienganges. In der Diplomarbeit 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 2011 die folgenden Diplomarbeiten betreut.

Matthias Quast

**Erarbeitung eines Brückenentwurfes für eine wartungsarme Fußgängerbrücke in Ruanda unter Berücksichtigung der hiesigen Gegebenheiten und Verwendung lokaler Baustoffe**  
(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Dipl.-Ing. Steffen Schröder, Dipl.-Ing. Sandra Timmermann (Ingenieure ohne Grenzen e. V. – Arbeitskreis Brückenbau)

Das Anliegen der Arbeit war es, einen angepassten Entwurf einer Fußgängerbrücke für die infrastrukturellen und sozioökonomischen Randbedingungen im ländlichen Raum Ruandas zu erarbeiten.

Vor allem in den ländlichen Gebieten, wo es kaum Straßen gibt und auch die meisten Warentransporte zu Fuß erledigt werden, existieren kaum sichere Brücken, sondern lediglich einfache Behelfskonstruktionen, die sehr instabil sind und während der Regenzeiten häufig überschwemmt werden. Viele dieser unzureichenden Brücken werden trotz ihrer Unsicherheit nicht selten von über 1000 Menschen pro Tag genutzt, was die Notwendigkeit dieser Flussquerungen verdeutlicht. Im Rahmen eines sechswöchigen Aufenthaltes in Ruanda fanden Datenerhebungen für den Bedarf einer Fußgängerbrücke in verschiedenen Regionen statt. An den Standorten wurden die Umgebungsbedingungen hinsichtlich der Topografie und des Flusslaufes aufgenommen und mit Hilfe der anwohnenden Bevölkerung die soziale Notwendigkeit der Fluss-

querungen ermittelt. Durch die Auswertung der gewonnenen Daten konnte ein passender Standort gefunden werden.

Für die Entwicklung eines geeigneten Tragwerkes ist in einem Entwicklungsland eher die Baubarkeit und Nachhaltigkeit von Bedeutung als das Erscheinungsbild des Bauwerkes. Zudem sollten möglichst Techniken und Materialien Verwendung finden, die lokal bekannt und verfügbar sind. Somit können einheimische Handwerker und Arbeiter einbezogen werden und zu tätigen Investitionen die regionale Wirtschaft fördern. Die so genannte „Angepasste Technologie“ stellt einen Kompromiss zwischen der in den Industrieländern verankerten Hochtechnologie und den in den Entwicklungsländern umgesetzten traditionellen Bauweisen dar. Anhand dieser Überlegungen wurde für die zu überspannenden 35 Meter eine abgespannte Balkenbrücke entworfen. Dabei wurde der Versteifungsträger aus Holz als dreifeldriger Gerberträger ausgeführt. Da Bewehrungsstahl in Ruanda gebräuchlicher und preisgünstiger ist als Stahlseile, wurden die Abspannungen als gerade Bewehrungsstäbe bemessen. Um ein einfaches Austauschen der Holzteile, z. B. nach Witterungsschäden, zu gewährleisten, wurde der Versteifungsträger so ausgebildet, dass dies ohne schwierige Eingriffe in das Haupttragwerk möglich ist. Pylone und Widerlager werden in Stahlbeton ausgeführt, um eine hohe Dauerhaftigkeit dieser Bauteile zu erzielen.

Fußgängerbrücke über den Giciye, Ruanda  
[Visualisierung: Matthias Quast]





Bau der Unstruttalbrücke  
in integraler Bauweise 2009  
[Foto: Wikipedia/Störfix]

*Robert Schrapf*

**Erstellung einer Entscheidungshilfe für die Wahl der Tragwerkslösung von Mehrfeldbauwerken bis 100 m als semiintegrales Bauwerk oder Bauwerk mit konventioneller Lagerung auf der Grundlage eines konkreten Brückenbauvorhabens**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Dipl.-Ing. Steffen Schröder  
Dipl.-Ing. Hendrik Häupel (VIC GmbH)

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden der Entwicklungsstand und die Besonderheiten der integralen bzw. semiintegralen Brückenbauweise dargestellt und spezielle Probleme bzw. Grenzwertbetrachtungen bei der Bemessung spezifiziert. Hierfür wurden eine Literaturrecherche durchgeführt und wichtige Parameter für die Entscheidungsfindung für einen Entwurf zusammengetragen. Ausführlich wurde auf die Wahl und den Einfluss der Baustoffe eingegangen. Auch die wesentlichen Einflüsse auf die Zwangsbeanspruchungen werden in der Arbeit betrachtet. In die Untersuchung einbezogen werden die auf das Bauwerk wirkenden Zwangsbeanspruchungen aus Verformungsbehinderung, Temperatureinflüssen und zeitabhängigen Verformungen. Des Weiteren wurden die Einflüsse auf die Steifigkeit des Tragwerkes und die Bauwerk-Baugrund-Interaktion untersucht.

Ziel war die Entwicklung einer Planungshilfe für die Wahl der Bauwerksart. Aufbauend auf den aus der Literatursichtung gewonnenen Erkenntnissen sollte eine Bemessung einer vierfeldrigen Straßenbrücke auf der Grundlage einer Vorplanung erfolgen.

*Stefan Walther*

**Entwicklung einer oberflächenfertigen vollkomplettierten textilbewehrten Balkonbodenplatte mit integrierten Anschluss-elementen**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

In der Diplomarbeit erfolgte in einem ersten Schritt eine Literaturrecherche zu Balkonbodenplatten und Textilbeton. Dabei wurden Anforderungen an Balkonplatten und unterschiedliche Konstruktionsmöglichkeiten recherchiert und erläutert. Für eine Balkonplatte mit den Abmessungen 3,75 m x 1,75 m wurde die Einsatzmöglichkeit von Textilbeton abgewogen. Es erfolgten Variantenuntersuchungen und eine erste Bewertung der Platten in Hinblick auf die geometrischen, statischen und wirtschaftlichen Anforderungen unter Berücksichtigung der Nutzung. Für die vorgeschlagene Vorzugsvariante



Bewehrung der Balkonplatte

wurde eine detaillierte Berechnung und Bemessung durchgeführt und es wurden Schal- und Bewehrungspläne für die Bauausführung erstellt. Die Planung weiterer Details für die Entwässerung, für Anschlüsse an die Stahlkonstruktion und die Oberflächengestaltung komplettieren die Diplomarbeit. Außerdem wurden für die bevorzugte Platte ein Versuchsplan aufgestellt und der Versuchsstand für die Plattenprüfung konzipiert.

Abschließend wurde noch ein Vergleich mit einem ähnlichen Projekt, das gemeinsam von der Technischen Universität Dresden und dem Sächsischen Textilforschungsinstitut vor ca. zehn Jahren bearbeitet wurde, vorgenommen. Das Ergebnis der Diplomarbeit bildete die Basis für weitere Untersuchungen, die im Rahmen eines AiF-Forschungsprojektes erfolgen.

*Yves Constantin Mutsch*

**Untersuchung der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Verbundversuchen zwischen Betonstahl und Beton auf reale Bauteilsituationen**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Dipl.-Ing. Alexander Lindorf

Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen zwischen Beton und Stahl werden in der Regel an Ausziehversuchen mit kurzer Verbundlänge ermittelt. Unter der Annahme einer konstanten Schubspannungsverteilung innerhalb dieser kurzen Verbundlänge werden lokale Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen aufgestellt, wie sie auch das Verbundmodell nach MODEL CODE 90 (1993) darstellt.

Das Verbundverhalten bei größeren Verbundlängen wird rechnerisch ermittelt, indem in Abhängigkeit vom herrschenden Schlupf dem betrachteten Stababschnitt eine Verbundspannung entsprechend der lokalen Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen zugewiesen wird und diese dann aufintegriert werden. Die Berechnungen auf dieser Grundlage ergeben eine konstante maximale Verbundspannung für unterschiedliche Verbundlängen. Die Frage stellt sich, ob diese Annahme Bestand hat, da bereits 1911 BACH bei glatten Stählen mit zunehmender Verbundlänge

eine Abnahme der maximalen Verbundspannung festgestellt hat.

Auf der Grundlage von Versuchen an der TU Dresden und Versuchen aus der Literatur zeigt sich, dass sich auch für Rippenstahl eine Abnahme der maximalen Verbundspannung mit zunehmender Verbundlänge ergibt. Die Untersuchungen unter Annahme der These von lokalen Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen zeigen keinen Rückgang der maximalen Verbundspannung. Mit dieser Feststellung ist die Übertragbarkeit von lokalen Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen auf reale Bauteilsituationen neu zu bewerten.

Dazu wurden unterschiedliche existierende Berechnungsverfahren zur Lösung der Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes aufgezeigt und verglichen. Mit diesen Berechnungsverfahren wurde die Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes für unterschiedliche Verbundlängen ausgewertet und mit Versuchsdaten verglichen und bewertet. Keines der Berechnungsverfahren konnte die Versuchsergebnisse hinreichend genau beschreiben.

*Daniel Ehlig*

**Hochtemperaturverhalten von Textilbeton**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

Kenntnisse über das Verhalten von textilbewehrtem Beton unter Brandbeanspruchung sind Voraussetzung für dessen Anwendung in der Bauindustrie. Im Rahmen eines DFG-Forschungsvorhabens wurden am Institut für Massivbau entsprechende Brandversuche an textilbetonverstärkten Stahlbetonplatten durchgeführt. Das Projekt umfasst Brandversuche an 22 Platten.

Ziel der Diplomarbeit war es, die Versuche aufzubereiten und eine Bewertung der Versuchsdurchführung und der gewonnenen Messdaten vorzunehmen. Das schließt eine detaillierte Betrachtung und Aufarbeitung der Versuchsdurchführung und des gemessenen bzw. beobachteten Brandverhaltens der Probekörper ein. Grundlage für die Analyse der durchgeführten Versuchsrei-



Textilbetonverstärkte Stahlbetonplatte nach dem Brandversuch

hen bildet der zu erarbeitende Stand des Wissens für die Beurteilung des Brandwiderstands und die Charakterisierung des Brandverhaltens der verwendeten Baustoffe. Dabei sind Funktionen und Einfluss von Herstellung, Eigenschaften und Zusammensetzung der bei Textilbeton verwendeten Materialien auf das Verhalten im Normaltemperaturbereich und Hochtemperaturbereich zu charakterisieren.

In der Diplomarbeit konnte gezeigt werden, dass textilbetonverstärkte Stahlbetonplatten in Brandversuchen nach der Einheitstemperaturkurve bei 65 % der Gebrauchslast mehr als 60 Minuten standgehalten haben. Bei 100 % Gebrauchslast kam es nach einer Branddauer von 55 Minuten, bei 130 % Gebrauchslast nach 30 Minuten zu einem Zugversagen der textilen Verstärkungsschicht. Bei während des Brandes unbelasteten bzw. gering belasteten Platten liegen die im Anschluss ermittelte Resttragfähigkeiten zwischen 65 % und 70 % der Bruchlast (30 Minuten Branddauer) bzw. bei 50 % der Bruchlast (60 Minuten Branddauer). Es traten aber keine Abplatzungen auf, weshalb die Verstärkungsschicht aus Textilbeton als Schutzschicht für die Stahlbewehrung angerechnet werden kann.

Diese außerordentlich positiven Ergebnisse zeigen, dass für verstärkte Konstruktionen Brandwiderstandsklassen von F60 und mehr ohne zusätzliche Maßnahmen erreicht werden können. Dies ist von hoher Relevanz für die wirtschaftliche Anwendung dieser Verstärkungsmethode.

*Sebastian Schneider*

**Dynamische Untersuchung von Eisenbahnbrücken im Hochgeschwindigkeitsverkehr**  
(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Dipl.-Ing. Gregor Schacht

Eisenbahnbrücken sind durch Zugüberfahrten starken dynamischen Belastungen ausgesetzt. Die dynamischen Effekte verursachen eine Erhöhung der Schnittgrößen, Verformungen und Beschleunigungen im Vergleich zu den Beanspruchungen, die der Zug allein durch sein Eigengewicht auf die Brücke ausübt. Daher ist es nicht möglich, Eisenbahnbrücken nur mit Hilfe von statischen Lastmodellen zu bemessen.



In der Entwurfsphase von Eisenbahnbrücken kann für die Festlegung der Konstruktionshöhe für normalen Verkehr auf Erfahrungswerte bzw. Grenzschlankheiten zurückgegriffen werden. Für Eisenbahnbrücken unter Hochgeschwindigkeitsverkehr existieren solche überschläglichen Vorbemessungskriterien nicht. Somit ist es schwierig, ohne detaillierte dynamische Analysen auf eine funktionierende Querschnittshöhe zu schließen. Daher wurde in dieser Arbeit untersucht, ob an Hand der oft maßgebenden Durchbiegungskriterien auf die Konstruktionshöhe von Eisenbahnbrücken für Hochgeschwindigkeitsverkehr geschlossen werden kann. Für die mit diesem Kriterium vorgemessenen Brücken wurden außerdem die Tragwerksreaktionen infolge von Zugüberfahren mit bis zu 350 km/h verglichen, die sich zum einen bei einer dynamischen Analyse und zum anderen bei derzeit anzuwendenden statischen Ersatzlastmodellen mit Schwingbeiwert ergeben bzw. normativ zulässig sind.

Beispielhaft wurden numerische Untersuchungen an Einfeldträgern mit üblichen Querschnittsformen und Brückenspannweiten durchgeführt. Als dynamische Lastmodelle wurden alle zehn für Europa in Frage kommenden Hochgeschwindigkeitslastmodelle HSLM-A verwendet. Die Berechnungen ergaben, dass für jede Spannweite, unabhängig vom Querschnittstyp, ein bestimmtes der zehn HSLM-A Modelle die maßgebenden Schnittgrößen erzeugt, sodass in der dynamischen Analyse nicht alle zehn Lastmodelle berücksichtigt werden müssen. Im untersuchten Geschwindigkeitsbereich traten auch Resonanzerscheinungen des Überbaus auf, wodurch die Schnittgrößen und Vertikalbeschleunigungen stark anwachsen. Aufgrund der statischen Bestimmtheit der Einfeldträger sind die Schnittgrößen unabhängig von der Überbausteifigkeit und der Massebelegung. Einzig die Stützweite, die Achsabstände des Lastmodells sowie dessen Achslasten und -anzahl beeinflussen das dynamische Biegemoment. Hingegen sind die vertikalen Überbaubeschleunigungen durchaus von der Überbausteifigkeit und dessen Massebelegung abhängig.

Die Vordimensionierung der Querschnittshöhen mithilfe des Durchbiegungskriteriums, das für einen Geschwindigkeitsbereich bis 200 km/h zulässig ist, ist bei Einfeldträgern auch für eine Überfahrtsgeschwindigkeit von bis zu 350 km/h zulässig, wenn die Stützweite größer 45 m ist. Allerdings müssen ähnliche Überbausteifigkeiten wie in den Beispielrechnungen speziell im Hinblick auf die Beschleunigungen vorausgesetzt werden.

Andy Lorenz

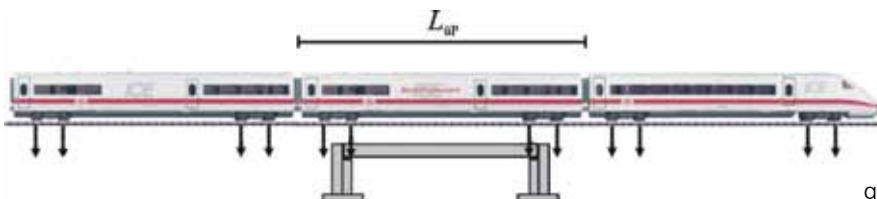
**Untersuchungen zur Umschnürungswirkung textiler Bewehrungen zur Verstärkung von Betonstützen im Lasteinleitungsbereich**  
(Masterarbeit)

Betreuer:

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

Die Tragfähigkeitserhöhung von Stützen, die mit einer zusätzlichen bewehrten Betonschicht verstärkt werden, wird zum einen durch den zusätzlichen Betonmantel erreicht. Zum anderen wird sie aber entscheidend durch die Umschnürungswirkung der Bewehrung bewirkt, was insbesondere im Lasteinleitungsbereich von Stützen von großer Bedeutung ist. Die Umschnürung erzeugt dabei einen günstig wirkenden dreiaxialen Spannungszustand im Kern der Stütze. Die Wirksamkeit einer solchen Umschnürung ist insbesondere abhängig von der Geometrie der zu verstärkenden Betonstütze. Mit Hilfe von Versuchen an Stützenköpfen mit Querschnitten vom Quadrat bis hin zum Kreis mit unterschiedlichen Ausrundungsradien wird der Einfluss des Ausrundungsradius auf die Wirksamkeit der Bewehrungstextilien erfasst.

Die Verwendung von Textilbeton als Umschnürungssystem für Beton stellt eine effektive Verstärkungsmethode in Bezug auf Festigkeit und Duktilität dar. Es wurde der Einfluss verschiedener Fasermaterialien und Bewehrungsgrade der TRC-Verstärkungsschicht untersucht und mit üblichen CFK-Sheet-Verstärkungen verglichen. Eine sinnvolle Verstärkungswirkung wird durch



Brückenüberfahrt eines Hochgeschwindigkeitszuges

ausreichend hohe Bewehrungsgrade der textilen Bewehrung erreicht. Hierfür eignen sich insbesondere Carbontextilien auf der Basis von Carbon Fiber Heavy Tows, da mit diesem Material eine hohe Dehnsteifigkeit pro Lage erzielt werden kann.

Die Tragfähigkeitssteigerung durch eine Textilbetonverstärkungsschicht wird im Wesentlichen durch die Umschnürung des Kernbetons erreicht. Der Lastanteil, der über Normalkräfte im Feinbetonmantel abgetragen wird, ist gegenüber der Umschnürungswirkung gering. Somit ist es für einen praktischen Einsatz von TRC genau wie bei CFK-Verstärkungen wesentlich, die Kanten der zu verstärkenden Stütze soweit wie möglich auszurunden, um die Effektivität der Umschnürung zu steigern. Mit Hilfe des entwickelten Berechnungsmodells können die versuchstechnisch ermittelten Traglasten gut nachgerechnet werden.

*André Reichardt*

### **Verhalten von Fugen bei Fertigteilbauweise im Stahlverbundbrückenbau unter Gebrauchslast**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Dipl.-Ing. Jochen Rodemann (GMG IG)  
Dipl.-Ing. Gregor Schacht

In dieser Diplomarbeit wurden zunächst theoretische Grundlagen für die Berechnung von Verbundträgern und deren Verhalten bei Kriechen und Schwinden untersucht. Besonders die Einflüsse aus der Rissbildung auf die Steifigkeit von Betongurten und die Möglichkeiten der Rissweitenabschätzung wurden betrachtet. Aus diesen Überlegungen heraus konnten dann Erweiterungen für Betongurte mit Fertigteilen abgeleitet werden. Auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wurde dann eine Parameterstudie durchgeführt. An einer beispielhaften Zweifeldbrücke wurden für die unterschiedlichen Gurtausbildungen – Ortbetonplatte, Ganzfertigteil und Teilfertigteile mit unterschiedlicher Dicke – die Spannungsentwicklungen in der Bewehrung verglichen. Weiterhin konnte am Beispiel der Bahretalbrücke, deren Fahrbahnplatte im Kragarmbereich aus Ganzfertigteilen hergestellt wurde und welche bereits ab der Bauphase messtechnisch

beobachtet wurde, eine Nachrechnung durchgeführt und die Anwendbarkeit der vorgestellten Berechnungsschritte belegt werden. In einem Ausblick auf die experimentelle Überprüfung von Verbundträgern mit Halbfertigteilgurten und Ortbetonergänzung wurde zudem eine Versuchsanordnung vorgestellt, bei der das Verhalten genannter Träger untersucht werden soll.

