



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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



JAHRESBERICHT 2009



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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

JAHRESBERICHT 2009

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. 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

Redaktion

Frank Jesse, Wolfgang Leiberg, Steffen Marx

Texte und Fotos

Birgit Beckmann, Anett Brückner, Lars Eckfeldt, Daniel Ehlig, Joachim Finzel, Torsten Hampel, Jens Hartig, Anja Hummeltenberg, Dirk Jesse, Mirko Kitzig, Alexander Lindorf, Enrico Lorenz, Harald Michler, Robert Ritter, Gregor Schacht, Henry Schäfer, Silke Scheerer, Frank Schladitz, Steffen Schröder, Kerstin Speck, Ulrich van Stipriaan, Silvio Weiland

Mitarbeit / Korrektur

Silvia Haubold, Angela Heller, Sabine Hofmann, Susan Miller, Silke Scheerer

Gestaltung

Ulrich van Stipriaan

Druck

addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz

Inhalt

Vorwort	5
Forschung	7
Biegeverstärkung von Platten	8
Normalkraft- und Torsionsverstärkung	10
Zweiachiales Tragverhalten von Textilbeton	12
Modellierung von Textilbeton	14
Konstruktive Bewehrungsdetails	16
Textile Bewehrung zur Querkraftverstärkung	18
Textilbeton unter Brandbelastung	20
Leichtbauelemente für Brand- und Schallschutz	22
Transfer zum Unternehmen befördern	24
Textilbeton-Sandwichplatten	26
Verbundermüdung unter Querkraft	28
Stahl- und Spannbeton unter Querkraft	30
Beton bei dynamischer Beanspruchung	32
Biostatistik und Verbundermüdung	34
Explorative Untersuchungen an Rissen	36
Vorhersage sehr kleiner Rissbreiten	38
Mehrachiale Festigkeit von UHPC	40
Mehrachiale Materialmodelle für Beton	42
Zweiachiale Festigkeit von Beton nach Brandbeanspruchung	44
Formgebende Werkzeuge aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen	46
Dünne Betondecken auf langen Brücken	48
Autobahnbrücke sicher und tragfähig	50
Gebrauchstauglicher Stahlfaserbeton	52
Einen Werkstoff verstehen – sein Verhalten simulieren	54
Beton unter stoßartiger Belastung	56
Betongelenke im Brückenbau	58
Lehre	61
Lehrveranstaltungen	62
Projektarbeiten	66
Diplom- und Masterarbeiten	70
Außerhalb der Wissenschaft	78
Otto-Mohr-Laboratorium	82
Otto-Mohr-Laboratorium	84
Zehn Elefanten auf Tour: (Bild-)Geschichte eines Umzugs	90
Probelastung von Stahlbetondecken	92
Belastungstest eines Geländers	94
Tragfähigkeit von Natursteinplatten	96
Spannungsrissskorrosion bei Brücken	98
Ein- und zweiachiale Festigkeit von Hochleistungsbeton	100
Langzeitmessung im Dresdner Zwinger	102
Institut	105
Zahlen und Fakten	106
Promotionen	116
Mitarbeiter	121
Publikationen 2009	122



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

Einen Beitrag zur Lebensqualität leisten

Am Institut für Massivbau der Technischen Universität Dresden beschäftigen wir uns auf verschiedenste Art und Weise mit dem Baustoff Beton. Damit steht bei uns ein sehr vielseitiger und oft verkannter Werkstoff im Mittelpunkt des Interesses, dessen Potenziale sowohl bei der Planung und der Realisierung ästhetisch anspruchsvoller Bauwerke als auch bei seiner innovativen Nutzung außerhalb des Bauwesens noch lange nicht ausgeschöpft sind. Unser Anspruch ist es, mit unserer Forschung und Lehre einen Beitrag für eine bessere Lebensqualität in unserer Welt zu liefern.

Der Bogen unserer wissenschaftlichen Arbeit spannt sich von der Grundlagenforschung, die derzeit den Schwerpunkt der Forschungsarbeit an unserem Institut bildet, über die anwendungsorientierte Forschung bis zur Auftragsforschung für Partner aus Industrie und Verwaltung. Damit unsere neuen Erkenntnisse zügig in der Praxis angewendet werden können, haben Transferprojekte an unserem Institut einen hohen Stellenwert. Aber nicht nur die Forschungsergebnisse sollen in die Praxis überführt werden. Auch unsere wissenschaftlichen Mitarbeiter sollen nach ihrer Promotion quasi durch einen „Transfer der Köpfe“ neuen Entwicklungen den Weg bereiten.

In der Lehre ist es unser Ziel und unser Anspruch, den Studentinnen und Studenten nicht nur die Grundlagen und Methoden des Massivbaus zu vermitteln, sondern sie für die Gestaltungsvielfalt des Massivbaus und seine verschiedensten

Einsatzmöglichkeiten jetzt und in Zukunft zu begeistern. Für ihre spätere Arbeit sollen sie nicht nur das Material verstanden und das „Handwerk“ erlernt haben, sie sollen mit neuen und innovativen Ingenieurösungen auch dazu beitragen, das Image des Universalbaustoffs Beton zu verbessern.

Gute Forschungsarbeit kann aber nur in einem positiven Umfeld geleistet werden. Deshalb ist es das Bestreben aller am Institut, ein Gleichgewicht zwischen der oftmals sehr anspruchsvollen und zeitaufwändigen Arbeit auf der einen Seite und der Familie auf der anderen Seite zu finden.