*Hans Reinhardt*

### **Numerische Simulation des Schubtragverhaltens von Stahlbetonbauteilen**

(Diplomarbeit)

Betreuer:

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

Trotz jahrzehntelanger Forschungsarbeit existiert für das Schubtragverhalten von Stahlbetonbauteilen ohne Schubbewehrung bis heute kein allgemeingültiges Modell und die Bemessung erfolgt in den aktuellen Normen rein empirisch.

In dieser Diplomarbeit wurde eine Parameterstudie zu ausgewählten Einflussfaktoren auf die Schubtragfähigkeit mittels numerischer Simulationen durchgeführt. Es wurden die Lastart (Einzelast und Linienlast), die Verbundqualität (gerippte und glatte Bewehrung), die Schubschlankheit und der Längsbewehrungsgrad variiert. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass für große Schubschlankheiten und geringen Längsbewehrungsgrad oftmals Biegeversagen maßgebend wird und damit kein Schubversagen auftritt. Der Übergang der beiden Versagensarten ist anhand der bezogenen Momententragfähigkeit deutlich zu erkennen. Es empfiehlt sich daher, den Einfluss der Schubschlankheit auch in den Bemessungsformeln zu berücksichtigen, zumal bei der Beachtung und Einhaltung bestimmter konstruktiver Bedingungen rechnerisch keine Schubbewehrung erforderlich ist. Die Art des Verbundes hat kaum Einfluss auf die absolute Tragfähigkeit, die bei glatter Bewehrung nur geringfügig abnahm. Bezüglich der Lastart zeigten die Simulationen mit Linienlast eine durchschnittliche Traglaststeigerung von ca. 18%.

Im Allgemeinen stellt sich das Schubversagen mit dem dazugehörigen Betondruckbruch als spröde Versagensart ohne Vorankündigung dar.



Schubversagen bei einem Stahlbetonbalken

Für ausgewählte Simulationen wurden deshalb die Durchbiegung und die Veränderung der Trägerhöhe näher untersucht, um Unterschiede bei den Versagensarten Biegung und Schub herauszuarbeiten und Schubversagen vorabschätzen zu können. So nimmt die Durchbiegung in dem Bereich zwischen abgeschlossener Biegerissbildung und dem Fließen der Bewehrung bei drohendem Biegeversagen proportional zur Last zu. Bei drohendem Schubversagen kommt es mit Einsatz der Schubrissbildung jedoch zu einem weiteren Abfall der Steifigkeit. Die Trägerhöhe nahm bei Bauteilen mit Biegeversagen sukzessive ab und lag zum Versagenszeitpunkt unter dem Ausgangswert. Bei Schubversagen stieg die Trägerhöhe jedoch infolge der Ausbildung eines Schubrisses beziehungsweise Horizontalrisses an. Beide geometrischen Veränderungen lassen sich an Stahlbetonbauteilen mit geeigneter Messtechnik leicht überprüfen. Die gewonnenen Ergebnisse müssen aber noch durch Versuche bestätigt werden.



## WISSENSCHAFT IST MEHR...

Forschung und Lehre sind die beiden wichtigen Säulen, die den Arbeitsalltag am Institut für Massivbau (wie überall an der Universität) tragen. Aber da ist noch mehr, über das zu berichten sich auch lohnt: Die alljährliche Exkursion zu großen und bedeutenden Brücken führte die Studentinnen und Studenten 2011 nach Schottland – organisiert war die Exkursion von Mitarbeitern unseres Instituts.

Bei der Langen Nacht der Wissenschaften laden wir zusammen mit anderen Instituten der Fakultät

Bauingenieurwesen die Dresdner Bevölkerung ein, unsere Forschung hautnah zu erleben, und mit der Betreuung von Schülern während ihrer Praktika binden wir die kommenden Studentengenerationen schon früh an uns.

Textilbeton, Gegenstand intensiver Forschung am Institut, kann auch spielerisch in Szene gesetzt werden – zwei Beispiele stellen wir vor.

Das alles – und noch viel mehr! – gehört auch zum Alltag: Langweilig wird es nie!

# Angeregte Besuche von Schottlands Brücken

Wie jedes Jahr nach der Prüfungszeit im Sommersemester konnten einige Studenten des 8. Semesters ihr erlerntes Wissen auf der Brückenexkursion vertiefen und die praktische Umsetzung hautnah erleben.

Dieses Jahr führte der Weg die 18 Studenten und zwei Betreuer vom Institut für Massivbau nach Schottland. Die zehntägige Exkursion, die von den Studenten größtenteils selbst geplant und organisiert wurde, war eine Zeitreise durch viele Jahrhunderte des Brückenbaus.

Anfangen von den Natursteinbogenbrücken, den weltweit ersten guss- und schmiedeeisernen Fachwerkbrücken über Balkenbrücken und Schrägkabelbrücken bis hin zu kilometerlangen Hängebrücken konnten die Studenten verschiedenste Brückentypen und Tragsysteme analysieren und zum Teil sogar erleben. Neben der Begehung des Stahlhohlkastens der Erskine Bridge und des vorgespannten Betonhohlkastens der Skye Bridge sowie einer Führung an der Forth

Road Bridge war das Bezwingen eines Pylons der Kessock-Schrägkabelbrücke ein ganz besonderes Erlebnis. Der Aufstieg in 34 m Höhe führte vorbei an den Ankerstellen der Kabel auf eine kleine Plattform von etwa 1,50 m x 1,50 m Größe, auf der jeweils drei Studenten nebst Signallicht Platz fanden. Im Anschluss an die bestandene Mutprobe brachte der obligatorische Besuch einer Whisky-Destillerie den Teilnehmern nicht nur das schottische Nationalgetränk, sondern auch dessen Geschichte und Herstellung näher. Nach diesem kurzen Exkurs standen wieder die Brücken im Vordergrund. Telfords weltberühmte Eisen-Fachwerkbrücke bei Craigellachie beeindruckte ebenso wie die experimentelle Untersuchung der Eigenfrequenzen zahlreicher durch die Studenten angeregte Fußgängerbrücken.

Nach neun Nächten auf Zeltplätzen und in Hostels erreichten die angehenden Bauingenieure mit vielen neuen Eindrücken im Gepäck und um einige Erfahrungen reicher ihre Heimat – den Beyer-Bau.



ExkursionsteilnehmerInnen an der Connel Bridge in Schottland [Bild: Gregor Schacht]

# Lange Nacht der Wissenschaften 2011

Die Lange Nacht der Wissenschaften hat auch 2011 wieder zahlreiche Dresdner auf den Campus (und andere Wissenschaftsstandorte) geführt. Die Bauingenieure hatten zwischen Beyer-Bau und Hörsaalzentrum ein dicht gedrängtes Programm voller Abwechslungen – mit Vorlesungen, Experimenten, Erklärungen, Baggern und Seifenblasen. Fröhliche Gesichter allerorten, viele Fragen (und Antworten!), große Kinderaugen: Wissenschaft macht Spaß, das war allen Beteiligten klar. Auch der Rektor der TU Dresden, Prof. Müller-Steinhagen, ließ sich das Spektakel nicht entgehen.

Das Institut für Massivbau war erneut für die Gesamtorganisation der Bauingenieur-Veranstaltung zuständig, außerdem beteiligten sich zahlreiche MitarbeiterInnen des Instituts und des Otto-Mohr-Laboratoriums aktiv an der Gestaltung des Abends.

Der Charme der Veranstaltung liegt in der Möglichkeit für Jung und Alt, durch „begreifen“

im wörtlichen Sinne zu verstehen, dass Wissenschaft nicht im Elfenbeinturm stattfindet – und Forschung wie Lehre Spaß machen!

Viele Dinge sind verblüffend. Manche verblüffend einfach, hin und wieder aber auch reichlich komplex. Derlei Kompliziertes aufzudröseln hingegen bereitet offensichtlich Vergnügen – und wenn Wissenschaftler und Laien auf Augenhöhe miteinander reden, gibt es Aha-Effekte für alle Beteiligten.

Unter den Experimentalvorführungen hatten die Brückenbauer, die ihre selbst gebauten Modellbrücken krachen ließen, stets großen Zulauf.

Auch für ganz junge Gäste war gesorgt. Für die kleinsten „Baumeister“ gab es reichlich Möglichkeiten, sich selbst auszuprobieren, sei es beim Bauen mit Sandsteinen oder beim Backen von „Beton am Stiel“. Und natürlich der ganz große Hit: Einmal selbst und (fast ganz) allein Bagger fahren...



Im Dunkeln ist gut Prüfen: Kai Schneider (l.), Student an der Fakultät Bauingenieurwesen, und der Leiter des Otto-Mohr-Laboratoriums, Dr.-Ing. Torsten Hampel, während des Brückentests

# Wie ein Gärtner den Stahlbeton erfand

Im März des Jahres waren zwei Schüler des Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums für eine Woche Gast am Institut, um sich anhand des Themas „Warum ein Gärtner den Stahlbeton erfand“ mit dem Baustoff Stahlbeton auseinanderzusetzen.

Anhand von Literaturrecherche sowie der Prüfung einiger Probekörper mit bewehrtem und unbewehrtem Beton wurde die Wirkweise des Verbundwerkstoffes erarbeitet. Außerdem wurde die Herstellung des Baustoffes erkundet, indem eigne Probekörper betoniert wurden.

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



Spaltzugprüfung bei Beton

# Abschied nach 21 Brückenbausymposien

Über 1.400 Gäste konnte Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke zum Brückenbausymposium 2011 im Audimax der TU Dresden begrüßen. Die größte Veranstaltung dieser Art im deutschsprachigen Raum findet alljährlich Anfang März statt und bringt Brückenbaukompetenz nicht nur aus Deutschland, sondern auch aus 16 benachbarten und weiter

entfernten Ländern (die längste Anreise hatten Teilnehmer aus Japan!) zusammen. Mit diesem Brückenbausymposium verabschiedete sich Prof. Stritzke aus dem Team und übergab das Zepter an den Direktor des veranstaltenden Instituts für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach.



“Jürgen Stritzkes Idee des Dresdner Brückenbausymposiums als Diskussionsplattform für Brückenbauingenieure war und ist ein überwältigender Erfolg” schreiben die MitarbeiterInnen des Teams in ihrer Danksagung im Tagungsband – und Prof. Curbach fasste in seiner Dankesrede am Ende des Symposiums in einem Satz zusammen: Jürgen Stritzke hat sich um den deutschen Brückenbau sehr verdient gemacht. Das sahen die Teilnehmer der Tagung auch so: Es gab *standing ovation* mit lang anhaltendem Beifall.

# Spaß am Kicker aus Textilbeton

## Beim Neujahrsempfang des Ministerpräsidenten

“Ein bisschen beneide ich Sie darum, dass Sie im Jahre 2011 in Sachsen studieren dürfen!” So begrüßte Sachsens Ministerpräsident Stanislaw Tillich beim Neujahrsempfang im Albertinum die rund 800 Gäste – darunter viele Studentinnen und Studenten. Das “Innovationsland Sachsen” wollte der Ministerpräsident in den Mittelpunkt des Empfangs stellen – aber nicht nur mit Worten, sondern vor allem mit Beispielen.

Als Vertreter der TU Dresden waren fünf Bauingenieurstudentinnen und Studenten eingeladen: Kai Schneider, Katja Pfefferkorn, Sebastian Klemm, Lisa Guse und Julia Rose hatten den Kicker aus Textilbeton mitgebracht, den Kai und Sebastian entwickelt und gebaut haben. Wie schon bei der einen oder anderen Tagung zuvor war das Nebenprodukt aus der aktuellen Forschung zum Textilbeton (im von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten SFB 528) der Hingucker und ein beliebter Treffpunkt, um zwischen ernsthaften Gesprächen einmal auszuspannen.

Spaß am Kicker aus Textilbeton hatten auch Helma Orosz (Dresdens Oberbürgermeisterin), Matthias Rößler (Landtagspräsident Sachsen) und Stanislaw Tillich (Ministerpräsident Sachsen), die bei ihrem Rundgang sich nicht nur informieren ließen, sondern gleich auch mal selbst Hand anlegten. So ganz nebenbei erfuhr der Ministerpräsident dann auch, dass die Studentinnen und Studenten an der Fakultät Bauingenieurwesen neben dem Studium und dem eher engen Stundenplan sich noch Zeit nehmen, die Ergebnisse der Forschung umzusetzen: Boote aus Beton für die zweijährlich ausgetragene Betonboot-Regatta oder eben mit Textilbeton den letzten Kick für die Freizeitgestaltung planen. Anerkennendes Nicken, nette Worte – und dann – weit vor Ende eines echten Matches, aber so ist das bei Neujahrsempfängen mit Rundgang – ging es weiter: Auch Station Nummer zwei hatte mit Textilbeton zu tun! Paulsberg schafft innovative und eigenwillige Möbel aus Textilbeton. “Anders sitzen” lautete die Schlagzeile am Stand...



Spaß am Kicker aus Textilbeton: Helma Orosz, Matthias Rößler und Stanislaw Tillich



# Lust auf Kunst

## ...von Volker Mixsa

Kunst und Beton – das ist mitnichten ein Gegensatz. Nach Einhart Grotegut, aus dessen "Beton-Blättern" 2008 ein Kalender entstand, hat sich mit Volker Mixsa ein weiterer über die Grenzen Dresdens hinaus anerkannter Künstler dieses Materials angenommen. Seine Skulpturen in Beton wurden vom 10. April – 3. Juli 2011 im Freigelände des Landschlusses Zuschendorf gezeigt.

Volker Mixsa hat sich mit seinen Skulpturen aus Edelstahl einen Namen gemacht. Sie stehen im öffentlichen Raum – unter anderem in Hamburg, Düsseldorf und Bonn – und fallen wegen ihrer Leichtigkeit und Formenvielfalt auf: seine Windspiele sind verspielte Blickfänger. Nun hat er sich mit dem neuen Material Textilbeton beschäftigt und Plastiken geschaffen, die seine unverkennbare Handschrift tragen. Er nutzt die Vorteile des Materials: Schlank und elegant, luftig und leicht – aber dennoch beständig sind die neuen Werke. Die leichte Formbarkeit gibt dem Künstler alle Freiheiten bei der Formfindung. Natürlich nutzt jemand, der sonst mit Edelstahl arbeitet, nicht irgendein Material für seine Schalungen: Sie sind aus Edelstahl und verleihen dem Beton eine Oberfläche, die fast selbst an Stahl erinnert: Glatt anzusehen und auch haptisch ein Erlebnis!

Die Textilbeton-Kunst entstand im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Sonderforschungsbereichs 528, dessen Finanzierung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft nach zwölf Jahren intensiver und erfolgreicher Forscherarbeit im Juni 2011 zu Ende ging.

Der Sprecher des SFB 528, Prof. Manfred Curbach, eröffnete die Ausstellung in Zuschendorf, das die Botanischen Sammlungen der TU Dresden enthält. Dipl.-Ing. Matthias Riedel, Gärtner und Verwalter der Sammlungen, konnte



Entdeckungen an Textilbeton  
[Bild: Sylke Scholz]

seine Skepsis Beton gegenüber bei den Skulpturen von Volker Mixsa überwinden, da sie sich so harmonisch in die hügelige Parklandschaft des Schlosses einfügten, dass sie überhaupt nicht negativ auffielen. "Sie sehen aus, als ob sie dazu gehören", meinte Riedel.

Da im Landschloss Zuschendorf regelmäßig Hochzeiten stattfinden, haben vor allem Brautpaare (und deren Fotografen) die Kunst für sich entdeckt: Die Doppelspirale, die aus jedem Blickwinkel neu und anders aussieht, bietet so hin und wieder zusätzlich Spielraum für außergewöhnliche Entdeckungen!

# Beyer-Preis an Silke Scheerer

Dr.-Ing. Silke Scheerer vom Institut für Massivbau (Fakultät Bauingenieurwesen) sowie Dipl.-Ing. Georg Lindenkreuz und Dipl.-Ing. Markus Sandner (Fakultät Architektur) sind mit dem Beyer-Preis 2010 ausgezeichnet worden. Sie erhielten ihn für die Dissertation zum Thema "Hochleistungsleichtbeton unter mehraxialer Druckbeanspruchung. Eine experimentelle Analyse" (Silke Scheerer) bzw. für die Diplom-Gemeinschaftsarbeit zum Thema "Wohnen im Schloss – Revitalisierung Rittergut Schieritz" (Georg Lindenkreuz und Markus Sandner).

Silke Scheerer hat an der TU Dresden Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau studiert. Für ihren Großen Beleg zum Thema "Entwurf einer Fußgänger- und Radfahrerbrücke in Magdeburg" erhielt sie 1999 den Gottfried-Brendel-Preis der BilfingerBerger AG. Nach ihrem Studium begann sie ihre Arbeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Massivbau der TU Dresden; seit 2010 ist sie dort geschäftsführende Oberingenieurin.

Mit ihrer Dissertation lieferte Silke Scheerer einen ausgezeichneten Beitrag, um den Werkstoff Hochleistungsleichtbeton in der Praxis zielsicher anwenden zu können. Dieser Spezialbeton weist gegenüber Normalbeton eine deutlich geringere Dichte auf und besitzt außerdem eine höhere Festigkeit als herkömmlicher Beton. Dadurch eröffnet sich dem planenden Ingenieur eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, da er tragende Konstruktionen deutlich schlanker und filigraner ausbilden kann, als das mit Normalbeton möglich wäre.

Um das Werkstoffverhalten umfassend und umfänglich zu erforschen, führte Silke Scheerer innerhalb ihrer Arbeit sehr umfangreiche experimentelle Untersuchungen an Hochleistungsleichtbeton durch, wobei sie sich auf die mehraxiale Beanspruchung konzentrierte, wie sie beispielsweise in Knotenpunkten von Bauteilen oder in Schalenskonstruktionen auftreten.

Die beiden angehenden Architekten hatten sich intensiv mit den Möglichkeiten auseinandergesetzt, die ein – gelinde gesagt – arg vernachlässigtes Rittergut bietet. Mit ihrer Arbeit haben sie Grundlagen und Anregungen für eine zukünftige Nutzung gegeben.

Der Kurt-Beyer-Preis wird seit 1996 jährlich durch die HOCHTIEF Construction AG gestiftet. Er ist mit insgesamt 5.000 Euro dotiert. Es werden ein bis zwei herausragende Abschlussarbeiten von Studierenden und Nachwuchswissenschaftlern auf den Gebieten des Bauwesens und der Architektur ausgezeichnet. Die Preisverleihung nahmen der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, und der Vorsitzende der Geschäftsleitung der HOCHTIEF Construction AG Sachsen, Andreas Schlage, im Festsaal des Rektorates vor. Prof. Rainer Schach und Prof. Thomas Will hielten die Laudatio für Preisträgerin und die Preisträger. Und weil es bereits das 15. Mal in Reihe war, dass HOCHTIEF diesen renommierten Preis gestiftet hat, gab's ganz außer der Reihe noch einen besonderen Dank von Prof. Curbach (Mitglied der Jury) und dem Rektor an Andreas Schlage und H. Rauch für das langjährige Engagement.