Die in diesem Heft vorgestellten Ergebnisse in Forschung und Lehre sind das Ergebnis eines über die Jahre gewachsenen Teams, in dem mit großem Engagement Ziele gesteckt und umgesetzt werden. Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern möchten wir daher ausdrücklich für ihre geleistete Arbeit danken, ohne die unser Institut nicht da stände, wo es heute ist. Ebenso sei an dieser Stelle allen unseren Förderern gedankt, ohne die wir die Vielzahl unserer Forschungsprojekte nicht realisieren könnten.

Wir danken Ihnen für ihr Interesse an unserem Institut und wünschen bei der Lektüre gleichermaßen Erkenntnisgewinn wie Vergnügen.

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

SFB

528

FORSCHUNG

Biegeverstärkung von Platten

In diesem Projekt stehen zum Einen das Aufstellen eines für den Planungsingenieur handhabbaren Bemessungskonzeptes und zum Anderen die Erarbeitung eines wirtschaftlichen Applikationsverfahrens im Mittelpunkt.

Bemessungsverfahren

Anhand experimenteller Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass mit Verstärkungsschichten in der Zugzone von Stahlbetonplatten deren Biegetragfähigkeit signifikant gesteigert werden kann. Je nach Eigenschaft des verwendeten Textils und des Altbetonbauteils konnte die Tragfähigkeit um mehr als den Faktor zwei erhöht werden. Neben der Erhöhung der Tragfähigkeit wirkt sich die Verstärkung auch positiv auf die Gebrauchstauglichkeit aus. Die verstärkten Bauteile verbleiben länger im ungerissenen Zustand I. Während und nach der Rissbildung wurde im Vergleich zum unverstärkten Referenzbauteil eine Verringerung der Rissbreiten und -abstände festgestellt. Die Rissbreite im Altbeton wurde etwa halbiert.

Das vorhandene entwickelte Bemessungsverfahren basiert auf einer erweiterten Standard-Stahlbeton Biegebemessung. Ziel ist die Beschreibung des Zusammenwirkens der Stahlbewehrung und der textilen Bewehrung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Verbundeigenschaften. Es soll ein vereinfachtes Bemessungsverfahren entwickelt werden, in dem das jeweilige Verbundverhalten ver-

einfachend durch einen geeigneten Verbundbeiwert berücksichtigt wird. Für eine zutreffende Beschreibung des inneren Kräftegleichgewichts werden die Verbundeigenschaften der Textilien ermittelt und in das Bemessungsmodell implementiert.

Applikationstechnologie

Die Definition eines geeigneten Verfahrens für das Verstärken großflächiger Bereiche ist für Praxisanwendungen von zentraler Bedeutung. Durch Großversuche an vertikalen, schrägen und horizontalen Flächen (von oben und überkopf) wurde ein optimierter Arbeitsablauf durch aufeinander abgestimmtes Spritzen des Feinbetons und Einlaminieren des Geleges aufgestellt. Dabei standen Fragestellungen u. a. zur Gelegekonfektionierung, Maschinenteknik sowie zur Vor- und Nachbehandlung im Vordergrund. Für das Verstärkungsverfahren ergaben sich folgende Schwerpunkte:

- ❑ Nassspritzverfahren mit Förderart-Dichtstrom;
- ❑ Oberflächevorbereitung mittels Sandstrahlen (Rauheit mind. rau) und 24 h Vornässen;
- ❑ Spritzdruck mit geringem Rückprallverhalten (Druckluft > 5 bar, > 5 m³/min);
- ❑ Mischregime mit stufenweiser Wasserzugabe und Mischdauer länger 5 min;
- ❑ Beginn der Nachbehandlung erforderlich eine Stunde nach Verstärkungsende.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Entwicklung einer Trockenmischung für den Feinbeton, welcher hohe Anforderungen an Frischbetonkonsistenz, Maschinenverarbeitbarkeit sowie Festbetoneigenschaften erfüllen soll.



Großversuch für Verstärkungsverfahren mit Textilbeton
Large scale test for strengthening methods with textile reinforced concrete

Flexural Strengthening of Slabs

In this project, there are two focuses:

1) the establishment of a design concept that is manageable for design engineers and 2) the development of an economical method of application.

Dimensioning Model

The use of experimental research has demonstrated that the load capacity of reinforced concrete (RC) slabs under bending increases significantly with the addition of textile reinforced strengthening layers in the tensile zone. Load-bearing capacity could be increased by more than two fold depending on the properties of the textile reinforcement and the un-strengthened concrete member. In addition to load-bearing capacity augmentation, serviceability also benefits from strengthening since strengthened structural components remain in the uncracked state I for a longer period of time. A decrease in crack width (size) and crack spacing was observed during and after testing. Crack widths in the strengthened slabs were nearly 50 % smaller.

The design model developed is predicated on an expanded standard RC bending design model. The goal is to describe the interaction of steel and textile reinforcement by considering the differences in their respective bond properties. From this, a simplified design model must be derived at which time each particular bonding behavior is factored into the model as an appropriate bond coefficient. In order to accurately describe the internal balance of forces, textile bond properties



Stahlbetonplatte verstärkt mit Textilbeton unter Biegung
RC slab strengthened with textile reinforced concrete under bending

are determined and incorporated into the design model.

Application Technology

Defining a suitable technique for strengthening large RC members is crucial for practical use. An optimized sequence of coordinated steps of alternating fine concrete spraying and textile lamination was established by means of large-scale tests on vertical, inclined and horizontal surfaces (from above and below). Thereby questions concerning fabric packaging, machine engineering, as well as pre- and post-treatments were, thereby, focused among others. Emphasis was placed on the following steps for developing the strengthening procedures:

- Wet spraying method;
- Surface pre-treatment by sandblasting (roughing of surface) and pre-wetting;
- Spraying with minimal rebound;
- Devices and mixing regime of concrete;
- Selection of suitable post-treatment.

An additional focus was on the development of a dry, ready mixed fine concrete admixture that meets the high standards of: fresh concrete consistency; machine workability; and properties of hardened concrete, as well.

Titel | Title

Biegeverstärkung von Platten

Förderer | Funding

DFG

Zeitraum | Period

07.2008 – 06.2011

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach,
Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Ehlig
Dipl.-Ing. Manuel Hentschel

Normalkraft- und Torsionsverstärkung

Nachdem bereits die Untersuchungen zur Biege- und Querkraftverstärkung mit Textilbeton deutliche Verbesserungen des Tragverhaltens gezeigt haben, werden im Moment die Normalkraft- und Torsionsverstärkung erforscht und im Folgenden die aktuellen Untersuchungen und Ergebnisse vorgestellt.

Zur Zeit durchgeführte Studien umfassen quadratische und runde Stahlbetonquerschnitte. Die im Labor hergestellten

Probekörper werden nach dem Aufräumen der Oberfläche vorgemischt und anschließend mit Textilbeton verstärkt. Neben verschiedenen Bewehrungsmaterialien (alkaliresistentem Glas bzw. Carbon) und unterschiedlichen Bewehrungsgraden (1-6 Lagen textile Bewehrung) werden auch die Einflüsse unterschiedlicher Eckausrundungen am Altbetonprobekörper betrachtet. Bei den auf Torsion belasteten Probekörpern wird die textile Bewehrung in dem für Torsion bevorzugten Winkel von 45° angeordnet.

Für die Belastungsversuche werden Druckprüfmaschinen sowie ein eigens entwickelter Torsionsprüfstand genutzt. Die Messung der belastungsabhängigen Verformung während des Versuches erfolgt mit Dehnmessstreifen, induktiven Wegaufnehmern und photogrammetrischen Messverfahren.

Normalkraftverstärkung

Die Traglaststeigerung ergibt sich aus der Querschnittserhöhung infolge der zusätzlich aufgetragenen Betonschicht und aus einer Umschnürungswirkung der textilen Bewehrung. Ergebnisse der Untersuchungen an runden Stützen



Probekörper in einer Druckprüfmaschine
Test specimen in a compression test machine

belegen eine deutliche Umschnürungswirkung. Bei den eckigen Stützen wird eine Zunahme der Umschnürungswirkung mit zunehmenden Eckausrundungsradien sichtbar. Des Weiteren wird die Umschnürungswirkung mit zunehmendem Bewehrungsgrad erhöht. Die Umschnürung erzeugt einen dreiaxialen Spannungszustand im Betonkern der Stütze und führt somit zu einer deutlichen Steigerung der Tragfähigkeit.

Torsionsverstärkung

Durch die Möglichkeit, die textile Bewehrung parallel zur Zugkraft auszurichten (hier im Winkel von ca. 45°), wird neben der Erhöhung der Tragfähigkeit eine deutliche Erhöhung der Steifigkeit und damit auch der Gebrauchstauglichkeit erreicht. Mit zunehmendem Bewehrungsgrad vergrößern sich die Tragfähigkeit und die Steifigkeit. Die Querschnittsvergrößerung trägt weiterhin dazu bei, dass auch die Tragfähigkeit der Druckstrebe erhöht wird. Bei den untersuchten Probekörpern konnte die Tragfähigkeit bis um das Dreifache erhöht werden. Durch die Textilbetonverstärkung wurde eine deutliche Verringerung der Rissbreiten und Rissabstände realisiert, was sich ebenfalls sehr positiv auf die Gebrauchstauglichkeit auswirkt.

Normal Force and Torsion Strengthening

Considerable improvements of the load-bearing behavior of RC structures, as shown for flexural and shear strengthening with textile reinforced concrete (TRC), has prompted current tests to assess normal and torsional strengthening where TRC is used. The following introduces this research and its results.

Studies of laboratory produced quadratic and circular columns and beams of reinforced concrete strengthened with TRC were conducted. The specimens' surfaces were roughened before pre-wetting and subsequently applying the TRC strengthening. Several variations of the test specimens were taken into consideration and studied; these included: type of reinforcing material (i. e., alkali-resistant glass or carbon fibre reinforced TRC); amount of reinforcement applied (i. e., 1...6 layers of textile reinforcement); and the radii of curvature of quadratic section. Textile reinforcement was aligned at a 45 ° angle in test specimens loaded with torsional forces since this is the preferred angle for torsion loads.

A compression test machine and a specially designed torsion test set-up were used to conduct the load tests. Load dependent experimental deformations were measured by the use of: strain gauges, linear variable differential transformers (LVDT), and photogrammetric methods.