Was Gute auszeichnet: Sie können teilen!  
Silke Scheerer dankte am Ende ihres Vortrags allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Massivbau und des Otto-Mohr-Laboratoriums für kollegiale Hilfe.

# Bauindustrie-Preis für Matthias Quast

Im Rahmen des 19. Sächsischen Bautages in Dresden verlieh der Bauindustrieverband Sachsen/Sachsen-Anhalt am 27. Mai 2011 bereits zum 8. Mal den Preis der sächsischen Bauindustrie für innovative und zukunftsweisende Abschlussarbeiten in den Fachbereichen Bauingenieurwesen und Architektur. In der Kategorie "Bauingenieurwesen" erhielt Matthias Quast den Preis für seine Diplomarbeit zum Thema "Erarbeitung eines Brückenentwurfes für eine wartungsarme Fußgängerbrücke in Ruanda unter Berücksichtigung der hiesigen Gegebenheiten und Verwendung lokaler Baustoffe". Matthias Quast arbeitet seit Abschluss seines Studiums am Institut für Massivbau und bereitet sich dort auf seine Promotion vor.

Den Preis in der Kategorie "Architektur" erhielt Carola Ilian für ihre Masterarbeit zum Thema "Identitätsstiftung als Denkmalwert? Vermittlung und Überprüfung denkmalpflegerischer Wertsetzungen – eine Studie am Beispiel von Dresden-Prohlis und der Dresdner Altstadt". Das Preisgeld in Höhe von 2.000 Euro teilen sich die Preisträger.



Verbandspräsident Hans-Dieter Steinbrücker hob die außerordentliche Themenvielfalt der 15 eingereichten Arbeiten hervor. "Vor dem Hintergrund des Erneuerungsbedarfes, wie beispielsweise an Brückenbauwerken, an Hochwasserschutzanlagen und an Leitungsnetzen, bieten die Arbeiten innovative und praxisorientierte Lösungsansätze. Zudem unterstreichen sie, welchen Beitrag das Bauen zum Klimaschutz leisten kann", unterstrich Steinbrücker in seiner Würdigung.

# Innovationspreis Bautechnik 2011 für Frank Schladitz



Im Rahmen des Deutschen Bautechnik-Tags fand am 11. Mai das Kolloquium für Jungingenieure statt. Hier erhalten junge Diplomanden, Masterstudenten und Doktoranden eine Plattform, um ihre aktuell bearbeiteten Themen der Fachöffentlichkeit zu präsentieren. Aus allen Präsentationen kürt

eine Jury aus namhaften Fachleuten den besten Vortrag, welcher dann mit dem Innovationspreis Bautechnik ausgezeichnet wird.

In diesem Jahr gab es zwei erste Preise für Achim Bleicher von der TU Berlin für seine Arbeit

"Aktive Schwingungskontrolle einer Spannbandbrücke mit pneumatischen Muskeln" und für Frank Schladitz, der sich seit 2007 im Rahmen des SFB 528 mit dem "Torsionstragverhalten von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen" beschäftigt. In Experimenten konnte er nachweisen, dass mit einer dünnen Schicht aus hochfestem Feinbeton und darin eingelegter textiler Bewehrung aus Carbonfasergelegen eine enorme Steigerung der Tragfähigkeit eines bestehenden Bauteils möglich ist. Auf Grundlage des vorgestellten Berechnungsmodells kann diese Tragfähigkeitssteigerung bei der Sanierung und Ertüchtigung bestehender Bauwerke ausgenutzt werden. Damit konnte Frank Schladitz einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung unserer Bausubstanz und damit zum nachhaltigen Bauen leisten.

# Eine Investition, die sich gelohnt hat

## Gedanken zum Abschluss des SFB 528

Ein Ende, das keins ist. Ein Blick zurück – aber nicht im Zorn wie bei John Osborne, sondern in Dankbarkeit. Und das gute Gefühl, etwas geschaffen zu haben, was nicht nur WissenschaftlerInnen und ForscherInnen Erkenntnisgewinn gebracht, sondern sich auch als praxistauglich erweist: Das ist die Bilanz nach zwölf Jahren Sonderforschungsbereich 528 mit dem Titel „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“. Am 30. Juni 2011 endete die Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), „aber keineswegs die Forschung in diesem Bereich: Der SFB existiert weiter, das Thema bleibt hochaktuell!“, sagte Prof. Manfred Curbach, der Sprecher des SFB, bei einer Mitgliederversammlung: „Es tauchen immer noch Fragen auf, die beantwortet werden wollen!“ Also werde weiter geforscht, um dem Textilbeton die letzten Geheimnisse zu entlocken.

Zwölf Jahre hat die DFG das Vorhaben gefördert. Über diesen Zeitraum haben insgesamt 79 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler interdisziplinär im Rahmen des SFB gearbeitet. 77 Gastwissenschaftler haben in dieser Zeit ihr Wissen in Dresden vorgestellt und aus Diskussionen und Laborbesuchen Erkenntnisse aus Dresden mit nach Hause genommen. Im Schnitt wurden pro Jahr 80 Studentische Hilfskräfte beschäftigt, was nicht nur ein willkommener Nebenverdienst für die Studentinnen und Studenten ist, sondern auch eine hervorragende Gelegenheit zur eigenen Weiterbildung: „Wir haben sie mit ihrer Arbeit in die Forschung eingeführt!“, sagte Prof. Curbach.

Insgesamt hat der Sonderforschungsbereich in den zwölf Jahren (das ist die maximale Dauer für so eine Förderung) 22 Mio. Euro von der DFG bekommen und ausgegeben, also 1,8 Mio. Euro pro Jahr. „Das war eine große Investition der DFG, aber – so selbstbewusst dürfen wir sein – sie hat sich gelohnt!“ sagte Prof. Curbach. Es sei keine leichte, aber eine sehr spannende Aufgabe gewesen, das Material von den Grundlagen an zu erforschen, sich die richtigen Fragen zu stellen und diese sukzessive zu beantworten.

Natürlich habe es am Anfang Skeptiker gegeben. Aber nachdem drei Verlängerungsanträge und sechs Transferprojekte in die Wirtschaft erfolgreich waren, gaben sie eher klein bei und fragen nun mit Bewunderung: Wie habt ihr es geschafft, dass ihr führend auf diesem Gebiet in der Welt seid?

Ein Geheimnis des Erfolgs sei sicher, dass die Dresdner gründlich arbeiten, meinte Curbach. Die Erfolge sehe man gerade bei der Überleitung des theoretischen Wissens in die Praxis: Mit dem *Deutschen Zentrum Textilbeton* und dem Verband *TUDALIT e.V.* habe man erfolgreich die Praktiker mit ins Boot holen können und gehe nun gemeinsam mit der Wirtschaft die Etablierung des Werkstoffs an: Ein Verfahren zur bauaufsichtlichen Zulassung läuft mit Unterstützung der TUDAG, die erfolgreich den Wissenstransfer der TU Dresden koordiniert.

Der Dank, den Prof. Curbach aussprach, kam sichtlich von Herzen und wurde von den anwe-



senden Wissenschaftlern (darunter etliche aus den Anfangsjahren des SFB, die mittlerweile nicht mehr an der TU Dresden arbeiten) mit viel Beifall bedacht: Ohne die Unterstützung durch einzelne Personen bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, den Berichterstattern und Gutachtern in den Bewerbungsrunden, den Mitarbeitern in der Verwaltung der TU Dresden sowie den beteiligten Wissenschaftlern und Technikern in den Laboren wäre der SFB 528 nicht so erfolgreich gewesen. „Ich danke Ihnen allen für Ihre Ideen, die Begeisterung, Geduld, Ausdauer und das Engagement und verbinde das mit der Hoffnung, dass sich alle gerne an diese Zeit erinnern mögen und sie – in Anlehnung an Karl Valentin – später einmal gerne die gute alte Zeit nennen werden!“

An die Anfänge der Forschung zum Textilbeton, die noch Jahre vor der Förderung durch die DFG liegen, erinnerte Prof. Peter Offermann. Der Textiltechniker hatte mit seinen Forschungen die Grundlagen für eine Bewehrung mit Textilbeton

geschaffen und hatte mit Mitarbeitern des Instituts für Baustoffe in Gesprächen, ersten Versuchen und Literaturrecherchen („was gibt’s schon zu dem Thema weltweit?“) die Verwendung von technischen Textilien ausgelotet. Von der Akribie und Kreativität Prof. Offermanns profitieren die Wissenschaftler und die Vertreter der Wirtschaft noch heute, denn nach seiner Emeritierung engagiert sich Prof. Offermann im Verband der Marke TUDALIT und berät das Deutsche Zentrum Textilbeton mit seinem unerschöpflichen Sachverstand. Prof. Offermanns Schilderung vom „ersten nebulösen Gespräch“ über das Beratungsgespräch bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Bonn (das zwar erfolgreich war, in dem die Dresdner Forscher aber lieb gebeten wurden, „den Gemüsegarten aufzuräumen“) bis zu zwölf erfolgreichen Jahren DFG-geförderter Forschung hörte sich spannend an und zeigte, dass neben einer Spitzen-Idee auch immer langer Atem erforderlich ist.

*Ulrich van Stipriaan*



# Textilbeton in Theorie und Praxis

## Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche Textilbeton

Am 19. und 20. September 2011 fand in Berlin die Tagung "Textilbeton in Theorie und Praxis" mit dem Abschlusskolloquium CTRS6 der Sonderforschungsbereiche 528 und 532 und der 3. Anwendertagung des TUDALIT e.V. statt.

Betonbauteile leicht und filigran wirken zu lassen, das ist der Wunsch vieler Architekten und Bauingenieure. Die Verwendung von Hochleistungstextilien als Bewehrungsmaterial ist eine sehr gute Möglichkeit, dies zu realisieren. Die Grundlagen für diesen Verbundwerkstoff Textilbeton wurden in den vergangenen zwölf Jahren in zwei Sonderforschungsbereichen – SFB 528 an der TU Dresden und 532 an der RWTH Aachen – erforscht. Im Rahmen des „6. Kolloquiums zu textilbewehrten Tragwerken – CTRS6“ stellten die Forscherinnen und Forscher ihre Ergebnisse vor. Zahlreiche Pilotprojekte mit Textilbeton, die während dieser Forschungstätigkeit ausgeführt werden konnten, beweisen die Praxistauglichkeit

des neuen Materials. Die vielen Praktiker unter den über 150 Tagungsteilnehmern diskutierten über die Erfahrungen aus der Umsetzung von Textilbetonanwendungen. Die Beiträge zur 3. Anwendertagung des TUDALIT e.V. gaben einen guten Überblick über die erfolgreiche Überführung des Grundlagenwissens in die Praxis.

Um die weitere Entwicklung des Textilbetons voranzubringen, werden auch in Zukunft Praktiker und Wissenschaftler zusammenarbeiten. Der TUDALIT e.V. bietet eine gute Plattform dafür. Eine Austauschmöglichkeit bietet die 4. Anwendertagung, die mit der Preisverleihung des TUDALIT-Architekturpreises 2012 am 27./28. September 2012 wieder in Dresden stattfinden wird.

Zum Abschlusskolloquium ist ein Tagungsband erschienen, der über das Institut für Massivbau der TU Dresden zu beziehen ist.



Wissensaustausch zum Abschluss der Förderung der Sonderforschungsbereiche in Dresden und Aachen zum Thema Textilbeton – zusammen mit der Anwendertagung des TUDALIT e.V.

# Das Ende der Förderung – und nun?

## Fünf Fragen an Prof. Manfred Curbach, TU Dresden

Am 30. Juni 2011 endete die Förderung des Sonderforschungsbereichs 528 zum Thema Textilbeton durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Wir sprachen für das TUDALIT Magazin mit dem Sprecher, Prof. Manfred Curbach.  
Die Fragen stellte Ulrich van Stipriaan.

? Zwölf Jahre Forschungsförderung Textilbeton durch die DFG – was haben die gebracht?

! Viele Erkenntnisse und Erfahrungen! Wir haben Textilbeton von einer visionären Idee, die teilweise sogar belächelt wurde, bis zum Transfer (zum Beispiel mit den Gründungen des Deutschen Zentrums Textilbeton und dem Markenverband TUDALIT) und zur Anwendungsreife gebracht. Damit haben wir Grundlagenforschung *at its best* betrieben!

? Wann haben Sie gemerkt, dass Textilbeton *the next big thing* im Massivbau werden könnte?

! Bereits 1995, als wir die ersten Versuche gemacht und ausgewertet haben!

? Sind denn alle Fragen schon beantwortet oder werden Sie weiter Energie in die Forschung zum Thema Textilbeton stecken?

! Wir haben in den mehr als zwölf Jahren, die wir uns mit Textilbeton beschäftigen, sehr viele Fragen klären können – aber es kommen auch immer wieder neue Fragen auf. Wie Goethe den Wagner im *Faust* schon sagen lässt: *Mit Eifer hab' ich mich der Studien beflissen; Zwar weiß ich viel, doch möcht' ich alles wissen.*

So geht es uns auch: Wir haben eine Menge Erkenntnisse, aber mit jeder Antwort tun sich neue Fragen auf! Also forschen wir weiter, zum Beispiel im Hinblick auf angepasste und angemessene Konstruktionsregeln für den neuen Verbundwerkstoff.

? Wo sehen Sie Einsatzmöglichkeiten im Alltag für den Textilbeton?

! Aus der Sicht des Dresdner Sonderforschungsbereichs, der ja die Instandsetzung zum Thema hatte, sind es Möglichkeiten der Verstärkung. Hier sind wir ja auch schon sehr weit gekommen und



Prof. Manfred Curbach, Sprecher des Dresdner SFB 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“

konnten mit den ersten vielversprechenden Praxisanwendungen zeigen, dass wir mit Textilbeton einen wesentlichen Beitrag zur Rettung unserer gebauten Infrastruktur leisten können.

? Wie geht es weiter? Was ist Ihre Prognose für den Textilbeton?

! Wir werden wohl noch eine Zeit lang mit Zustimmung im Einzelfall leben, wobei die nach den bisherigen positiven Erfahrungen mit Textilbeton auch immer einfacher zu erlangen sind. Die große Skepsis ist nicht mehr da, außerdem gibt es bereits Erfahrungen, auf die man zurückgreifen kann. Ein riesengroßer Schritt ist die Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, an der wir zusammen mit dem TUDALIT e.V. arbeiten. Das ist zwar ein zeitraubender Prozess, aber wenn die Zulassung einmal da ist, wird das einen großen Schub bei den Anwendern geben. Und irgendwann wird es dann sicherlich eine Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton geben...

# Herausforderungen für Zukunft des Bauens

## Paradigmenwechsel für die Zukunft des Bauens herbeiführen

Bei einem ersten Treffen in Dresden haben knapp 40 Spitzenforscher aus ganz Deutschland die Arbeit an einem Schwerpunktprogramm "Leicht Bauen mit Beton" begonnen. In insgesamt 16 Projekten wollen die Forscher aus elf deutschen Hochschulen die Grundlagen für das Bauen der Zukunft erforschen. Die überregionale Kooperation führender Bauingenieure, Architekten, Maschinenbauer und Mathematiker soll dabei den Blick über den Tellerrand und Synergien beim Gedankenaustausch fördern.

"Form follows force" – die Form folgt dem Kraftfluss – ist das vielversprechende Motto, mit dem Details untersucht und letztendlich zu einem wegweisenden Ganzen zusammengefügt werden sollen. Dabei liefert die Natur zahlreiche Vorbilder für neuartige Baukonstruktionen.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert das Schwerpunktprogramm, dessen

erste dreijährige Phase jetzt beginnt, mit insgesamt rund 7 Mio. Euro. Zum Koordinator des Programms wählten die Forscher auf ihrem zweitägigen Treffen in Dresden Prof. Manfred Curbach vom Institut für Massivbau der Technischen Universität Dresden. Mit zwei Fachprojekten leistet die TU Dresden auch inhaltlich einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen des Schwerpunktprogramms.

"Leicht Bauen mit Beton" sei eine Herausforderung, betonte Prof. Curbach und forderte einen Paradigmenwechsel: "Wir müssen uns von der Idee trennen, dass Beton etwas Schweres ist!" sagte er und wünschte sich ein Ende der Betonwüsten. Es gebe genug Beispiele, dass man auch mit Beton leicht und schön bauen könne. Dass dies die Regel und nicht die Ausnahme werde, sei ein Ziel des Schwerpunktprogramms.

<http://spp1542.tu-dresden.de>





## Projektliste

(Sortierkriterium: Name des Antragstellers)

**Effiziente Schalenträgerwerke aus funktional gradierten Betonfertigteilen** – Zuschnittsoptimierung von räumlichen gekrümmten Betonfertigteilen unter Beachtung von Material- und Tragwerksaspekten mit numerischen Methoden der Topologieoptimierung | Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger | Technische Universität München

**Entwicklung neuartiger Verbindungen für geometrisch komplexe Flächen- und Stabwerkselemente aus UHPC** | Prof. Dr.-Ing. Harald Budelmann | TU Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz | Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft | TU Braunschweig, Institut für Tragwerksplanung

**Dünnwandige Faltwerke aus zementbasierten Verbundwerkstoffen** | Dr.-Ing. Rostislav Chudoba, Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger | RWTH Aachen, Institut für Massivbau

**Leichte Deckenträgerwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen** | Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach | Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau

**Querschnittsadaptation für stabförmige Druckbauteile** | Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach | Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau

**Ultraleichte, dünnwandige stabförmige Betonhohlbauteile** | Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann | Technische Universität Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)

**Formoptimierte, filigrane Stäbe aus UHPC und korrosionsfreier CFK-Bewehrung für variable räumliche Stabträgerwerke** | Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer, Dr. Roland Niedermeier | Technische Universität München, Lehrstuhl für Massivbau

**Effiziente Schalenträgerwerke aus funktional gradierten Betonfertigteilen** – Funktionale Gradierung, Schalungs- und Herstelltechnologie unter Berücksichtigung der Segmenttopologie | Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen | Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung

**Grundlagen zur Entwicklung adaptiver Schalungssysteme für frei geformte Betonbauteile** | Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, TU Darmstadt, Fachgebiet Massivbau | Prof. Dr.-Ing. Ulrich Knaack, HS Ostwestfalen-Lippe, Lehrgebiet Entwerfen und Konstruieren

**Sandwichkonstruktionen aus dünnen gefalteten und gekrümmten Betondeckschichten** | Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, RWTH Aachen, Institut für Massivbau

**Konstruktion und Optimierung von Klebeverbindungen für Platten- und Scheibenbauteile aus ultrahochfestem Beton** | Jun.-Prof. Dr.-Ing. Christian Kohlmeyer, Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Bauingenieurwesen | Priv.-Doz. Dr. Heiko André, Fraunhofer ITWM und TU Kaiserslautern, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik

**Flexible mehrschichtige GFK-Schalungen zur Herstellung von doppelt gekrümmten Beton-Leichtbauelementen mit stabilisierten Abstandsgewirken** | Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Kroll, Dr.-Ing. Sandra Gelbrich, TU Chemnitz, Professur Strukturleichtbau/Kunststoffverarbeitung

**Kraftadaptive Diskretisierung leichter Betonbauteile mittels liniengeometrischer Modellierung** | Prof. Dr.-Ing. Daniel Lordick, Prof. Dr. Gunter Weiss, Technische Universität Dresden, Institut für Geometrie, Fachrichtung Mathematik

**Leichte verformungsoptimierte Schalenträgerwerke aus mikrobewehrtem UHPC am Beispiel von Parabolrinnen solarthermischer Kraftwerke** | Prof. Dr.-Ing. Peter Mark, Ruhr-Universität Bochum, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell, Technische Universität Kaiserslautern, Bauingenieurwesen

**Leichte Platten aus Beton mit biaxialem Lastabtrag als bionische Strukturen – Steifigkeitsgerechtes Konstruieren nach biologischen Vorbildern** | Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held | Universität Duisburg-Essen, Institut für Massivbau

**Automatisierte adaptive Schalungsmethoden zur Herstellung von Betonbauteilen mit gekrümmten Oberflächen** | Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Werner Sobek | Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK), Universität Stuttgart







# OTTO-MOHR- LABORATORIUM



## OTTO-MOHR- LABORATORIUM

### Arbeitsgebiete und Ausstattung

Das Laboratorium der Fakultät Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden ist nach dem deutschen Ingenieur und Baustatiker Christian Otto Mohr (1835-1918) benannt und wurde 1975 eingeweiht. Mit einer modernen und umfangreichen Ausstattung sind wir spezialisiert auf zerstörungsfreie Untersuchungen und zerstörende Belastungsversuche an einer Vielzahl von Materialien des konstruktiven Ingenieurbaus. Wir bieten unsere Leistungen sowohl universitätsintern als auch für externe Partner an. Am 26.11.2009 wurde mit dem Technikum der erste Erweiterungsbau des Otto-Mohr-Laboratoriums übergeben. In diesem Bereich des Technikums finden nun die Betonherstellung und die Vorbereitung großer Prüfkörper statt. Am 1. Oktober 2010 wurde der Bau des 2. Abschnitts des Technikums begonnen. Dieser wird am 1. Februar 2012 eröffnet. In diesem Gebäudeteil sind nun u. a. ein zweites Aufspannfeld und die Holzwerkstatt untergebracht.



## I Leistungen

Unser Leistungsangebot umfasst sowohl die Durchführung von standardisierten Materialprüfungen als auch die Neuentwicklung von Versuchsaufbauten für spezielle Prüfaufgaben, die nicht mit genormten Tests gelöst werden können. Wir besitzen langjährige Erfahrungen auf den Gebieten der zerstörenden und zerstörungsfreien Materialprüfungen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt liegt bei Planung, Durchführung und Auswertung von experimentellen Tragfähigkeitsanalysen. Weiterhin verfügen unsere Mitarbeiter über umfangreiche Erfahrungen mit Textilbeton. Das betrifft sowohl die Herstellung neuer Bauteile als auch die Ausführung von Verstärkungsarbeiten. Nachfolgend wurde ein Auszug aus unserem Leistungsangebot zusammengestellt:

### 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
- Spezialversuche an Prüfkörpern unterschiedlicher Geometrie und Beschaffenheit



Dauerversuch an einem Holzfachwerkbinder

### I.2 Zerstörungsfreie Materialprüfungen

- Ultraschalluntersuchung
- Rückprallwerte
- Bewehrungssuche
- Kraft- und Verschiebungsmessungen
- (Video-)Endoskopie
- Kriech- und Schwindversuche

### 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 bei seiner Errichtung genau definiert. Im Laufe der Zeit kommt es durch verschiedene Einflüsse, wie z. B. steigende Verkehrsbelastung, mangelnde Unterhaltung, unvorhergesehene Umwelteinflüsse und damit einhergehender Alterung oder eine geplante Umnutzung, dazu, dass die aktuelle Tragsicherheit nicht bekannt ist. Erschwerend kommt hinzu, dass häufig keine oder nur ungenügende Bauwerksunterlagen verfügbar sind, um die Tragfähigkeit statisch zu bewerten. Aus diesen Gründen kann es in bestimmten Fällen sinnvoll sein, die Tragfähigkeit experimentell zu bestimmen und zu bewerten, um darauf aufbauend Restnutzungsdauern zu ermitteln oder für eine Umnutzung die Tragfähigkeit nachzuweisen. Dabei ergeben sich für das Otto-Mohr-Laboratorium unter anderem folgende Aufgaben:

- Ermittlung der aktuellen Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken oder Bauwerksteilen als Grundlage für die Einschätzung der Restnutzungsdauer und der Kostenplanung
- Untersuchungen an Brücken- und Hochbauwerken sowie an denkmalgeschützten Bauwerken

- Realistische Ermittlung der Randbedingungen für eine geplante Veränderung der Nutzung von Gebäuden
- Neben Vertikalbelastungen (Decken- oder Unterzugsprüfung) sind ebenfalls Horizontalbelastungen (z. B. Nachweis der Horizontalbeanspruchung von Geländern) möglich

## 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 steht 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 zur Durchführung von Versuchen unter Temperatureinfluss. Für Bauwerksprüfungen ist eine große Anzahl von Belastungsrahmen vorhanden. Zur Datenerfassung verfügen wir über eine umfangreiche Messtechnik, die verschiedenste Messge-

räte und Messmittel einschließlich Photogrammetrie umfasst.

Die folgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht über die Ausstattung unseres Labors.

### II.1 Betonherstellung

#### Formen

- Standardformen für Würfel mit 100 und 150 mm Kantenlänge, Zylinder (150 mm Durchmesser) und Prismen (Stahl, mit 3 Formfächern je 160 x 40 x 40 mm)
- Spezialformen für Zylinder mit Einschnürung (Zugfestigkeit von Beton)

#### 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 ZMM<sup>5</sup>

#### Verdichtung

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



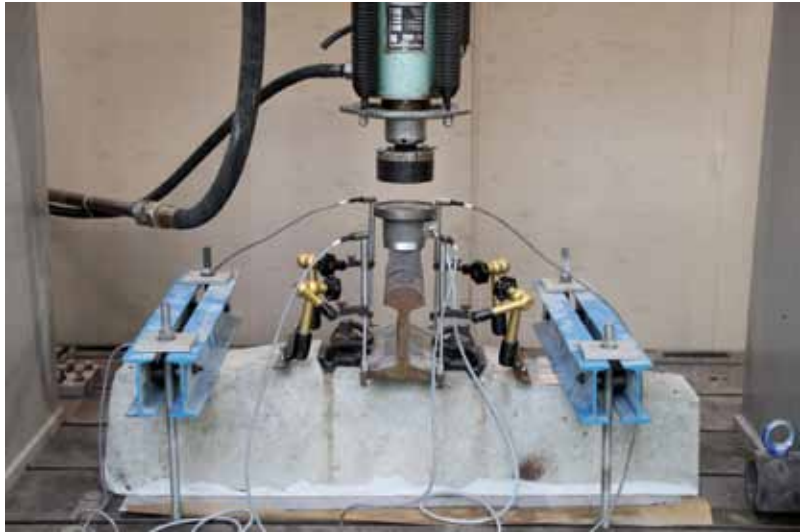
Mischer im Technikum des Otto-Mohr-Laboratoriums

#### Sonstige Ausstattung

- Diverse Waagen, Laborheizplatten, Vibratoren
- Mörtelausbreittisch und Betonausbreittisch, jeweils mit Metallform
- Grundplatte und Metallform für Slump-Prüfung
- Zwei Klimakammern im Normklimabereich und Trockenschränke
- Temperatur- und Feuchtigkeitsschreiber
- Betonsäge, Kernbohrgeräte
- 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, Lastkapazität je Prüfportal bis 1 MN kombinierbar, Prüfung von Einzel-elementen bis zu 10 t Gewicht und 5 m Höhe möglich)
- ❑ Variable Portale (mehrere Portale mit  $H_{\max} = 4,0$  und 5,25 m, zwei Portale mit  $H_{\max} = 6,00$  m)
- ❑ Aufspannfeld im Erweiterungsbau des Technikums (Fläche: ca. 15,0 × 10,5 m, Raster: 1,50 m, Lastkapazität bis 1 MN)



Bahnschwelle im Test

## 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)
- ❑ 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 (jeweils mindestens zwei Prüfzylinder mit maximalen Lasthöhen von 10, 50, 100, 200, 250, 400, 650 und 1.000 kN vorhanden)
- ❑ Pulsatoranlage (Lastwechselfrequenzen 1–12 Hz möglich – jeweils abhängig von 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, Lasteinleitungsmittel: starre Platten oder Belastungsbürsten, maximale Prüfkörpergröße: Quader mit 30 cm Kantenlänge)
- ❑ Biaxial-Prüfmaschine (Maximallast: 100 kN Zug je Achse)
- ❑ Triaxialzelle (maximale Vertikallast: 125 kN Druck, maximaler Radialdruck: 5 MPa, Prüfkörpergröße:  $\varnothing = 2,54$  cm und  $h = 5,08$  cm, Temperaturen bis 150° C möglich)
- ❑ 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 Zugprüfmaschine (Kettenzugmaschine, Maximallast: 400 kN Zug, maximale Einspannlänge: 6,5 m)
- ❑ Fallgewichtsversuchsstand ( $H_{\max} = 5,00$  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 möglich,

Gesamtgewicht des derzeit möglichen Prüfkörpers 60 Tonnen, perspektivisch auf 120 Tonnen Prüfkörpergewicht aufrüstbar)

- Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche, Belastungsgeschwindigkeit bis 35 m/s, Prüfkörpergeometrie Durchmesser 50 mm, bei einer Länge von 50 mm, kinetische Energie des Impaktors bis zu 1,8 kJ
- 2-axialer Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche, Belastungsgeschwindigkeit bis 35 m/s, Prüfkörpergeometrie Kantenlänge 50 mm, kinetische Energie des Impaktors je Achse bis zu 1,8 kJ

**Sonstige Ausstattung**

- Vorrichtungen für 3- und 4-Punkt-Biegeversuche für Normprüfungen
- Modellstatik-Prüfstände zur Untersuchung von Stabwerks- und Flächenmodellen
- Kriechstände mit mechanischer oder pneumatischer Lasterzeugung
- Plattenprüfstand
- Schubversuchsstand
- Ausstattung zur Durchführung von Versuchen mit variabler Temperaturbeanspruchung
- Mehrere Steuerpulte

**II.4 Ausrüstung für Prüfungen im Bestand/Bauwerksprüfung**

- Verschiedene Belastungsrahmen zur Ausführung von In-Situ-Prüfungen an Brücken, Decken, Stützen, Masten, Geländern etc.
- Ultraschallmessgerät

- Profometer 3 (Bewehrungsortung)
- Rückprallhammer
- (Video-) Endoskopie
- Ausrüstung zur Entnahme von Bohrkernen

**II.5 Messtechnik**

**Messdatenerfassung**

- Messverstärker: MGC, MGCplus, Quantum MX840 und Spider 8
- Vielstellenmessgerät: UPM100
- Nahbereichsphotogrammetrie:
  - AICON 3D System mit 4 Kameras und Zubehör
  - GOM ARAMIS 5 M mit 2 Kameras und Zubehör
- Verschiedene Spiegelreflex- und Kompaktkamerasysteme
- Transientenrekorder
- AOS-Messgerät für Faser-Bragg-Gitter-Sensoren

**Sensorik**

- Verschiedenste Kraftmessdosen (KMD) zwischen 1 kN und 10.000 kN
- Dehnmessstreifen (DMS)
- Induktive Wegaufnehmer (IWA)
- Faser-Bragg-Gitter
- Dehnungsaufnehmer (DD1)
- Beschleunigungsaufnehmer
- Dynamische Kraftsensoren
- Thermoelemente und Feuchtesensoren
- Extensometer
- Seilzugsensor



Applikation von Dehnmessstreifen



Detail eines  
Traglastversuchs



### Vermessung

- Nivelliergerät
- Theodolit
- Verschiedene Entfernungsmessgeräte

### Sonstiges

- Neigungsmessgerät  
(Winkelbestimmung bis +/- 30°)
- Inclinometer LSOC-0120  
(Winkelbestimmung bis +/- 3°)
- Verschiedenste mechanische Längenmess-  
geräte (u. a. Messuhren, Setzdehnungsmesser  
(Bauart Pfender/Setzdehnungsmesser), Mess-  
schraube bzw. Mikrometerschraube)
- Hand-held Shaker
- Magnet-Messstativ
- Federzugkraftmesser
- Kraftmessbügel verschiedener Kräftemess-  
bereiche und Bauart
- 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  
Standard-Werkzeugen
- 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 Versuchshalle)
- Gabelstapler (Tragkraft 3 t)
- Schweißerausrüstung, elektro und autogen
- Mobile Druckölaggregate
- Aggregat zum Sandstrahlen
- Schwerlastwagen bis 60 t Tragkraft

# Nachrechnung älterer Brücken

Die Erhaltung bestehender Brücken stellt für die Straßenbauverwaltungen eine immer größer werdende Herausforderung dar. Zum einen sind die heutigen Verkehrsbelastungen i. d. R. höher als zur Bauzeit der Brücken – man denke nur an das grundsätzlich in der Vergangenheit deutlich gestiegene Verkehrsaufkommen oder an die seit Beginn 2012 in Teilen Deutschlands zugelassenen Gigaliner. Zum anderen altert die Bauwerkssubstanz, was eine Neubewertung des Brückenbestandes erforderlich macht.

Deshalb wurde von einer Arbeitsgruppe des Bundes und der Länder im Auftrag des BMVBS die sogenannte Nachrechnungsrichtlinie erarbeitet, die seit Mai 2011 angewendet wird. Die bei ersten Anwendungen gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse sollen in die weitere Entwicklung dieses neuen Regelwerkes mit einfließen. Einen Beitrag dazu leisten wir mit dem hier vorgestellten Projekt. In Zusammenarbeit mit dem Landesamt und verschiedenen Ingenieurbüros wird derzeit die Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommerns angewendet. Der TU Dresden obliegt dabei die wissenschaftlich-technische Betreuung und Bewertung.

Anhand der SIB-Bauwerksdatenbank wurden zuerst die Bestandsdaten der Brücken ausgewertet, die sich in der Baulast des Landes (und des Bundes) und in Mecklenburg-Vorpommern befinden. Dabei wurden die wesentlichen technischen Bauwerksdaten ebenso berücksichtigt wie die Er-



Typisches Balkenreihentragwerk im Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommerns  
[Bild: Torsten Hampel]

## **Titel**

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

## **Auftraggeber**

Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern

## **Zeitraum**

03.05.2011 – 31.12.2012

## **Leiter**

Dr.-Ing. Torsten Hampel

## **Bearbeiter**

Dipl.-Ing. Nico Schmidt

gebnisse der regelmäßigen Untersuchungen des Istzustandes im Rahmen der Bauwerksprüfung.

Anschließend wurden die Bauwerke entsprechend ihrer Prioritätszahl geordnet. Grundlage war für die Betonbrücken beispielsweise ein Schema, welches von der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt entwickelt worden war und mit dessen Hilfe die einzelnen Teilbauwerke nach ihrer Priorität für eine erforderliche Nachrechnung bewertet werden können. Hierbei fließen z. B. neben dem Material auch das Tragsystem, das Bauwerksalter, die Zustandsnote u. v. m. ein. Die Einflüsse werden unterschiedlich gewichtet und addiert, wodurch man als Ergebnis die zuvor genannte Prioritätszahl erhält.

Um anschließend den Aufwand der rechnerischen Überprüfung des gesamten Brückenbestandes durch Nachrechnung einer möglichst repräsentativen, aber geringen Anzahl von Teilbauwerken zu minimieren, erfolgte eine systematische Ordnung der Brücken nach charakteristischen Merkmalen wie Baustoff, Bauart, Konstruktionstyp etc., die dann in Bauwerksgruppen zusammengefasst wurden.

Die Nachrechnungen sollen nun von Ingenieurbüros durchgeführt werden, die wir wissenschaftlich betreuen und beraten. Zudem obliegt uns die Mitwirkung bei der Ausschreibung und der Erstellung und Konkretisierung der Aufgabenstellungen für die Ingenieurbüros. Die Ergebnisse der Nachrechnungen werden auf Plausibilität geprüft und bewertet, um daraus letztendlich Empfehlungen für die weitere Nutzung der Brückenbauwerke ableiten zu können.

# Was macht der Laster mit dem Pflaster?

Pflasterbefestigungen werden im heutigen Straßenbau sowohl für das untergeordnete, wenig beanspruchte Straßennetz als auch für stark beanspruchte Straßenverkehrsbefestigungen (bis Bauklasse III gem. RStO 01) realisiert. Grundlage einer dauerhaft tragfähigen und standfesten Pflasterbefestigung sind die Wahl und die Kombination geeigneter Baustoffe sowie die baufachlich richtige Umsetzung. Große Beanspruchungen, die in Pflasterbefestigungen eingetragen werden, können vertikale und horizontale irreversible Verformungen hervorrufen, deren Ausprägungen sehr unterschiedlich sein können. Die einzelnen Einflussfaktoren, welche das konstruktionsspezifische Verformungsverhalten bestimmen, sind äußerst komplex und umfassen beispielsweise Aspekte wie Art der Belastung, Steinform, Verband oder Bettungs- bzw. Fugenmaterial.

Die experimentelle Untersuchung des Verformungsverhaltens von Pflasterbefestigungen erfolgt an einem großmaßstäblichen Versuchstand der Professur für Straßenbau, welcher im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden aufgebaut wurde. Diese Versuchseinrichtung mit einer Grundfläche von 5,00 m × 2,50 m erlaubt es, Pflasterbefestigungen im Maßstab 1:1 zu errichten und zu untersuchen. Zyklische Belastungen (kombiniert vertikal und horizontal) simulieren die Überrollung eines LKW-Rades. Während eines Einzelversuches werden 1 Million Lastwechsel aufgebracht und die Verschiebungen der Pflasterdecke an ausgewählten Messpunkten mittels induktiver Wegaufnehmer aufgezeichnet. Zusätz-



Betonpflaster im Ermüdungsversuch

## **Titel**

Verformungsverhalten von Betonpflasterkonstruktionen

## **Auftraggeber**

Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau

## **Zeitraum**

2005 – 2011

## **Leiter**

Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmuth Wellner

## **Projektbearbeiter**

Dipl.-Ing. Daniel Ascher, Dipl.-Ing. Jörg Patzak, Rene Schubert

## **Versuchsdurchführung**

Otto-Mohr-Laboratorium

lich zur punktuellen Verformungsmessung kann die experimentelle Analyse der Horizontalverformung durch photogrammetrische Messungen ergänzt werden, um die flächige Verformungsverteilung analysieren und auswerten zu können.

Mit den Ergebnissen der Versuche können die Einflüsse von Fugen- und Bettungsmaterial, von Fugenbreite oder Füllungsgrad und der Steinform bzw. des Verlegeverbandes untersucht werden. Die Erkenntnisse dienen der vergleichenden Bewertung verschiedener Pflasterkonstruktionen und damit einer der Beanspruchung gerecht werdenden dauerhaften und tragfähigen Bauweise.

Neben der experimentellen Analyse ist die Modellierung des mechanischen Verformungsverhaltens der Pflasterkonstruktion entscheidend, um die verschiedensten Beanspruchungszustände berechnen und mögliche Schädigungen prognostizieren zu können. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke der TU Dresden wurden hierfür bereits Modellansätze erarbeitet und numerisch mit Hilfe der FEM umgesetzt.