Normal force strengthening

The ultimate load increase results from the enlargement of the cross-section due to the added



Torsionsprüfstand
Torsion test setup

Titel | Title

Verstärkung von normalkraft- und torsionsbeanspruchten Bauteilen mit textildbewehrtem Beton

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

07.2005 – 06.2011

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Frank Schladitz M.Sc.
Dr.-Ing. Regine Ortlepp

concrete layer and the confinement effect of the textile reinforcement. Results of the examinations of circular columns show a considerable confinement effect, while quadratic columns only show an increasing capacity only with the increasing size of edge radii. Furthermore, a growing amount of reinforcement also augments the load capacity. The confinement creates a tri-axial stress state in the concrete core of the column and leads to an increase in the load carrying capacity.

Torsion strengthening

Since textile reinforcement can be aligned parallel to tensile forces in the structure (at an angle of about 45° in this case), it is not only possible to achieve an increase in the load capacity but also in the stiffness and, therefore, the serviceability. The enlargement of the cross-section further

increases the load-carrying capacity of the compression strut. The capacity of the test specimens could be enlarged by 300 %. Considerable decreasing crack widths and spacing also resulted from textile reinforcement concrete strengthening, which greatly enhances the serviceability, as well.

Zweiachiales Tragverhalten von Textilbeton

Textilbewehrter Beton (TRC) ist ein neuer Verbundwerkstoff, dessen Bewehrung aus technischen Textilien (aus Garnen/Rovings) verschiedener Materialien besteht. In den zurückliegenden Phasen des SFB 528 wurden dessen Materialeigenschaften unter einaxialer Zugbeanspruchung und unter Biegebeanspruchung bereits eingehend untersucht. Demnach gibt es eine starke Abhängigkeit des Tragverhaltens von den Verbundeigenschaften sowohl zwischen den Filamenten als auch zwischen Filamenten und Matrix. Auch Teilaspekte einer kombinierten Belastung wie Rissuferverschiebung oder nicht achsparallele Zugbeanspruchung wurden bereits mit einbezogen.

Bei zweiachialer Belastung mit Zug in einer Hauptrichtung und Druck in Querrichtung kommt es zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit. Eine Querkzugbeanspruchung ohne Druckkomponente in der zweiten Richtung führt hingegen zu einer Verringerung der Tragfähigkeit. Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten unter Zug-Zug-Belastung in Abhängigkeit des Spannungsverhältnisses σ_1/σ_2 gibt es bisher nur sehr wenige Erkenntnisse.

Von Zug-Zug-Versuchen an Stahlbetonbauteilen ist bekannt, dass bewehrungsparallele Risse den Verbund zwischen Stahl und Beton stören und damit die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen reduzieren. Die bekannte hohe Sensitivität

des Tragverhaltens von textilbewehrtem Beton gegenüber den Verbundeigenschaften der Bewehrung lässt vermuten, dass durch Zugbeanspruchung in einer Richtung induzierte Risse einen signifikanten Einfluss auf das Tragverhalten in die jeweils andere Richtung ausüben.

Experimentelle Untersuchungen

Diese und weitere Fragen wurde experimentell an scheibenförmigen Proben unter Zug-Zug-Belastung untersucht. Diese technologisch bedingte Asymmetrie der Bewehrung (Kett- und Schussfäden) bedingt Untersuchungen des gesamten Zug-Zug-Quadranten, um das Materialverhalten in Schuss- und Ketttrichtung sowie bestehende Abhängigkeiten vollständig zu erfassen.

Auswertung der Versuche

Erwartungsgemäß lässt sich im ungerissenen Zustand I kein Einfluss der Bewehrung nachweisen. Das Spannungsniveau der Erstrissbildung (Übergang Zustand I/Zustand IIa) sinkt hingegen proportional zum Spannungsverhältnis σ_1/σ_2 . Ein direkter Einfluss von bewehrungsparallelen Längsrissen auf das Spannungsniveau der Erstrissbildung ist aber nicht erkennbar.

Deutliche Auswirkungen zeigen sich im Dehnungsverhalten nach Abschluss der Rissbildung (Zustand IIb), wenn sich das bewehrungsparallele Rissssystem infolge Querkzugbeanspruchung weitgehend ausgeprägt hat.

Ein Einfluss auf den Bruchzustand ist aus den Versuchsdaten hingegen nicht erkennbar. Die gewählte Probekörpergeometrie ist nicht frei von lokalen Spannungskonzentrationen, welche überwiegend das Versagen einleiten und wodurch materialspezifische Effekte ggf. überdeckt werden. Genauere Untersuchungen zum Bruchzustand sind Bestandteil laufender Untersuchungen.



Versuchskörper für zweiachiale Zug-Zug-Versuche nach dem Versagen
Specimen for biaxial tension-tension-tests after failure

TRC Under Biaxial Tension

Textile reinforced concrete (TRC) is a new composite material containing reinforcement comprised of a variety of technical textiles (i.e., yarns consisting of thousands of filaments). There is a strong dependency of the composite load-bearing behavior both from the bond between filaments and the bond between filaments and the matrix. Lateral tensile loading may lead to a decrease in strength. It is known from biaxial tensile tests of RC components that cracks located parallel to reinforcement reduce bond stresses between concrete and steel and, thus, reduces the tension stiffening effect. The high sensitivity of load-bearing behavior of TRC contrasted to the bond characteristics present leads to the expectation that cracks induced by tensile load in lateral direction will have a considerable impact on the load-carrying behavior in the longitudinal direction.