# Filigrane Treppenkonstruktion im Test

Die Architekturzeitung postete im vergangenen Jahr: „Mit einer Weltneuheit präsentiert sich die Dyckerhoff AG mit ihrer Produktmarke Dyckerhoff Weiss auf der BAU 2011 in München. Ein selbsttragendes Treppenexponat aus weißem, ultrahochfestem Beton und Glas ist das Highlight auf dem 200 Quadratmeter großen Stand. ...“. Das formschöne Bauteil beeindruckte die Besucher wirklich, aber was war das Besondere daran?

Dyckerhoff hat, wie einige andere Firmen auch, Möglichkeiten und Produkte entwickelt, um den einfacheren Einsatz innovativer Betone in der Baupraxis voranzutreiben. Im Falle der Treppe wurde ein ultrahochfester Beton (UHPC) verwendet. UHPC zeichnen sich u. a. durch ein dichtes Gefüge und eine sehr hohe Druckfestigkeit aus, die leicht  $150 \text{ N/mm}^2$  übersteigen kann, wodurch der Baustoff Beton sogar als Stahlersatz interessant wird. Außerdem besitzen UHPC bei Zugabe von Fasern eine erhöhte Zug- und Biegezugfestigkeit.



UHPC-Treppe im Belastungsversuch

## Titel

Belastungsversuch an einer Treppenkonstruktion

## Auftraggeber

Dyckerhoff AG Wiesbaden

## Zeitraum

06.2011 – 11.2011

## Leiter

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

## Projektbearbeiter

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Dipl.-Ing. Enrico Lorenz

## Durchführung

Ludwig Beier, Tino Jänke, Heiko Wachtel, Andreas Thieme, Maik Patricny, Bernd Wehner

Um die Leistungsfähigkeit eines neuartigen Materials öffentlichkeitswirksam unter Beweis zu stellen, werden oft Demonstratorobjekte realisiert. Dies war auch bei dieser in Zusammenarbeit mit der Benno Drössler GmbH & Co. Bauunternehmung KG in Siegen monolithisch hergestellten Treppe der Fall. Ein Treppenteil war insgesamt  $1,15 \text{ m}$  hoch und  $1,08 \text{ m}$  breit. Die fünf Treppenstufen waren lediglich  $29 \text{ mm}$  dick und mit einem Epoxidharzklebstoff zwischen zwei  $20 \text{ mm}$  starke Glaswangen geklebt. Um eine derartige Treppe in Gebäude integrieren zu können, muss zuerst ihre Tragfähigkeit nachgewiesen werden. Ein derartiger Test wurde nun im Otto-Mohr-Laboratorium realisiert.

Jede Stufe wurde mittig durch jeweils eine Hydraulikpresse belastet, die über Zugstangen im Hallenfußboden verankert waren. Verformungen wurden mit induktiven Wegaufnehmern und Dehnmessstreifen an ausgewählten Stellen gemessen. Insgesamt wurden fast  $110 \text{ kN}$  (das entspricht etwa  $11 \text{ Tonnen}$  Gewicht) in die Konstruktion eingeleitet. Dies entspricht einer Flächenlast von deutlich über  $70 \text{ kN/m}^2$ , was weit oberhalb der üblicherweise anzusetzenden Flächenlasten für Treppen u. ä. liegt. Das Versagen wurde schließlich durch einen Bruch im Bereich der Klebefuge zu einer Glaswange hervorgerufen.

# Versuche am geschlitzten Mauerwerk

Im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erforscht der Lehrstuhl Tragwerksplanung unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger den Einfluss von Querschnittsschwächungen infolge von Aussparungen und Schlitzen auf die Tragfähigkeit von Mauerwerk.

Um die Auswirkungen von horizontalen Schlitzen in Auflagernähe auf das Tragverhalten zu untersuchen, wurden während der Bearbeitung des Projektes einige Versuche an geschlitzten Mauerwerksprüfkörpern im Otto-Mohr-Laboratorium durchgeführt und die Ergebnisse mit entsprechenden Referenzversuchen an ungeschlitzten Prüfkörpern verglichen. Vor allem das Verhalten von Hochlochsteinen ist von besonderer Bedeutung, da hier die Außenstege der Mauerwerkssteine überproportional am vertikalen Lastabtrag beteiligt sind. Aus diesem Grunde wurden für die Versuche Planhochlochziegel verwendet.

Der Schlankheitseinfluss sollte in den Experimenten nicht berücksichtigt werden. Deshalb wurden die Prüfungen zunächst an kleinen Mauerwerkskörpern ausgeführt. Die experimentell bestimmte Bruchfestigkeit lag trotz des horizontalen Schlitzes und der damit verbundenen Querschnitts-



Versuche an geschlitzten Mauerwerksprüfkörpern

schwächung von 8 % zum Teil recht deutlich über den zuvor bestimmten theoretischen Werten.

Da dieser einfache Versuchsaufbau lediglich ein Modell widerspiegelt, welches definitionsgemäß die realen Gegebenheiten nur vereinfacht erfassen kann, wurden zur Absicherung der Versuchsergebnisse zwei Tastversuche an einem Ausschnitt des Wand-Decken-Knotens in der DB 6000 des OML durchgeführt. Der komplexe Prüfkörper bildete das Mauerwerk unter und über dem Deckenanschluss sowie ein Teilstück der Deckenplatte ab. Von besonderem Interesse waren nun die Verdrehung der Deckenplatte und die daraus resultierende außermittige Beanspruchung des Wandkopfs sowie die Lastumlagerungen im System. Die sich im Bauwerk aus der Durchbiegung einstellende Verdrehung der Deckenplatte im Auflagerbereich wurde im Versuch durch die hydraulische Absenkung des Deckenstumpfs nachgestellt. Dazu wurde auf dem Deckenstumpf über ein Lastgeschirr mit zwei Pressen eine zusätzliche Last aufgebracht, um die über die Decke in den Knoten eingetragene Kraft nachzubilden. Beide Versuchskörper wurden bis zum Bruch belastet. Das Belastungsregime sah zunächst eine sukzessive Steigerung der Auflast auf der Wand und der Decke vor. Ab einer Auflast von 300 kN wurde nur noch die durch die Druckprüfmaschine in den Prüfkörper eingetragene Last erhöht. Die Durchführung der Versuche verlief problemlos. Die Ergebnisse fließen nun in die Auswertung ein.

## Titel

Untersuchungen zur Reduzierung der Tragfähigkeit von Mauerwerk bei Schwächung des Querschnittes infolge von Aussparungen und Schlitzen

## Auftraggeber

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)

## Auftragnehmer

TU Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl für Tragwerksplanung

## Zeitraum

07.2011 – 12.2011

## Leiter

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger

## Projektbearbeiter

Dipl.-Ing. Stephan Reichel

## Versuchsdurchführung

Otto-Mohr-Laboratorium





INSTITUT

# DAS INSTITUT FÜR MASSIVBAU IN ZAHLEN UND FAKTEN

## 1 Organisationsstruktur

Zum Institut für Massivbau gehören die Lehrstühle „Massivbau“ und „Spezielle Massivbauwerke“. Die Ende 2009 eingeführte Matrixstruktur aus administrativer und fachlicher Führung wird seitdem Schritt für Schritt in die Praxis umgesetzt. Die Leitungsebene, bestehend aus den beiden Professoren, den OBERINGENIEUREN FÜR FORSCHUNG, ADMINISTRATION & PROJEKTMANAGEMENT, DER VERANTWORTLICHEN FÜR LEHRE UND DEM LEITER DES OTTO-MOHR-LABORS, wurde um die Leiterinnen der Forschungsgruppen erweitert. Damit konnten Kommunikationswege weiter verkürzt werden.

Innerhalb der Forschungsgruppen fanden regelmäßige, monatliche Projektberatungen statt, in denen der Status jedes Projektes vorgestellt und wissenschaftliche oder organisatorische Probleme diskutiert wurden. Die vierteljährlich durchgeführten Projekt-Reviews gaben sowohl der Institutsleitung als auch jedem Mitarbeiter die Gelegenheit, sich in sehr komprimierter Form über den Stand, die Erfahrungen und die Ergebnisse jedes einzelnen Projektes zu informieren. Der Inhalt der Projektberatungen und der Projekt-

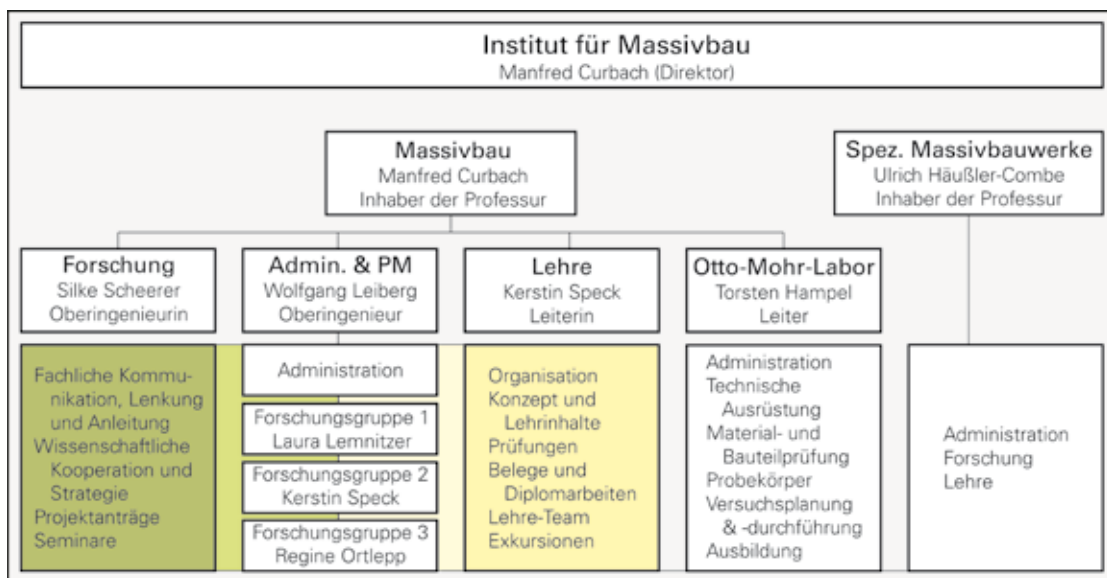
Reviews wurde allen Mitarbeitern in Form eines Monats- bzw. Quartalsberichtes zur Verfügung gestellt.

Die 2010 begonnenen Doktorandenseminare, in denen jedem Doktoranden die Möglichkeit geboten wird, seine fachlichen Ergebnisse und Problemstellungen vorzutragen und zu diskutieren, wurden 2011 fortgeführt. 2012 ist vorgesehen, die Doktorandenvorträge durch Fachvorträge zu ergänzen.

Schwerpunkt für 2012 wird der weitere Ausbau der fachlichen Kommunikation und des Erfahrungsaustausches sowie die weitere Professionalisierung des Wissenschafts- und Projektmanagements sein.

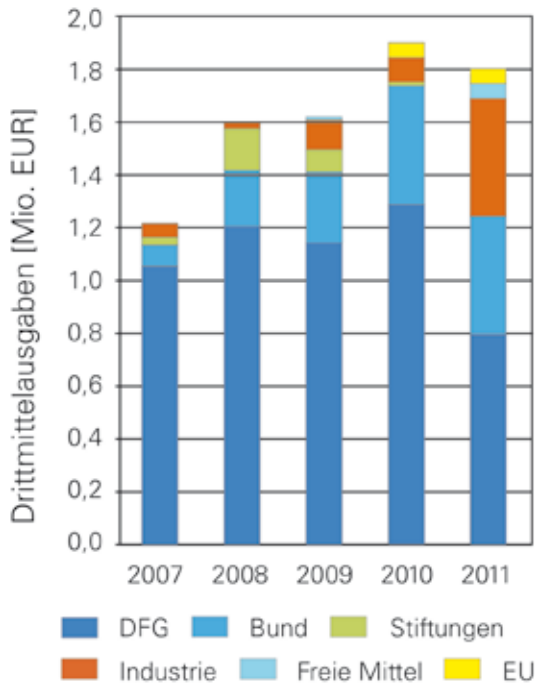
## 2 Grundausrüstung und Drittmittel

Die Grundausrüstung des Instituts für Massivbau bestand im Jahr 2011 aus 50.330 € Sachmitteln, einer Bürofläche von 550 m<sup>2</sup> und einer Laborfläche von 2.050 m<sup>2</sup>. Die Anzahl unserer Mitarbeiter blieb 2011 nahezu konstant. Das Ausscheiden

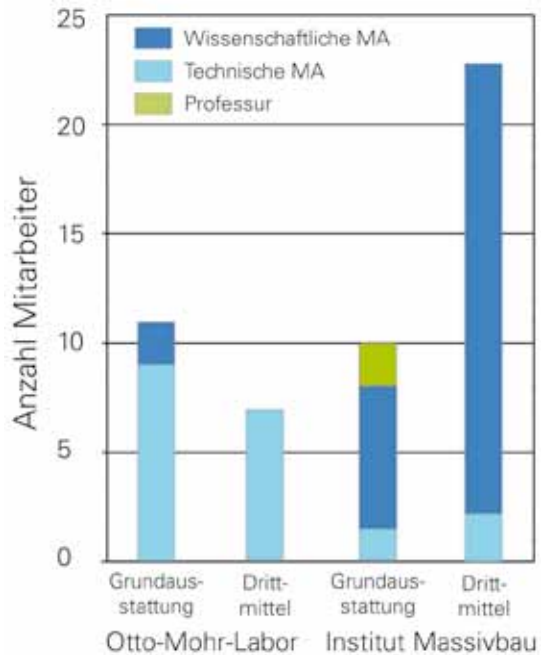


Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand: 31.12.2011)





Entwicklung der Drittmittelausgaben in den Jahren 2006 – 2011



Planstellen und Drittmittelstellen im Jahr 2011

Einiger nach erfolgter Promotion bzw. nach Berufungen an andere Forschungsstätten wurde durch Neueinstellungen ausgeglichen.

Der Drittmittelumsatz im Jahr 2011 konnte annähernd auf dem hohen Niveau des Vorjahres gehalten werden. Mit Hinblick auf das Auslaufen der finanziellen Förderung des Sonderforschungsbereiches 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) zum 30.06.2011 ist dies ein hervorragendes Resultat. Die herausragenden Forschungsergebnisse des SFB 528 sind heute die Grundlage für einen breiten Transfer in die Industrie und für die Bewilligung einer Reihe von Applikationsprojekten.

Jedes Projekt bietet dem Institut die Chance, unsere vorhandene Expertise auszuweiten. Unser guter wissenschaftlicher Ruf erleichtert es uns, neben den großen Themen Textilbeton, mehraxiale Festigkeit oder Verbund neue Themenfelder für die Forschung am Institut zu erschließen. Ein neuer Schwerpunkt ist die Forschung im 2009 von uns mitinitiierten DFG-Schwerpunktprogramm „Leicht Bauen mit Beton“ (SPP 1542), in

dessen Rahmen wir im Juli 2011 mit der Bearbeitung von zwei Teilprojekten und der Koordination des gesamten SPP begannen. Zudem ist es uns gelungen, mehrere Forschungsprojekte zum Verhalten von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten erfolgreich zu akquirieren. Die ausgezeichneten Ergebnisse, insbesondere auch des SFB 528, lassen das Institut für Massivbau zunehmend zu einem attraktiven und gefragten Partner für Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung werden.

### 3 Leistungen in der Forschung

Nach zwölf Jahren Förderung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Thema „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 528 stellt dieses Gebiet auch weiterhin einen wichtigen Forschungsschwerpunkt des Instituts dar. Was sich bereits in der letzten Förderphase abzeichnete, gewinnt nun an Dynamik: Die Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet fokussiert sich mehr und mehr auf Fragen der praktischen Anwendung des Textilbetons. Ein wichtiges Ziel stellt hierbei die Erlangung

einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung dar, was noch für das Jahr 2012 angestrebt wird. Die Arbeiten hierzu begannen bereits 2010 und erfolgen in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum Textilbeton (DZT) und dem TUDALIT e.V. Eindrucksvoll wird diese Entwicklung im starken Anstieg des Drittmittelumsatzes im Bereich Industrie deutlich.

Neben diesem langjährigen Forschungsschwerpunkt und unseren Kernkompetenzen Verbund, UHPC und mehraxiales Tragverhalten von Beton hat sich 2011 der neue Forschungsschwerpunkt Impakt auf Beton weiterentwickelt. Nach einer Reihe von Vorarbeiten mit einem einaxialen Split-Hopkinson-Bar konnten wir Ende 2011 den Aufbau des weltweit ersten zweiaxialen Split-Hopkinson-Bars abschließen.

Weiterentwicklung, Optimierung und gleichzeitige Durchführung von Messungen wird die Herausforderung für 2012 sein. Im Folgenden sind die Teilprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2011 bearbeitet wurden.