Experimental Research

This question has been experimentally examined by conducting biaxial tensile load tests on planar specimens. The technologically induced differences of the warp and weft threads of the fabric reinforcement lead to specific load-bearing behavior, making TRC an asymmetric, anisotropic material. This asymmetry requires the study of the entire tension-tension-quadrant to completely describe the material behavior in the warp and weft direction, as well as existing interconnections.

Test Results

As expected, there is no effect on uncracked TRC. The stress level at initial cracking – the transition from the uncracked to cracked state – decreases proportionally to the applied stress

Titel | Title

Experimentelle Ermittlung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens von Textilbeton

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

07.2008 – 06.2011

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Frank Jesse

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Dirk Jesse



Versuchsaufbau für zweiachbiale Zug-Zug-Versuche
Test-Setup for biaxial tension-tension-tests

ratio, σ_1/σ_2 ; however, counter to this, there is no noticeable impact on the stress level that can be directly attributed to the lateral tension present.

There are obvious effects on the behavior after cracking has been completed. This occurs when the crack pattern, being parallel to the reinforcement, has developed extensively throughout the specimen as a result of lateral tensile loads. Stiffness declines significantly at this point as a consequence.

Information gain concerning the ultimate load capacity was limited as load relief cuts in the geometry of the specimens generated local stress peaks and introduced the predominant failure-mode, thus superposing any specific material effects. Test results, therefore, indicate no noticeable effect on the ultimate load capacity. A portion of current research is devoted to a closer examination of the ultimate limit state.

Modellierung von Textilbeton

Der Verbundwerkstoff textilbewehrter Beton stellt ein hochgradig heterogenes Gebilde sowohl in Bezug auf die Matrix als auch in Bezug auf die Bewehrung dar. Die Bewehrung besteht aus textilen Strukturen, die aus Multifilamentgarnen aus Hochleistungsfasern wie alkali-resistentem Glas oder Carbon hergestellt werden. Die Lastübertragung zwischen der Matrix und den Garnen stellt sich ebenfalls als komplex dar. Vereinfachend kann der Verbund innerhalb eines Garnes in eine Zone adhäsiven Verbundes im Außenbereich des Garnes mit Matrixkontakt und eine Zone im Inneren des Garnes unterschieden werden, in der nur geringe Kräfte über Reibung im unmittelbaren Kontakt der Filamente untereinander übertragen werden können.

Bisherige Modellierungsansätze auf der Makro- und Mesoebene, die von weitgehend homogenen Materialien ausgehen, können zwar grundsätzlich das globale Tragverhalten abbilden, sind aber nicht geeignet, weitergehende Erkenntnisse über das Trag- und Versagensverhalten zu erbringen, das seinen Ursprung auf der mikroskopischen Skala hat und experimentell nicht oder nur schwer zu erfassen ist. Bestehende mikroskopische Modelle des textilbewehrten Betons beschränken sich auf die Betrachtung des Tragverhaltens homogener Garne und des Tragverhaltens des Verbundwerkstoffes an einem einzelnen Matrixriss. Im Hinblick auf das Tragverhalten von Textilbetonbauteilen mit vielfacher Rissbildung besteht Forschungsbedarf.

Methoden und Ergebnisse

Die Grundlage des mechanischen Modells bildet das sogenannte Segmentmodell aus dem nach

einer Diskretisierung mit der Finite Elemente Methode ein numerisches Modell abgeleitet wird. Dabei wird die Bewehrung in Segmente unterteilt und in einem Gitterschema angeordnet. Das Verhalten der Segmente wird durch Stabelemente approximiert, die als Eigenschaften den Elastizitätsmodul und die Festigkeit des entsprechenden Materials sowie eine Querschnittsfläche zugewiesen bekommen. In der Längsrichtung wird eine Vielzahl von Stabelementen in Reihe geschaltet, um zum einen das Rissverhalten und zum anderen das Verbundverhalten zwischen den einzelnen Segmenten, welches mit Verbundelementen modelliert wird, realitätsnah abbilden zu können.

Das Modell ist in der Lage, das globale Tragverhalten von einaxialen Zugversuchen, z. B. in Form von Spannungs-Dehnungsbeziehungen, abzubilden. Darüber hinaus kann das Modell Erkenntnisse über in Experimenten nicht oder nur schwer erfassbare Spannungsverteilungen im Inneren der Probekörper, z. B. in den Bewehrungsgarnen, erbringen.

Titel | Title

Sonderforschungsbereich 528 – Teilprojekt B3:
Numerische Untersuchungen zum Tragmechanismus
von Filamentgarnen in einer Betonmatrix

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

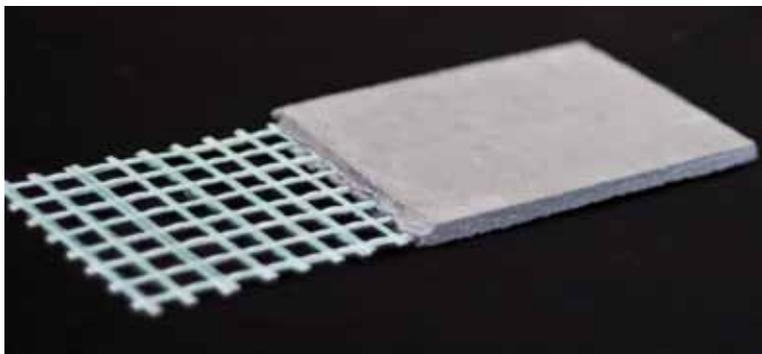
07.2008 – 06.2011

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Jens Hartig

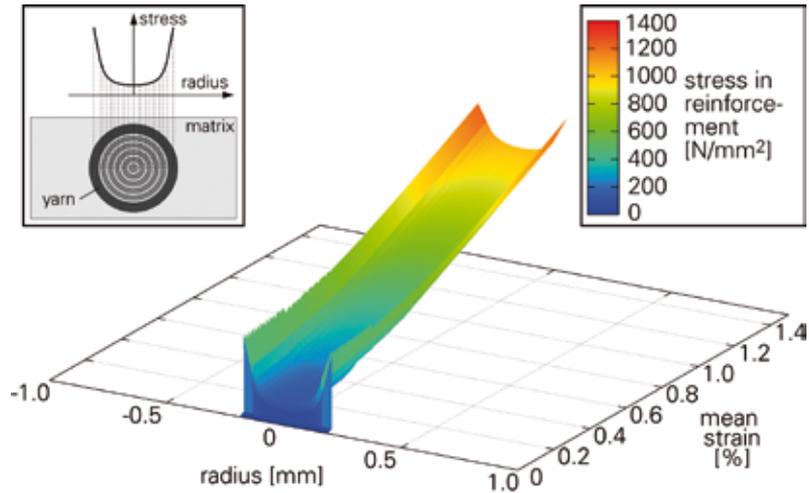


Textile Bewehrung aus alkali-resistentem Glas, eingebettet in einer Matrix aus Feinbeton

Textile reinforcement of alkali-resistant glass embedded in a fine-grained concrete matrix

Modelling of Textile Reinforced Concrete

The composite textile reinforced concrete (TRC) possesses a highly heterogeneous micro-structure with regard to both matrix and reinforcement. Reinforcement is applied as textiles made of multi-filament yarns of high performance fibres such as alkali-resistant glass or carbon. The load transfer between matrix and yarns is quite complex. The bond within a yarn can be subdivided into two zones: an adhesive bond zone in the boundary area of the yarn in contact with the matrix and a core zone where only small forces are capable of being transferred via friction at the filament contact points.



Berechnete Spannungsverteilung in einem Bewehrungsgarn an einem Matrixriss bei steigender Belastung einer Textilbetonprobe
 Calculated stress distribution in a reinforcement yarn at a matrix crack with increasing loading of a textile reinforced concrete specimen

Existing modelling approaches on the macroscopic and mesoscopic levels, which assume that the components of the composite are homogeneous, can in principle reproduce the global load-bearing behaviour. However, these are insufficient for gaining an understanding of the load-carrying and failure behaviours that originate at the microscopic level and can only be assessed with great difficulty using experimental techniques if at all. Existing microscopic models of TRC only cover the load-bearing behaviour of homogeneous yarns and the load-carrying behaviour of the composite at a single matrix crack. In view of the load-bearing behaviour of structural elements with multiple cracks made of TRC, a demand for further research becomes obvious.

of the segments in the longitudinal direction is approximated by bar elements, which are given the Young's modulus and tensile strength of the respective material, as well as the cross-sectional area. A number of bar elements are arranged in series in the longitudinal direction to realistically model cracking and bond behaviour.

This model is able to reproduce the global load-carrying behaviour of uniaxial tensile tests, e.g., given as stress-strain relationships. This model is also able to provide insight into the stress distribution within a specimen, e.g., inside a reinforcement yarn, which often cannot be obtained, or, is difficult to ascertain using experimental techniques.

Methods and Results

The basis of the mechanical model is the segment model from which the numerical model is also derived by means of discretization based on the Finite Element Method (FEM). The reinforcement is, therefore, subdivided into segments which are assumed to be homogeneous and are arranged in a regular lattice. The behaviour

Konstruktive Bewehrungsdetails

Für die Instandsetzung und Verstärkung von Betonbauteilen mit Textilbeton hat die Verankerung der textilbewehrten Feinbetonverstärkungsschicht am Altbetonuntergrund eine wesentliche Bedeutung. Dabei können im Hinblick auf ein Verbundversagen der Endverankerungsbereiche vier verschiedene Versagensmechanismen maßgebend werden. Im Rahmen des Teilprojektes C1 wurden diesbezüglich umfangreiche Untersuchungen zur Erforschung der drei flächigen Versagensarten durch Delaminations- und Altbetonversagen sowie der Zerstörung der Verbundfuge zwischen Fein- und Altbeton durchgeführt. Besonders bei Textilien aus Carbonfasern werden jedoch aufgrund der sehr hohen Garnzugfestigkeiten die erforderlichen Lasteinleitungslängen meist durch den Auszug der Filamentgarne aus dem Feinbeton bestimmt. Daher erfolgten im Rahmen des Teilprojektes B5 Untersuchungen



Textilauszugsversuch
Textile pull-out test

zur Klärung des Versagenskriteriums durch Garnauszug.