#### **SFB 528 B1: Experimentelle Ermittlung des Tragverhaltens von textilbewehrtem Beton**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.1999 – 30.06.2011

Anteilige Fördersumme: 49.400 €

#### **SFB 528 B3: Numerische Untersuchungen zum Tragmechanismus von Filamentgarnen in einer Betonmatrix**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2005 – 30.06.2011

Anteilige Fördersumme: 29.900 €

#### **SFB 528 B5: Grundlagen konstruktiver Bewehrungsdetails**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2008 – 30.06. 2011

Anteilige Fördersumme: 53.700 €

#### **SFB 528 D4: Verstärkung von normalkraft- und torsionsbeanspruchten Bauteilen mit textilbewehrtem Beton**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2005 – 30.06. 2011

Anteilige Fördersumme: 49.000 €

#### **SFB 528 D6: Brandbeständigkeit von Verstärkungen aus textilbewehrtem Beton**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2008 – 30.06. 2011

Anteilige Fördersumme: 32.700 €

(gemeinsames Teilprojekt mit dem Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstoffe)

#### **SFB 528 T6: Verfahren zur Biegeverstärkung von bestehenden Bauteilen mit textilbewehrtem Beton**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2008 – 30.06.2011

Anteilige Fördersumme: 25.300 €

(gemeinsames Teilprojekt mit dem Institut für Baubetriebswesen)

#### **SFB 528: Koordination des Sonderforschungsbereiches**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.1999 – 30.06.2011

Anteilige Fördersumme: 85.910 €

#### **Die Auswirkungen der Kombination von Querzug und Ermüdungsbeanspruchung auf den Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2006 – 31.03.2012

Anteilige Fördersumme: 133.100 €

#### **Versuchstechnische Ermittlung und mathematische Beschreibung der mehraxialen Festigkeit von Ultra-Hochfestem Beton (SPP 1182)**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.11.2005 – 30.06.2012

Anteilige Fördersumme: 146.491 €

#### **Entwicklung von formgebenden Werkzeugen aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen für die wirkmedienbasierte Blechumformung**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.04.2009 – 30.06.2012

Anteilige Fördersumme: 228.980 €

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

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

Laufzeit: 01.10.2009 – 01.12.2013  
Anteilige Fördersumme: 71.800 €

**Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi mit Projektträger GRS  
Laufzeit: 01.07.2009 – 31.12.2012  
Anteilige Fördersumme 149.508 €

**Multifunktionale Baustoffverbunde**

Förderer: AiF  
Laufzeit: 01.09.2009 – 31.05.2012  
Anteilige Fördersumme: 83.950 €

**Mehraxiale Stoffgesetze für Beton auf der Grundlage anisotroper Schädigung und Plastizität**

Förderer: DFG  
Laufzeit: 01.05.2007 – 30.04.2011  
Anteilige Fördersumme: 20.700 €

**Ermittlung des Gefährdungspotentials infolge von Spannungsrissskorrosion bei Straßenbrückenbauwerken des Landes Mecklenburg-Vorpommern**

Förderer: Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern  
Laufzeit: 01.09.2005 – 31.12.2011  
Anteilige Fördersumme: 30.000 €

**Überprüfung des Risikos der Spannungsrissskorrosion (SpRK) von Hennigsdorfer Spannstahl für den Produktionszeitraum bis 1993**

Förderer: Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern  
Laufzeit: 01.09.2009 – 30.11.2011  
Anteilige Fördersumme: 35.000 €

**Textile Carbonbewehrung bei wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen**

Förderer: AiF  
Laufzeit: 01.03.2010 – 31.10.2011  
Anteilige Fördersumme: 103.659 €

**Entwicklung einer Prinziplösung für Gebäude aus tragfähigen Textilbetonfertigteilen**

Förderer: AiF  
Laufzeit: 01.07.2010 – 31.05.2012  
Anteilige Fördersumme: 106.193 €

**Simulation von Impaktvorgängen mittels Diskrete Element Methode**

Förderer: BMWi mit Projektträger GRS  
Laufzeit: 01.10.2010 – 30.09.2013  
Anteilige Fördersumme: 59.764 €

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

Förderer: AiF  
Laufzeit: 01.07.2010 – 31.05.2012  
Anteilige Fördersumme: 76.564 €

**Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von oberflächenfertigen vollkompletierten textilbewehrten Balkonbodenplatten mit integrierter Tragelementanbindung**

Förderer: AiF  
Laufzeit: 01.07.2010 – 31.10.2011  
Anteilige Fördersumme: 100.617 €

**Grenzzustandsuntersuchungen für Gefährdungsszenarien durch Rissbildung in Betonbauteilen**

Förderer: DIBt  
Laufzeit: 01.01.2010 – 13.05.2012  
Anteilige Fördersumme: 23.324 €

**Beurteilung des Zuverlässigkeitsniveaus von Bauteilen mit kleinen Trennrissen**

Förderer: LAWA  
Laufzeit: 01.11.2010 – 31.10.2011  
Anteilige Fördersumme: 24.308 €

**Anpassung und Weiterentwicklung der Prüfmethoden für Verbundverhalten und Dauerhaftigkeit von textilbewehrtem Beton**

Förderer: TUDAG  
Laufzeit: 01.09.2010 – 30.06.2012  
Anteilige Fördersumme: 78.000 €

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

Förderer: AiF  
Laufzeit: 01.07.2011 – 31.12.2013  
Anteilige Fördersumme: 21.650 €

**Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile (SPP 1542)**

Förderer: DFG  
Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014  
Anteilige Fördersumme: 62.998 €

**Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen (SPP 1542)**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014

Anteilige Fördersumme: 63.080 €

**SPP 1542 „Leicht Bauen mit Beton“: Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit**

Förderer: DFG

Laufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014

Anteilige Fördersumme: 61.073 €

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

Förderer: DLR

Laufzeit: 01.07.2011 – 31.01.2013

Anteilige Fördersumme: 27.504 €

**Materialscreeningversuche zur Beschichtungsoptimierung von Textilbewehrung**

Förderer: SMWK

Laufzeit: 01.09.2011 – 30.04.2012

Anteilige Fördersumme: 40.000 €

## 4 Wichtige Publikationen 2011

**Beckmann, B.; Hummeltenberg, A.; Weber, T.; Curbach, M.:** Concrete under high strain rates: local material and global structure response to impact loading. *International Journal of Protective Structures* 2 (2011) 3, S. 283–294 – DOI: 10.1260/2041-4196.2.3.283

**Curbach, M.; Ortlepp, R.; Scheerer, S.; Frenzel, M.:** Verstärken mit Textilbeton – Weg von der Vision zur Anwendung. *Der Prüfenieur* 39 (2011) 39, S. 32–44

**Hartig, J.; Jesse, F.; Schicktanz, K.; Häußler-Combe, U.:** Influence of experimental setups on the apparent uniaxial tensile load-bearing capacity of Textile Reinforced Concrete specimens. *Materials and Structures* 44 (2011) 3, S. 433–446

**Hummeltenberg, A.; Beckmann, B.; Weber, T.; Curbach, M.:** Betonplatten unter Stoßbelastung – Fallturmversuche. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 3, S. 160–168 – DOI: 10.1002/best.201000083

**Kitzig, M.; Häußler-Combe, U.:** Modeling of plain concrete structures based on an anisotropic damage formulation. *Materials and Structures* 44 (2011) 10, S. 1837–1853

**Lindorf, A.; Curbach, M.:** Slip behaviour at cyclic pullout tests under transverse tension. *Construction and Building Materials* 25 (2011) 8, S. 3617–3624 – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.057

**Ortlepp, R.; Lorenz, A.; Curbach, M.:** Umschnüpfungswirkung textilbewehrter Verstärkungen im Lasteinleitungsbereich von Stützen in Abhängigkeit von der Geometrie. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 7, S. 490–500 – DOI: 10.1002/best.201100018

**Ortlepp, R.; Schladitz, F.; Curbach, M.:** Textilbetonverstärkte Stahlbetonstützen. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 9, S. 640–648 – DOI: 10.1002/best.201100017

**Schacht, G.; Bolle, G.; Marx, S.:** Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Stahlbetonbauteilen ohne Querkraftbewehrung. *Bau-technik* 88 (2011), S. 757–764 – DOI: 10.1002/bate.201101517

**Schladitz, F.; Lorenz, E.; Curbach, M.:** Biegetragfähigkeit von textilbetonverstärkten Stahlbetonplatten. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 6, S. 377–384 – DOI: 10.1002/best.201100002

## 5 Die wichtigsten Konferenzbeiträge 2011

**Brückner, A.; Ortlepp, R.; Schladitz, F.; Curbach, M.:** Großversuche zur Prüfung der Vorhersagefähigkeit der im SFB 528 entwickelten Rechenmodelle. In: Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): *Textilbeton in Theorie und Praxis: Tagungsband zum 6. Kolloquium zu Textilbewehrten Tragwerken (CTRS6) in Berlin am 19.-20.09.2011*. Eigenverlag, 2011, S. 413–428 – URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-78065>

**Curbach, M.; Scheerer, S.:** Concrete light – Possibilities and Visions. In: Šrůma, V. (Ed.): *Proceedings of the fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency, 08.-10.06.2011, Keynote Plenary Lecture, DVD-ROM, S. 29–44* – ISBN 978-80-87158-29-6

**Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.; Kühn, T.:** Modelling of Concrete Behavior under High Strain Rates with a Damaged Viscoelstisc Approach. In: *Proceedings of 2nd International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures (CFRAC 2011)*. Barcelona, Spain : International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), 2011

**Lorenz, E.; Ortlepp, R.:** Bond Behavior of textile reinforcements - development of a Pull-out test and modelling of the respective Bond versus slip relation. In: G. J. Parra-Montesinos; Reinhardt, H. W.; Naaman, A. E. (Hrsg.): *Proceedings of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 6 – HPFRCC 6, Ann Arbor, 19.-22.6.2011*. Springer, RILEM Bookseries, Volume 2, 2012, S. 479–486 – ISBN 978-94-007-2435-8 – doi: 10.1007/978-94-007-2436-5

**Ritter, R.; Curbach, M.:** Dehnungsmessung mit unterschiedlichen Messverfahren bei einaxialer Zug- und Druckbeanspruchung von kurzfaserverwehrttem Ultrahochleistungsbeton. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): *6. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen. Tagungsband zum Symposium am 09.09.2011 in Dresden, Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 24, Institut für Massivbau der TU Dresden : Eigenverlag, 2011, S. 57–68* – ISSN 1613-6934

## 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-Studienganges bzw. Aufbaustudienganges Bauingenieurwesen (BIW) werden vom Institut für Massivbau auch Lehrveranstaltungen im englischsprachigen Masterstudiengang „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies“ (ACCESS), im Studiengang Wasserwirtschaft (WaWi), Wirtschaftsingenieurwesen (WiWi) und Erziehungswissenschaften (EW) angeboten.

<b>Veranstaltung</b>	<b>Art</b>	<b>Sem.</b>	<b>Vortragender</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.	Schwiteilo	2	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	V	7.	Schacht	2	BIW
Massivbrückenbau	V	7.	Jesse	2	BIW
Schräggabelbrücken	V	7.	Svensson	1	BIW
Nachhaltige Tragwerksplanung	V	7.	Speck	1	BIW
Computational Engineering im Massivbau	V/Ü	7.	Häußler-Combe	2/1	BIW
Projektarbeit	B	9.	Schacht, Schröder, Schwiteilo, Ehlig	2	BIW

Tab. 1: Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2010 / 2011

<b>Veranstaltung</b>	<b>Art</b>	<b>Sem.</b>	<b>Vortragender</b>	<b>SWS</b>	<b>Studiengang</b>
Stahlbetonbau	V	4.	Speck	2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Speck, Ritter	2/2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Scheerer, Just	2/2	Wawi, WiWi
Stahlbetonkonstruktionslehre	V/Ü	6.	Häußler-Combe, Michler	2/1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V/Ü	8.	Schwiteilo, Schröder	1/3	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	Ü	8.	Schacht, Ortlepp	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.	Michler, Schacht, Ortlepp	2/1	ACCESS

Tab. 2: Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2011

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

Tab. 3: Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2011 / 2012

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, Diplom- und Masterarbeiten lernen die Stu-

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

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

Tab. 4: Anzahl Diplomarbeiten am Institut für Massivbau in den Jahren 2005 – 2011

## 7 Wissenschaftlicher Nachwuchs

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

diesem Weg ist Aufgabe der Institutsleitung und der Forschungsgruppenleiter. Ein messbares Ergebnis dieses mehrjährigen Prozesses ist letztlich die erfolgreiche Promotion.

Im zurückliegenden Jahr 2011 verteidigten – in chronologischer Reihenfolge – Jens Hartig, Mirko Kitzig, Alexander Lindorf, Anett Brückner und Frank Schladitz erfolgreich ihre Arbeiten. Derzeit haben 15 wissenschaftliche Mitarbeiter das Ziel, am Institut für Massivbau zu promovieren.

### Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2006 – 2011

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Promotionen	2	3	2	4	1	5

### Promotionen als Erstgutachter 2011 (in chronologischer Reihenfolge)

#### Jens Hartig

Numerical investigations on the uniaxial tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete

#### Mirko Kitzig

Eine anisotrope, schädigungsmechanische Materialbeschreibung zur Simulation des Tragverhaltens unbewehrter Betonstrukturen

#### Alexander Lindorf

Ermüdung des Verbundes von Stahlbeton unter Querzug

#### Anett Brückner

Querkraftverstärkung von Bauteilen mit textilbewehrtem Beton

#### Frank Schladitz

Torsionsverhalten von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen

### Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2006 – 2011

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Promotionen	3	5	2	5	1	1

### Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2011

#### Jiabin Li

Development and Validation of a New Material Model for Concrete on the Basis of Microplane Theory



## 8 Austausch und Zusammenarbeit

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

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

Im Rahmen des EU-Förderprogramms „Marie Curie – International Outgoing Fellowship“ absolvierte Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx bis März 2011 einen mehrmonatigen Aufenthalt an der University of California in San Diego. Er beschäftigte sich dort im Department of Structural Engineering mit dem Thema „Impact Loads“.

Der Institutsdirektor und Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, ist Chefredakteur der Schriftenreihe „Konstruktiver Ingenieurbau Dresden (KID)“ sowie Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der Zeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“. Des Weiteren war Prof. Curbach bis zum 30.06.2011 Sprecher des SFB 528. Außerhalb der TU Dresden fungiert Prof. Curbach als Sprecher des engeren Vorstands des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) sowie als Leiter der Deutschen Delegation des Internationalen Beton-Verbandes fib (federation internationale du beton). Er arbeitet im Landesfachausschuss der CDU „Wirtschaftspolitik, Wissenschaft und Innovation“ sowie im Materialforschungsverbund Dresden e. V. mit.

Der Inhaber des Lehrstuhls für Spezielle Massivbauwerke, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, ist ECTS-Beauftragter (European Credit Transfer System) der Fakultät Bauingenieurwesen, Mitglied der Graduiertenkommission

der TU Dresden und Mitglied des Promotionsausschusses der Fakultät Bauingenieurwesen. Außerhalb der Technischen Universität Dresden ist Prof. Häußler-Combe Mitglied im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, in der German Association for Computational Mechanics, in der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik und im Verein der Straßenbau- und Verkehrsingenieure.

Als Dienstleistung für andere Universitäten und Institute erstellt das Institut für Massivbau Gutachten im Rahmen von Berufungsverfahren. 2011 wurden durch Prof. Manfred Curbach folgende Gutachten erstellt:

- Gutachten im Rahmen des Promotionsverfahrens zur Verleihung der Ehrendoktorwürde der Universität Stuttgart an den amerikanischen Ingenieur William F. Baker, der u. a. durch die Konstruktion des Burj Khalifa – des heute höchsten Gebäudes der Welt – bekannt geworden ist.
- Gutachten zur Vergabe der Juniorprofessur „Experimenteller Massivbau“ an der TU Kaiserslautern.

## 9 Tagungen und Kongresse

### 21. Dresdner Brückenbausymposium

Zeitraum: 07.03. – 08.03.2011

Leitung: Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke in Zusammenarbeit mit dem Verein „Freunde des Bauingenieurwesens der TU Dresden e. V.“ und der TUDIAS GmbH

Teilnehmer: 1470 (international)

### 6. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken – CTRS6 und 3. Anwendertagung Textilbeton

Zeitraum: 19.09. – 20.09.2011

Veranstalter: Sonderforschungsbereich 528  
Sonderforschungsbereich 532  
TUDALIT Markenverband e.V.

Teilnehmer: 159 (international)

### 6. Symposium „Experimentelle Untersuchung von Baukonstruktionen“

Zeitraum: 09.09.2011

Veranstalter: Institut für Massivbau;  
TUDIAS GmbH

Teilnehmer: 85 (international)



Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich beim 6. SEUB

## 10 Anerkennungen

Im Jahr 2011 wurden einige der hervorragenden Leistungen des Instituts für Massivbau geehrt.

### Preis der Sächsischen Bauindustrie

Dipl.-Ing. Matthias Quast

Diplomarbeit: „Erarbeitung eines Brückenentwurfes für eine wartungsarme Fußgängerbrücke in Ruanda unter Berücksichtigung der hiesigen Gegebenheiten und Verwendung lokaler Baustoffe“

Verleihende Einrichtung: Bauindustrieverband Sachsen/Sachsen-Anhalt e. V.

### Gottfried-Brendel Preis

Dipl.-Ing. André Reichardt

Großer Beleg: „Untersuchung von fußgängerinduzierten Schwingungen an 2 Spannbetonbrücken in Köln und Erarbeitung eines Sanierungskonzepts“

Verleihende Einrichtung: Bilfinger Berger AG

### Beyer-Preis

Dr.-Ing. Silke Scheerer

Dissertation zum Thema „Hochleistungsleichtbeton unter mehraxialer Druckbeanspruchung. Eine experimentelle Analyse“

Verleihende Einrichtung: HOCHTIEF Construction AG

### Innovationspreis Bautechnik

Frank Schladitz M. Sc.

„Torsionsverhalten von textilbewehrten Stahlbetonbauteilen“

Verleihende Einrichtung: Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e. V.



Frank Schladitz bei der Preisverleihung.  
[Bild: Andreas Lander]



## PROMOTIONEN

Alexander Lindorf (01.12.2011)

### Ermüdung des Verbundes von Stahlbeton unter Querzug

Im Mittelpunkt der Arbeit steht die gezielte Analyse des Verbundverhaltens zwischen Bewehrungsstahl und Beton unter kombinierter Beanspruchung aus Ermüdung und Querzug. Den Hintergrund bilden Stahlbetonbauteile, wie z. B. Fahrbahnplatten von Verbundbrücken, welche einen zweiachialen Lastabtrag unter nicht vorwiegend ruhenden Belastungen aufweisen.

Die Untersuchungen für normal- und hochfesten Beton erfolgten an Ausziehkörpern mit einem durch Querzugspannungen hervorgerufenen Längsriss entlang des Bewehrungsstabes. Das Versuchsprogramm beinhaltete hochzyklische Schwellversuche mit unterschiedlichen Schwingspielen und variierenden Längsrissbreiten bis zu einer Million Lastwechsel. Anhand der Entwicklung des Schlupfes zwischen Bewehrungsstab und Beton konnte eine deutliche Abhängigkeit

des Verbundwiderstandes vom Querzug beobachtet werden.

Aufbauend auf der Schlupfentwicklung erfolgt die Ableitung von normierten Wöhlerlinien der Verbundermüdung. Diese Wöhlerlinien können direkt in Beziehung zu den Wöhlerlinien der Betonstahlermüdung gesetzt werden und vereinfachen die Erstellung von Dauerfestigkeitsdiagrammen für Bemessungszwecke. Es wird deutlich, dass die Ermüdungsfestigkeit des Verbundes durch das Vorhandensein eines Längsrisses gegenüber der Betonstahlermüdung verstärkt an Bedeutung gewinnt.

Jens Hartig (27.01.2011)

## Numerical investigations on the uniaxial tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete

*In the present work, the load-bearing behaviour of Textile Reinforced Concrete (TRC), which is a composite of a fine-grained concrete matrix and a reinforcement of high-performance fibers processed to textiles, exposed to uniaxial tensile loading was investigated based on numerical simulations. The investigations are focussed on reinforcement of multi-filament yarns of alkali-resistant glass. When embedded in concrete, these yarns are not entirely penetrated with the cementitious matrix, which leads associated with the heterogeneity of the concrete and the yarns to a complex load-bearing and failure behaviour of the composite. The main objective of the work was the theoretical investigation of effects in the load-bearing behaviour of TRC, which cannot be explained solely by available experimental results. Therefore, a model was developed, which can describe the tensile behaviour of TRC in different experimental test setups with a unified approach.*

*Neglecting effects resulting from Poisson's effect, a one-dimensional model implemented within the framework of the Finite Element Method was established. Nevertheless, the model takes also transverse effects into account by a subdivision of the reinforcement yarns into so-called segments.*

*The model incorporates two types of finite elements: bar and bond elements. In longitudinal direction, the bar elements are arranged in series to represent the load-bearing behaviour of matrix or reinforcement. In transverse direction these bar element chains are connected with bond elements. The model gains most of its complexity from non-linearities arising from the constitutive relations, e. g., limited tensile strength of concrete and reinforcement, tension softening of the concrete, waviness of the reinforcement and non-linear bond laws. Besides a deterministic description of the material behaviour, also a stochastic formulation based on a random field approach was introduced in the model. The model has a number of advantageous features, which are provided in this combination only in a few of the existing models concerning TRC. It provides stress distributions in the reinforcement and the*

*concrete as well as properties of concrete crack development like crack spacing and crack widths, which are in some of the existing models input parameters and not a result of the simulations. Moreover, the successive failure of the reinforcement can be studied with the model. The model was applied to three types of tests, the filament pull-out test, the yarn pullout test and tensile tests with multiple concrete cracking.*

*The results of the simulations regarding the filament pull-out tests showed good correspondence with experimental data. Parametric studies were performed to investigate the influence of geometrical properties in these tests like embedding and free lengths of the filament as well as bond properties between filament and matrix. The presented results of simulations of yarn pull-out tests demonstrated the applicability of the model to this type of test. It has been shown that a relatively fine subdivision of the reinforcement is necessary to represent the successive failure of the reinforcement yarns appropriately. The presented results showed that the model can provide the distribution of failure positions in the reinforcement and the degradation development of yarns during loading. One of the main objectives of the work was to investigate effects concerning the tensile material behaviour of TRC, which could not be explained, hitherto, based solely on experimental results. Hence, a large number of parametric studies was performed concerning tensile tests with multiple concrete cracking, which reflect the tensile behaviour of TRC as occurring in practice. The results of the simulations showed that the model is able to reproduce the typical tripartite stress-strain response of TRC consisting of the uncracked state, the state of multiple matrix cracking and the post-cracking state as known from experimental investigations. The best agreement between simulated and experimental results was achieved considering scatter in the material properties of concrete as well as concrete tension softening and reinforcement waviness.*

Mirko Kitzig (20.10.2011)

## Eine anisotrope, schädigungsmechanische Materialbeschreibung zur Simulation des Materialverhaltens unbewehrter Betonstrukturen

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und Validierung eines mechanisch-mathematischen Modells zur Simulation des Tragverhaltens quasi-statisch belasteter, unbewehrter Betonstrukturen. Mit dem entwickelten Modell werden charakteristische Betoneigenschaften wie Entfestigung unter Zug- oder Druckbeanspruchungen sowie die belastungsinduzierte Anisotropie als Folge von Rissbildung, -wachstum und -zusammenschlüssen erfasst.

Grundlage der Materialbeschreibung ist die makroskopische Betrachtungsweise des heterogenen Betongefüges, um die Anwendbarkeit auf die Simulation gesamter Tragwerke zu ermöglichen. Zur Darstellung des Werkstoffverhaltens auf der makroskopischen Ebene wird die Schädigungstheorie als Teilgebiet der Kontinuumsmechanik gewählt. Das Phänomen der Rissbildung und -entwicklung wird dabei nicht durch diskret modellierte Risse, sondern durch die Beschreibung der Degradation der elastischen Kennwerte des homogenisierten Materials berücksichtigt. Zu diesem Zweck wird ein symmetrischer Integritätstensor zweiter Stufe als innere Variable in das Modell eingeführt, welcher die Beschreibung von Schädigung in drei zueinander orthogonalen Materialrichtungen erlaubt. Die phänomenologisch motivierte Formulierung der Schädigungsentwicklung basiert auf der spektralen Zerlegung des inkrementellen Integritätstensors. Sowohl dessen Evolution als auch die vorgeschlagenen, gekoppelten Schädigungsgrenzbedingungen werden in Abhängigkeit der Eigenwerte und Hauptrichtungen des Dehnungstensors beschrieben.

Um bei Strukturberechnungen auf der Basis der Finite-Elemente-Methode Ergebnisse zu erhalten, welche unabhängig von der gewählten Diskretisierung sind, werden Regularisierungsansätze formuliert und im Hinblick auf ihre praktische Anwendbarkeit bewertet. Der neuartige, lokale, bruchenergiebasierte Ansatz erweist sich dabei als numerisch robust und leicht implementierbar, eignet sich jedoch nicht zur Bestimmung der Ausdehnung der Prozesszone in der Simulation. Dies wird hingegen bei Verwendung der untersuchten nichtlokalen Methode vom Integraltyp möglich,

allerdings auf Kosten eines höheren numerischen Aufwands und längerer Rechenzeiten.

Die Anwendbarkeit des entwickelten Schädigungsstoffgesetzes und der Regularisierungsansätze auf mehraxiale Problemstellungen mit komplexen Randbedingungen und Belastungen wird anhand von Finite-Elemente-Simulationen gut dokumentierter Versuche an unbewehrten Betonbauteilen nachgewiesen. Experimentelle Ergebnisse in Form von Last-Verschiebungskurven können grundsätzlich zutreffend numerisch wiedergegeben werden. Die netzunabhängige Darstellung gekrümmter Risspfade gelingt dagegen nur bei Verwendung der nichtlokalen Schädigungsformulierung.

Das entwickelte Stoffgesetz basiert auf einer geringen Anzahl vorzugebender Materialkennwerte, welche zudem unmittelbar aus den Normen entnommen oder aus einfachen Belastungsversuchen ermittelt werden können. Damit ist die Verständlichkeit für Anwender ohne umfangreiche materialtheoretische Kenntnisse gewährleistet.

Anett Brückner (16.12.2011)

## Querkraftverstärkung von Bauteilen mit textilbewehrtem Beton

Die Querkrafttragfähigkeit eines Bauteils kann durch verschiedene Maßnahmen gesteigert werden. Zu den weltweit anerkannten Verfahren gehört das oberflächige Aufkleben von Bewehrungen aus Stahl oder Faserverbundkunststoffen. Der textilbewehrte Feinbeton hingegen ist eine noch weitgehend unbekannt Alternative. Es fehlen systematische Untersuchungen zum Tragverhalten einer solchen Querkraftverstärkung ebenso wie geeignete Bemessungsmodelle.

Ziel der Arbeit war es, die Möglichkeiten einer textilbewehrten Querkraftverstärkung zu analysieren. An Stahlbetonbalken unterschiedlicher Querschnittsgeometrie wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt, die Aufschluss über die Wirkung der Verstärkung sowie typische Versagenszustände geben.

Die für die Querkrafttragfähigkeit entscheidenden Verformungen des Steges wurden durch photogrammetrische Messungen erfasst. Der Vergleich der verstärkten und unverstärkten Probekörper verdeutlicht signifikante Unterschiede. Bei den verstärkten Probekörpern ist die Stauchung des gemittelten Hauptdehnungszustandes steiler geneigt als bei den unverstärkten Probekörpern. Die steilere Neigung der Hauptstauchung, aufgrund der aufgebracht Verstärkung, hat nach der rechnerischen Tragfähigkeit des Fachwerkmodells zur Folge, dass weniger Lasten über die Stahlbügelbewehrung abgetragen werden können. Die so fehlende Tragfähigkeit gegenüber dem unverstärkten Bauteil muss die Verstärkungsschicht zunächst ausgleichen, bevor eine Traglaststeigerung möglich ist.

Als zweite wesentliche Wirkung begrenzt die textile Bewehrung die Breite der auftretenden Schubrisse, wie anhand der gemessenen Rissbreiten nachgewiesen werden konnte. Die Verstärkung verzögert auftretende Schubrisse und begrenzt deren Breite und Ausdehnung. Ein Versagen der Biegedruckzone durch Schubdruckbruch tritt so erst bei deutlich höheren Lasten ein als es bei unverstärkten Stahlbetonbauteilen der Fall ist.

Nach dem herkömmlichen Fachwerkmodell der Stahlbügelbewehrung sind die Stegbewehrungen eines Bauteils in der Biegedruckzone zu verankern. Externe Querkraftverstärkungen können aber nur selten oder nur mit hohem Aufwand bis zur Höhe der Biegedruckzone geführt werden. Meist behindern anschließende Querschnittsteile die Erreichbarkeit zur Druckzone.

Für die experimentellen Untersuchungen wurden die Probekörper mit einer U-förmigen Verstärkung außerhalb der rechnerischen Biegedruckzone versehen. Die geprüften Tragfähigkeiten lagen dennoch deutlich über der Tragfähigkeit der unverstärkten Referenz. Eine Verankerung der Verstärkung am Steg des Bauteils scheint demnach möglich.

Das Kräftegleichgewicht einer solchen Verankerung wurde mit einem neu entwickelten Stabwerkmodell nachgewiesen. Die Eignung des Modells zur Berechnung der Tragfähigkeit der Verstärkung wurde durch Nachrechnung der eigenen Versuche geprüft.

Zusätzliche konstruktive Maßnahmen zur Verankerung der Verstärkung wurden an separaten Verbundprobekörpern untersucht. Es wurden verschiedene Verankerungsmittel geprüft, die durch Querdruck die Tragfähigkeit der Verbundfuge von Alt- und Feinbeton erhöhen. Die besten Ergebnisse erreichten Verankerungen mit vorgespannten Ankern. Die Steigerung der Verbundtragfähigkeit ist allerdings gering, da die notwendigen Bohrungen für die Anker die wirksame Fläche der textilen Bewehrung schwächen.

Frank Schladitz (20.12.2011)

## Torsionstragverhalten von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen

In den vergangenen 15 Jahren wurde vorrangig im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 528 die Verstärkung bestehender Stahlbetonkonstruktionen mit Textilbeton erforscht. Untersuchungen des Textilbetons, welcher aus einem Feinbeton und einer textilen Bewehrung besteht, erfolgten u. a. in Bezug auf seine Wirkung als Biege-, Querkraft- und Normalkraftverstärkung.

Die vorliegende Arbeit befasst sich nach Kenntnis des Aufstellers erstmals mit dem Torsionstragverhalten von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen. Sie soll somit einen Einstieg in die Thematik schaffen und einen grundlegenden Beitrag für die Forschung sowie die Anwendung des Textilbetons in der Praxis leisten.

In einem Überblick zum Stand des Wissens werden Möglichkeiten der Verstärkung sowie allgemeine Eigenschaften der verwendeten Bau- und Verbundstoffe vorgestellt. Des Weiteren erfolgt eine Erläuterung der bereits von anderen Wissenschaftlern durchgeführten experimentellen und theoretischen Untersuchungen zum Torsionstragverhalten von Stahlbetonbauteilen.

Für die eigenen experimentellen Untersuchungen war aufgrund der Erkenntnisse aus dem Stand des Wissens zunächst ein neuer Versuchsstand zu entwickeln. Dessen Konstruktion ermöglicht es, reine Torsionsbelastungen in die Probekörper einzuleiten, und er ist gleichzeitig so flexibel, dass er für die Untersuchung verschiedener Probekörperquerschnitte genutzt werden kann.

Nach der Darstellung des neuen Versuchsstandes werden die Ergebnisse der 67 durchgeführten Versuche präsentiert. Diese beinhalten u. a. grundlegende Zusammenhänge zwischen dem Torsionstragverhalten und der Menge, der Anordnung und dem Material der Verstärkung sowie der Bauteilgeometrie aber auch des Zusammenwirkens der textilen Bewehrung mit der Stahlbewehrung.

Ein wesentliches Ergebnis der theoretischen Untersuchungen ist ein Ingenieurmodell zur Bestimmung der Torsionstragfähigkeit (Bruch-

moment) der verstärkten Stahlbetonbauteile. Für dieses Modell werden – wie im Stahlbetonbau – Stabwerke verwendet, in welche die Geometrie der Bauteile und die Eigenschaften der Baustoffe einfließen.

Weiterhin wurde ein erster handhabbarer Berechnungsansatz zur Abschätzung des Rissmomentes erarbeitet. Die dafür angestellten Überlegungen zum Zusammenwirken des Altbetonkerns und der Feinbetonummantelung sowie der rissunterdrückenden Wirkung der textilen Bewehrung sind ausführlich zusammengefasst.

Zur Abschätzung der Verformungen im Zustand I und II werden Ansätze aus dem Stahlbetonbau überarbeitet, so dass sie auch bei verstärkten Stahlbetonbauteilen Anwendung finden können.

In dem abschließend aufgestellten Bemessungsvorschlag fließen der Stand des Wissens sowie die Erkenntnisse aus den experimentellen und theoretischen Untersuchungen zusammen.

In der Zusammenfassung und dem Ausblick wird verdeutlicht, dass mit dieser Arbeit nicht nur ein Einstieg in das Thema Torsionsverstärkung mit Textilbeton geschaffen wurde, sondern mit den Ergebnissen bereits ein begrenzter Einsatz in der Baupraxis denkbar ist. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgezeigten offenen Fragestellungen sollten jedoch im Rahmen fortführender vertiefender Forschungsarbeiten ausführlich untersucht werden.

# Mit „zerstörungsfreiem Nachdenken“ zur Weiterentwicklung des Massivbaus beigetragen

## Ehrendoktorwürde der TU Kaiserslautern für Prof. Manfred Curbach

Am 15. November 2011 erhielt Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach die Ehrendoktorwürde des Fachbereiches Bauingenieurwesen der Technischen Universität Kaiserslautern. Der 55 Jahre alte Hochschullehrer der Technischen Universität Dresden ist einer der führenden deutschsprachigen Wissenschaftler auf dem Gebiet des Stahlbeton- und Spannbetonbaus. In einem Festakt überreichte der Präsident der TU Kaiserslautern, Prof. Helmut J. Schmidt, die Urkunde. Gemeinsam mit dem Dekan des Fachbereiches, Prof. Wolfgang Kurz, konnte er eine große Zahl an Gästen willkommen heißen. Die Laudatio hielt der Leiter des Fachgebietes Massivbau und Baukonstruktion, Prof. Jürgen Schnell.

Entscheidend für die Vergabe der Ehrendoktorwürde an Prof. Manfred Curbach waren seine herausragenden wissenschaftlichen Erfolge im konstruktiven Ingenieurbau, seine Verdienste bei der konsequenten Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Baupraxis und seine vorbildliche Persönlichkeit. Als Sprecher des Sonderforschungsbereiches "Textilbeton" der Deutschen Forschungsgemeinschaft hat er ganz wesentlich zur grundlegenden Erforschung einer neuen Bauart beigetragen. Aktuell ist er Sprecher des von ihm mitinitiierten DFG-Schwerpunktprogramms 1542 "Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien", in dem



Verleihung der Ehrendoktorwürde in Kaiserslautern: TU-Präsident Prof. Dr. Helmut J. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach und Dekan Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz (v.l.n.r.).





Präsident der TU Kaiserslautern,  
Prof. Dr. Helmut J. Schmidt



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



Laudator Prof. Dr.-Ing.  
Jürgen Schnell

etwa 50 Wissenschaftler von elf Technischen Universitäten zusammenarbeiten. Weiterhin ist er führend in der Erforschung des mehraxialen Tragverhaltens des Werkstoffes Beton.

„Eine solche Ehrung wird nur den Besten in einer Generation von Ingenieuren zuteil,“ sagte Prof. Wolfgang Kurz, der amtierende Dekan des 2011 neugegründeten Fachbereichs Bauingenieurwesen in Kaiserslautern. Es war die erste Ehrenpromotion des noch jungen Fachbereichs – aber eine, auf die man stolz sei, wie Prof. Jürgen Schnell in seiner viel beachteten Laudatio sagte. Dort fasste er das Wirken des Ehrenpromovenden wie folgt zusammen: „In von mir ungezählten Forschungsvorhaben mit unterschiedlichsten Förderquellen hat Curbach darüber hinaus zusammen mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wertvolle Beiträge zur Weiterentwicklung unserer Bauart geliefert – auf Basis experimenteller Untersuchungen, aber auch durch zerstörungsfreies Nachdenken.“

Das „zerstörungsfreie Nachdenken“ führe zu Visionen, die Curbach mit einem „Blickwinkel – wie der Schalenbauer Heinz Isler in solchen Fällen zu sagen pflegte – von mindestens 2 x 360°“ angehe, allerdings nicht alleine, sondern kooperativ mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die er „mitnimmt auf dem Weg zu neuen und fernen Ufern“.

Curbach verkörpere den Typ des am Wahren Interessierten, er sei allgemeingebildet und bildungshungrig: „einer der sich für das Woher und Wohin interessiert – jemand, der im Professorenerberuf genau die richtige Profession gefunden hat“, sagte Jürgen Schnell. Curbachs Fähigkeiten als Netzwerker hätten ihn zum anerkannten Moderator innerhalb des deutschsprachigen Massivbaus und darüber hinaus gemacht. „So ist eine positive Grundstimmung die Folge, um die uns einige andere Disziplinen beneiden,“ sagte Prof. Schnell.

Professor Curbach bekleidet eine Vielzahl von Ehrenämtern. Der frühere Vorsitzende der VDI-Gesellschaft Bautechnik ist seit 2004 Vorsitzender des Vorstandes des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton und hat damit das höchste national zu vergebende Ehrenamt im Betonbau inne. Er ist Leiter der deutschen Delegation bei der weltweiten „*fédération internationale du béton*“. Er war Mitglied im Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft und mehrere Jahre lang als Prorektor der TU Dresden für die strategische Ausrichtung seiner Universität zuständig.

Zur Technischen Universität Kaiserslautern unterhält Professor Curbach seit vielen Jahren enge Beziehungen, die sich in einer intensiven wissenschaftlichen Zusammenarbeit auf unterschiedlichsten Ebenen niedergeschlagen haben.



## PUBLIKATIONEN 2011

### Monografien

- Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2010 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Eigenverlag, 2011, 116 S.
- Curbach, M.; Hampel, T.; Scheerer, S.; Speck, K.: Experimentelle Analyse des Tragverhaltens von Hochleistungsbeton unter mehraxialer Beanspruchung. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb-Heft 578 (2011)
- Curbach, M. (Hrsg.): Hans-Volker Mixsa – Skulpturen in Beton. Katalog zu einem Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG mit Fotos und Texten von Ulrich van Stipriaan, Eigenverlag : Dresden, 2011, 40 S.
- Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T.: 6. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen. Tagungsband zum Symposium am 09.09.2011 in Dresden. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 24, Institut für Massivbau der TU Dresden : Eigenverlag, 2011, 252 S. – ISSN 1613-6934
- Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): Textilbeton in Theorie und Praxis: Tagungsband zum 6. Kolloquium zu Textilbewehrten Tragwerken (CTRS6), Berlin, 19.-20.09.2011 – SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden : Eigenverlag, 2011, 444 S. – ISBN 978-3-86780-245-1, URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-77684>
- Hartig, J.: Numerical Investigations on the Uniaxial Tensile Behaviour of Textile Reinforced Concrete. Dissertation, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2011, veröffentlicht unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-66614> und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden, Heft 23, Institut für Massivbau der TU Dresden : Eigenverlag, 2011, 202 S. – ISSN 1613-6934

- Jesse, D.: Tragverhalten von textilbewehrtem Beton unter zweiachialer Zugbeanspruchung. Dissertation, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2011 – URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-69387>
- Stritzke, J. (Hrsg.): 21. Dresdner Brückenbausymposium · Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. Tagungsband zum Symposium am 07.-08.03.2011 in Dresden, Eigenverlag; Technische Universität Dresden, 2011, 310 S. – ISBN 987-3-86780-211-6

### Ausgewählte Forschungsberichte

- Curbach, M.; Häußler-Combe, U.; Jesse, F.; Ortlepp, R. et al.: Abschlussberichte zu den Teilprojekten B1, B3, B5, C1, D4, D6, T6, Z des SFB 528 für den Zeitraum von 2008/2-2011/1. In: Sonderforschungsbereich 528: Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung – Abschlussbericht für die Periode 2008/2-2011/1, Technische Universität Dresden, 11/2011, 222 S.
- Curbach, M.; Michler, H.: Dünne Betondecken auf Brücken mit Übergangskonstruktionen. Abschlussbericht zum Vorhaben FE 08.191/2007/CGB BAST, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2011, 274 S.
- Curbach, M.; Michler, H. et al: Textile Carbon-Bewehrung bei wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen. Abschlussbericht zum Vorhaben Aif KF250560 SU9, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2011, 517 S.
- Lemnitzer, L.; Schröder, S.; Curbach, M.: Der Einfluss von Querzug auf die Rissbildung und den Verbund zwischen Beton und Bewehrung in Stahl- und Spannbetoncontainments. Abschlussbericht. Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2011, 367 S.