Dazu wurde im ersten Schritt zur experimentellen Untersuchung des Verbundverhaltens zwischen Garnoberfläche und Feinbetonmatrix ein Versuchsaufbau zur Durchführung von Textilauszugsversuchen mit kurzen Einbindelängen an beschichteten textilen Bewehrungsstrukturen entwickelt. Anhand der in den Textilauszugsversuchen experimentell bestimmten Kraft-Rissöffnungs-Beziehungen erfolgte anschließend eine analytische Modellierung der jeweiligen Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen der textilen Bewehrung.

Mit Hilfe eines separaten Modells konnte im dritten Schritt anhand der ermittelten Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen die zur Verankerung einer entsprechenden Kraft F erforderliche Verankerungslänge berechnet werden.

Zur Überprüfung der analytischen Modellierungen und der getroffenen theoretischen Annahmen wurden unabhängige experimentelle Versuche zur Bestimmung der Verankerungslängen durchgeführt. Es konnte eine gute Übereinstimmung der berechneten mit den versuchstechnisch bestimmten Verankerungslängen festgestellt werden.

Mit Hilfe der gefundenen Zusammenhänge ist nun im Gesamtkontext unter Beachtung der Ergebnisse für flächige Versagensarten eine umfassende rechnerische Bestimmung der Endverankerungslängen textilbewehrter Verstärkungsschichten aus Feinbeton möglich.

Neben der Vorhersage der erforderlichen Verankerungslängen können die ermittelten textilspezifischen Verbundkennwerte weiterhin zur Berechnung von Übergreifungslängen sowie zur Vorhersage von Rissabständen und Rissweiten verwendet werden.

Detailing of Reinforcement

When existing concrete structures are strengthened with textile reinforced concrete (TRC) the method by which the TRC layer is anchored to the aged concrete is critical to the structure's strengthening. Four different types of bond failure modes of these anchorage areas can occur. Three of these, which occur as a result of delamination; failure of the aged concrete; and destruction of the bond joint between the aged concrete and the new concrete, have previously been studied. Examination of the pullout of filament yarns from the fine-grained concrete matrix, especially in the case of textiles comprised of carbon fibres, showed that very high tensile strength largely serve as the determining factor of required development lengths. This finding, therefore, prompted further study of the failure criteria of yarn pullout.

Initially, the bond behaviour between yarn surface and the fine-grained concrete matrix was experimentally analyzed by using pull-out tests. The bond problem is shown analytically based on multi-linear solutions of the bond differential equation using the experimentally determined force-crack-opening-relationship. The required anchorage length for a corresponding force, F , could be calculated in the third step of the process by applying a separate model in which the yarn-specific bond-slip-relationship determined in the second step was the basis.

The values obtained from independent experimental tests of the determination of the anchoring length were conducted to verify the validity of the relationship determined. The correspondence between the calculated anchoring lengths and the experimentally determined lengths is good.

The enhanced knowledge of the laminar failure modes of these connections provides for a comprehensive analytical determination of the development lengths of TRC layers. In addition to the prediction of the required anchorage lengths, the specific parameters of the textile-concrete bond interface can be used to calculate overlapping lengths as well as to predict crack spacing and related crack widths of an overall crack pattern.



Versuch zur Bestimmung der erforderlichen Verankerungslänge

Experimental test of the determination of the required anchoring length

Titel | Title

Sonderforschungsbereich 528 – Teilprojekt B5:
Grundlagen konstruktiver Bewehrungsdetails

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

07.2009 – 06.2011

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Regine Ortlepp

Bearbeiter | Contributors

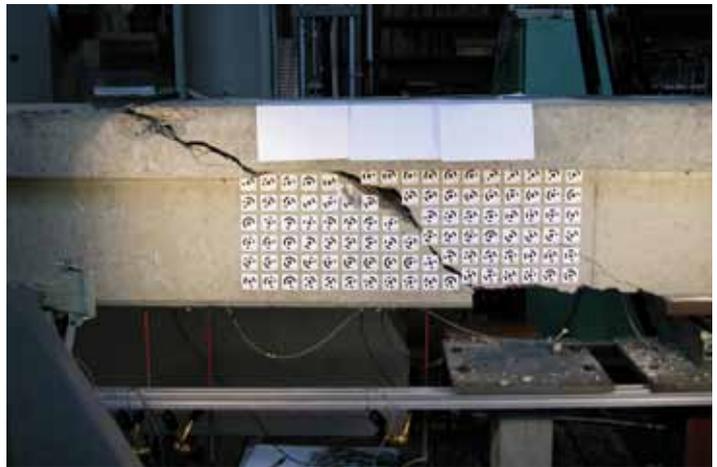
Enrico Lorenz M.Sc.

Textile Bewehrung zur Querkraftverstärkung

Bei der Bemessung von Ingenieurbauwerken kann aufgrund der langen Lebensdauer von durchschnittlich 80 bis 100 Jahren nicht jede Nutzung und Beanspruchung vorhergesehen werden. Unplanmäßige Beanspruchungen sowie unzutreffende Berechnungsannahmen, Bauausführungsfehler oder Umwelteinflüsse können zu Schäden an Bauteilen führen. Soll die Bausubstanz erhalten werden, sind Sanierungen oder Verstärkungsmaßnahmen erforderlich.