- Marx, S.; Schacht, G.; Koschitzki, R.; Maas, H.-G.; Bolle, G.: Versuchsgrenzlastindikatoren bei Belastungsversuchen. Abschlussbericht. Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2011 – URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-76111>
- Beiträge in Zeitschriften oder Monografien etc.**
- Beckmann, B.; Hummeltenberg, A.; Weber, T.; Curbach, M.: Concrete under high strain rates: local material and global structure response to impact loading. *International Journal of Protective Structures* 2 (2011) 3, S. 283–294 – DOI: 10.1260/2041-4196.2.3.283
- Brückner, A.: Alternative Verstärkung für ermüdungsbeanspruchte Bauwerke – Textilbeton als wirtschaftliche Alternative zu bisherigen Verfahren. *TUDALIT®-Magazin* Nr. 5 (09/2011), S. 4
- Cherif, C.; Curbach, M.; Engler, T.; Brückner, A.: Organisch gestaltbare Brandschutzbekleidungen aus textilbewehrten Baustoffverbunden. *Beton-Werk International* 2011, H. 4, S. 200–206
- Curbach, M.; Ortlepp, R.; Scheerer, S.; Frenzel, M.: Verstärken mit Textilbeton – Weg von der Vision zur Anwendung. *Der Prüfmagazin* 39 (2011) 39, S. 32–44
- Curbach, M.; Ortlepp, R.; van Stipriaan, U.: Der textilbewehrte Beton in der Ingenieurarchitektur. In: *George-Bähr-Forum für Baukultur, Ingenieurarchitektur und Ingenieurbaukunst* (Hrsg.): *George-Bähr-Forum Dresden: Jahrbuch Band 4 – 2010/2011*. Radebeul : B. Krause, 2011. S. 114–117 – ISBN 978-3-00-037033-5
- Curbach, M.; Ortlepp, R.; van Stipriaan, U.: Textilbewehrter Beton – ein neuer Verbundbaustoff. In: *George-Bähr-Forum für Baukultur, Ingenieurarchitektur und Ingenieurbaukunst* (Hrsg.): *George-Bähr-Forum Dresden: Jahrbuch Band 4 – 2010/2011*. Radebeul : B. Krause, 2011. S. 120–121 – ISBN 978-3-00-037033-5
- Curbach, M.; Ortlepp, R.: Leichtes Bauen mit ultrahochfesten und Textilbetonen. In: *Bauforschung und Baupraxis*, Heft 10: „Wie wollen wir in Zukunft bauen?“ – Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger, Dresden, 19.04.2011, 2011, S. 17–22
- Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.: Finite Elemente für Stahlbetonbalken. *Bauingenieur* 86 (2011) 5, S. 218–226
- Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.; Weselek, J.: Finite elements for reinforced concrete structures. In: *Grabe, J. (Hrsg.): Ports for Container Ships of Future Generations*. Hamburg University of Technology, 2011, S. 277–291
- Hampel, T.; Curbach, M.; Scheerer, S.; Liebau, H.: Tragsicherheit einer historischen Sandsteinbalustrade. *Bautechnik* 88 (2011), S. 492–495 – DOI: 10.1002/bate.201102100
- Hampel, T.; Opitz, H.; Michler, H.; Popp, T.; Scheerer, S.: Experimentelle Überprüfung der Tragsicherheit von Stahlbetonrippendecken. *Bautechnik* 88 (2011), S. 42–46 – DOI: 10.1002/bate.201090157
- Hartig, J.; Jesse, F.; Schick Tanz, K.; Häußler-Combe, U.: Influence of experimental setups on the apparent uniaxial tensile load-bearing capacity of Textile Reinforced Concrete specimens. *Materials and Structures* 44 (2011) 3, S. 433–446
- Hausding, J.; Lorenz, E.; Ortlepp, R.; Lundahl, A.; Cherif, C.: Application of stitch-bonded multiplies made by using the extended warp knitting process: reinforcements with symmetrical layer arrangement for concrete. *The Journal of the Textile Institute* 102 (2011) online first publication, S. 1–13 – DOI: 10.1080/00405000.2010.515729
- Hummeltenberg, A.; Beckmann, B.; Weber, T.; Curbach, M.: Betonplatten unter Stoßbelastung – Fallturmversuche. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 3, S. 160–168 – DOI: 10.1002/best.201000083
- Kitzig, M.; Häußler-Combe, U.: Modeling of plain concrete structures based on an anisotropic damage formulation. *Materials and Structures* 44 (2011) 10, S. 1837–1853
- Kless, R.; Ruge, P.; Hampel, T.: Kippsicherheit von Postamenten für Skulpturen. *Bautechnik* 88 (2011) 6, S. 385–389 – DOI: 10.1002/bate.201101464
- Lindorf, A.; Curbach, M.: Slip behaviour at cyclic pull-out tests under transverse tension. *Construction and Building Materials* 25 (2011) 8, S. 3617–3624 – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.057
- Lorenz, E.; Ortlepp, R.; Hausding, J.; Cherif, C.: Effizienzsteigerung von Textilbeton durch Einsatz textiler Bewehrungen nach dem erweiterten Nähwirkverfahren. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 1, S. 21–30 – DOI: 10.1002/best.201000072
- Michler, H.; Wienke, R.: Carbon-Bewehrung für wasserundurchlässigen Normalbeton. *TUDALIT®-Magazin* Nr. 5 (09/2011), S. 14
- Ortlepp, R.: Anchorage Length for Textile Reinforced Concrete. In: *International Journal of Environmental Protection* 1 (2011) 3 – ISSN 2224-7777 – open access, URL: <http://www.ij-ep.org/Download.aspx?ID=25>
- Ortlepp, R.; Lorenz, A.; Curbach, M.: Umschnürungswirkung textilbewehrter Verstärkungen im Lasteinleitungsbereich von Stützen in Abhängigkeit von der Geometrie. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 7, S. 490–500 – DOI: 10.1002/best.201100018
- Ortlepp, R.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Textilbetonverstärkte Stahlbetonstützen. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 9, S. 640–648 – DOI: 10.1002/best.201100017
- Ortlepp, S.; Ortlepp, R.: Nutzung von latenten Wärmespeichern in Mauerwerk zur Energieeinsparung. *Mauerwerk* 15 (2011) 3, S. 161–166

- Schacht, G.; Bolle, G.; Marx, S.: Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Stahlbetonbauteilen ohne Querkraftbewehrung. *Bautechnik* 88 (2011), S. 757–764 – DOI: 10.1002/bate.201101517
- Schladitz, F.; Curbach, M.: Torsion tests on textile reinforced concrete strengthened specimens. *Materials and Structures Online First* (2011) – DOI: 10.1617/s11527-011-9746-5
- Schladitz, F.; Hampel, T.; Ortlepp, S.; Scheerer, S.: Brückentest bald im Labor: Neue Biegeprüfmaschine an der TU Dresden. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 2, S. 143–144 – DOI: 10.1002/best.201190015
- Schladitz, F.; Hampel, T.; Ortlepp, S.; Scheerer, S.: Eine neue 10-MN-Prüfmaschine für großformatige Bauteile. *Bautechnik* 88 (2011) 3, S. 205–210 – DOI: 10.1002/bate.201110021
- Schladitz, F.; Lorenz, E.; Curbach, M.: Biegetragfähigkeit von textilbetonverstärkten Stahlbetonplatten. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011) 6, S. 377–384 – DOI: 10.1002/best.201100002
- Schladitz, F.; Lorenz, E.; Jesse, F.; Curbach, M.: **Усиление текстильным бетоном железобетонной конструкции крыши исторического здания. Бетон и железобетон** (*Beton i Zhelezobeton*) (2011) 1, S. 27-30
- Beiträge in Tagungsbänden und Vorträge**
- Bolle, G.; Schacht, G.; Marx, S.: Loading Tests of Existing Concrete Structures - Historical Development and Present Practise. In: Šrůma, V. (Ed.): *Proceedings of the fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency*, 08.-10.06.2011, DVD-ROM, S. 67–674 – ISBN 978-80-87158-29-6
- Brückner, A.; Ortlepp, R.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Großversuche zur Prüfung der Vorhersagefähigkeit der im SFB 528 entwickelten Rechenmodelle. In: Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): *Textilbeton in Theorie und Praxis: Tagungsband zum 6. Kolloquium zu Textilbewehrten Tragwerken (CTRS6) in Berlin am 19.-20.09.2011*. Eigenverlag, 2011, S. 413–428 – URL: <http://hbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-78065>
- Curbach, M.; Lindorf, A.: Ermüdung von Stahl- und Spannbeton mit sehr hohen Lastwechselzahlen > 10<sup>7</sup>. Vortrag, gehalten am 11.10.2011 auf der Sitzung des Hauptausschusses Forschung (HAF) des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e.V. in Stuttgart
- Curbach, M.; Jesse, F.: *Textile-Reinforced Concrete – a Building Material Success Story: New Developments, Practical Examples / Erfolgsbaustoff Textilbeton – Neue Entwicklungen, praktische Beispiele*. *BFT International* 77 (2011) 2, Tagungsband der 55. Betontage 2011 – Nachhaltige Innovation, 08.-10.02.2011 in Neu-Ulm, S. 94-95
- Curbach, M.; Scheerer, S.: Concrete light – Possibilities and Visions. In: Šrůma, V. (Ed.): *Proceedings of the fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency*, 08.-10.06.2011, DVD-ROM, S. 29–44 – ISBN 978-80-87158-29-6
- Finzel, J.; Häußler-Combe, U.: Textile reinforced concrete sandwich panels – FEA simulation of bending tests. Lecture held on 4th GACM Colloquium on Computational Mechanics, 31.08.-02.09.2011 in Dresden
- Frenzel, M.; Curbach, M.: Bemessungsmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit von biegeverstärkten Stahlbetonplatten. In: Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): *Textilbeton in Theorie und Praxis - Tagungsband zum 6. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken. Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen)*, Berlin, 19.-20.09.2011. TU Dresden : Eigenverlag, 2011, S. 381–399
- Häußler-Combe; Kitzig, M.; Kühn, T.: Modelling of Concrete Behavior under High Strain Rates with a Damaged Viscoelastic Approach. In: *Proceedings of 2nd International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures (CFRAC 2011)*. Barcelona, Spain: International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), 2011
- Hampel, T.; Scheerer, S.: Experimentelle Untersuchung einer historischen Sandsteinbalustrade im Dresdner Zwinger. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): *6. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen. Tagungsband zum Symposium am 09.09.2011 in Dresden*, Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 24, Institut für Massivbau der TU Dresden : Eigenverlag, 2011, S. 129–138 – ISSN 1613-6934
- Hartig, J.; Häußler-Combe, U.: A model for Textile Reinforced Concrete under imposed uniaxial deformations. In: Borkowski, A.; Lewinski, T.; Dzierzanowski, G. (Hrsg.): *Proceedings of 19th International Conference on Computer Methods in Mechanics (CMM 2011)*. Warsaw : Warsaw University of Technology, 2011, S. 207–208 (Book of Short Papers) & Paper No. 133 CD of full papers – URL: [http://www.cmm.il.pw.edu.pl/cd/pdf/133\\_f.pdf](http://www.cmm.il.pw.edu.pl/cd/pdf/133_f.pdf)
- Hummeltenberg, A.; Beckmann, B.; Weber, T.; Curbach, M.: Investigation of concrete slabs under impact load. In: Cadoni, E.; di Prisco, M. (Hrsg.): *Performance, Protection and Strengthening of Structures under Extreme Loading*. Lugano, Switzerland : Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 2011, S. 398–403 – URL: <http://www.scientific.net/AMM.82.398>
- Koschitzki, R.; Schacht, G.; Schneider, D.; Marx, S.; Maas, H.-G.: Integration of photogrammetry and acoustic emission analysis for assessing concrete structures during loading tests. In: *Proceedings of SPIE Volume 8085, Paper 17*, München, 2011
- Kühn, T.; Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.: Concrete at high strain rates, a material formulation based on delayed damage. In: Borkowski, A.; Lewinski, T.; Dzierzanowski, G. (Hrsg.): *Proceedings of 19th International Conference on Computer Methods in Mechanics (CMM 2011)*. Warsaw : Warsaw

- University of Technology, 2011, S. 297–298 (Book of Short Papers) & Paper No. 201 CD of papers – URL: <http://www.cmm.il.pw.edu.pl/cd/pdf/201.pdf>
- Kühn, T.; Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.: A concrete material damage law for high strain rates. Lecture held on 4th GACM Colloquium on Computational Mechanics, 31.08.-02.09.2011 in Dresden
- Lindorf, A.; Curbach, M.: Fatigue of bond between reinforcement and concrete under transverse tension. In: Šrúma, V. (Ed.): Proceedings of the fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency, 8.-10.06.2011, DVD-ROM, S. 1181–1184 – ISBN 978-80-87158-29-6
- Lorenz, E.; Ortlepp, R.: Bond Behavior of textile reinforcements - development of a Pull-out test and modelling of the respective Bond versus slip relation. In: G. J. Parra-Montesinos; Reinhardt, H. W.; Naaman, A. E. (Hrsg.): Proceedings of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 6 – HPRFCC 6, Ann Arbor, 19.-22.6.2011. Springer, RILEM Bookseries, Volume 2, 2012, S. 479–486 – ISBN 978-94-007-2435-8 – doi: 10.1007/978-94-007-2436-5
- Lorenz, E.; Ortlepp, R.: Untersuchungen zur Bestimmung der Übergreifungslängen textiler Bewehrungen aus Carbon in Textilbeton (TRC). In: Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): Textilbeton in Theorie und Praxis: Tagungsband zum 6. Kolloquium zu Textilbewehrten Tragwerken (CTRS6) in Berlin, 19.-20.09.2011. Eigenverlag, 2011, S. 85–102 – URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-77823>
- Michler, H.; Wienke, B.: Textile Carbon-Bewehrungen bei wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen. Vortrag gehalten auf der 3. Anwendertagung des TUDALIT Markenverbands am 19.09.2011 in Berlin
- Ortlepp, R.: Verstärken mit textilbewehrtem Beton. Invited lecture, gehalten auf der 1. Sitzung der Arbeitsgruppe „Faserverstärkung im Bauwesen“ des Carbon Composites e. V., Augsburg, 29.11.2011
- Ortlepp, R.; Lorenz, A.; Curbach, M.: Geometry Effects onto the Load Bearing Capacity of Column Heads Strengthened with TRC. In: Šrúma, V. (Ed.): Proceedings of the fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency, 08.-10.06.2011, DVD-ROM, S. 1193–1196 – ISBN 978-80-87158-29-6
- Ritter, R.; Curbach, M.: Dehnungsmessung mit unterschiedlichen Messverfahren bei einaxialer Zug- und Druckbeanspruchung von kurzfaserbewehrtem Ultrahochleistungsbeton. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): 6. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen. Tagungsband zum Symposium am 09.09.2011 in Dresden, Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 24, Institut für Massivbau der TU Dresden : Eigenverlag, 2011, S. 57–68 – ISSN 1613-6934
- Schacht, G.; Bolle, G.; Marx, S.: Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Massivbaukonstruktionen mit geringem Ankündigungsverhalten. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): 6. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen. Tagungsband zum Symposium am 09.09.2011 in Dresden, Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 24, Institut für Massivbau der TU Dresden : Eigenverlag, 2011, S. 107–118 – ISSN 1613-6934
- Schacht, G.; Marx, S.; Hahn, O.: Belastungsversuche an Massivbaukonstruktionen mit geringem Ankündigungsverhalten. In: 2. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken. Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, 2011, S. 255–264
- Sickert, J.-U.; Schwiteilo, K.; Jesse, F.: Statistische Auswertung der Bruchspannung einaxialer Zugversuche an Textilbeton - Vorschläge für Teilsicherheitsbeiwerte. In: Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): Textilbeton in Theorie und Praxis - Tagungsband zum 6. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken. Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen), Berlin, 19.-20.09.2011, S. 141–156 – URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-77867>
- Weiland, S.; Lorenz, E.; Hankers, Ch.; Matzdorff, D.: Flexural Strengthening of RC-Structures by Textile Reinforced Concrete in Practical Application. In: Grantham, M; Mechtcherine, V.; Schneck, U. (Hrsg.): Proceedings of Concrete Solutions – 4th international Conference on Concrete Repair, 26.-28.09.2011 in Dresden, Germany, Balkema CRC Press, 2011, S. 783–787

# MITARBEITER

Stand: 31.12.2011

Institut für Massivbau

## **Professur für Massivbau**

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

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

Prof. Dr. rer. nat. Klaus Thoma  
*Honorarprofessor, Fachgebiet Kurzzzeitdynamik*

## **Geschäftsführende Oberingenieurin**

Dr.-Ing. Silke Scheerer

## **Oberingenieur Projektmanagement**

Dipl.-Krist. Wolfgang Leiberg

## **Organisation Lehre**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

## **Sekretariat**

Silvia Haubold  
Cornelia Dehne

## **Professur für Spezielle Massivbauwerke**

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

## **Sekretariat**

Angela Heller

## **Wissenschaftliche MitarbeiterInnen**

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

Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer  
Dipl.-Ing. Michael Frenzel  
M.Sc. Martin Just  
Dr.-Ing. Alexander Lindorf  
Dipl.-Ing. Viet Anh Nguyen  
Dipl.-Ing. Robert Ritter  
Dipl.-Ing. Nico Schmidt  
Dipl.-Ing. Steffen Schröder  
Dipl.-Ing. Katrin Schwiteilo

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

Dr.-Ing. Kerstin Speck  
Dipl.-Ing. Birgit Beckmann  
M.Sc. Joachim Finzel  
Dipl.-Ing. Anja Hummeltenberg  
M.Sc. Tino Kühn  
Dipl.-Ing. Matthias Quast  
Dipl.-Math. Dirk Reischl  
Dipl.-Ing. Gregor Schacht

### **Forschungsgruppe 3: Textilbeton**

Dr.-Ing. Regine Ortlepp  
Dr.-Ing. Anett Brückner  
Dipl.-Ing. Daniel Ehlig  
M.Sc. Enrico Lorenz  
Dr.-Ing. Harald Michler  
Dipl.-Ing. Thomas Popp  
Dr.-Ing. Frank Schladitz  
Dr.-Ing. Thoralf Schober

### **Technische Mitarbeiter**

Ulrich van Stipriaan M.A.  
Martin Weller

### **Promotionsstudenten**

Dipl.-Ing. (FH) Bernd Eichenseer  
Dipl.-Ing. Viet Anh Nguyen

Otto-Mohr-Laboratorium

### **Leiter OML**

Dr.-Ing. Torsten Hampel

### **Stellvertreter OML**

Dipl.-Ing. Kathrin Dietz

### **Sekretariat**

Petra Kahle

### **Technische Mitarbeiter**

*Versuchsplanung und -durchführung*  
Dipl.-Ing. Kathrin Dietz  
Doreen Sonntag  
Christian Dittrich  
Heiko Günther  
Heiko Wachtel  
Thomas Wagner

### *Prüfkörperherstellung*

Rainer Belger  
Jens Hohensee  
Mario Polke-Schminke

### *Applikation Messtechnik*

Annett Pöhland  
Maik Patricny  
Bernd Wehner

### *Werkstatt*

Ludwig Beier (Werkstattleiter)  
Tino Jänke  
Andreas Thieme

# Dank an unsere Förderer

Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

**DFG**



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



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



**AiF**  
*Ideen eine Zukunft geben*



Bund/Länder-  
Arbeitsgemeinschaft Wasser



**»Wissen schafft Brücken.«**