Die Querkrafttragfähigkeit eines Bauteiles kann durch verschiedene Maßnahmen gesteigert werden. Eine Möglichkeit ist die Verstärkung mit textilbewehrtem Beton. Der textilbewehrte Beton kombiniert die Materialeigenschaften des stahlbewehrten Spritzbetons mit den geometrischen Eigenschaften von geklebten Bewehrungen. Das bedeutet, auch der textilbewehrte Beton hat die stahlbetontypischen Eigenschaften, die Dicke der Verstärkung erinnert jedoch eher an geklebte Bewehrungen. Möglich werden die geringen Schichtdicken durch den Einbau nichtkorrosiver Bewehrungen aus AR-Glas, Carbon oder anderen Hochleistungsfasern in einer Feinbetonmatrix mit einem Größtkorn von 1 mm. Der textilbewehrte Beton wird in wechselnden Lagen aus Feinbeton und textiler Bewehrung aufgebracht. Die Gesamtdicke der Verstärkung liegt abhängig vom erforderlichen Bewehrungsgrad bei 1-2 cm.

Die experimentellen Untersuchungen an Bauteilen mit praxisrelevanten Querschnitten haben gezeigt, dass die Tragfähigkeit eines Stahlbetonbauteils durch eine textilbewehrte Querkraftverstärkung erheblich gesteigert werden kann. Besonders effektiv ist die Verstärkung, wenn die textile Bewehrung und die vorhandene Stahlbewehrung additiv zusammenwirken. Die Traglaststeigerung gegenüber dem unverstärkten Bauteil würde in diesem Fall der Querkrafttragfähigkeit der zusätzlichen Bewehrung entsprechen. Tatsächlich ist die Traglaststeigerung aber geringer,



Querkraftversuch an einem Plattenbalken
Shear test on a T-beam

da die aufgebrauchte Verstärkungsschicht die Steifigkeitsverhältnisse im Steg verändert. Die Auswirkungen auf die Steifigkeitsverhältnisse konnten durch Verformungsmessungen an den Stegseiten nachgewiesen werden (Photogrammetrie).

Die Verankerung der Querkraftverstärkung erfolgte in allen Versuchen außerhalb der rechnerischen Biegedruckzone. Die Verstärkungsschicht war allein über den Haftverbund an den Stahlbetonquerschnitt angeschlossen, um die Tragfähigkeit der Verbundfuge zu ermitteln. Das Versagen des Haftverbundes wurde durch Messung der Relativverschiebungen zwischen Steg und Verstärkungsschicht festgestellt.

Titel | Title

Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbetonbauteilen für Querkraft

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

01.2006 – 03.2009

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributor

Dipl.-Ing. Anett Brückner

Textile Reinforcement for Shear Strengthening

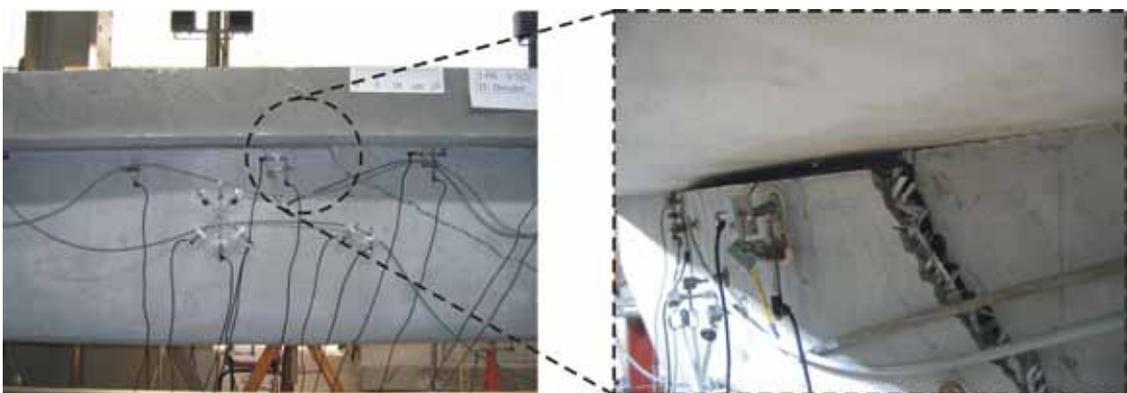
Since the average use of engineered structures is from 80 to 100 years, it is not possible to anticipate and predict every type of the use and form of applied load that a structure will undertake during its lifetime. Unplanned loads, as well as inappropriate calculation assumptions; faulty execution of construction work; or environmental factors can lead to the structural damage of members. Rehabilitation or strengthening measures are required if a structure of this age is to be preserved.

Various methods can be used to increase the shear bearing capacity of a structural member. One option is to strengthen by applying textile reinforced concrete (TRC). TRC combines the material properties of steel reinforced shotcrete with the geometric properties of externally bonded reinforcement (EBR). This means that the textile reinforced concrete has properties comparable to reinforced concrete; however, the thickness of the strengthening more closely resembles that of EBR. These minimal layer thicknesses are possible to achieve by the use of non-corrosive reinforcement from AR-glass, carbon, or other high-performance fibres in a fine-grained concrete matrix with a maximum aggregate size of 1 mm. TRC is then applied in alternating layers of fine-grained concrete and textile reinforcement. The thickness of the

strengthening is between 1 and 2 cm and is dependent on the amount of reinforcement required.

The experimental research of structural members, with practical, relevant dimensions, has shown that the load-carrying capacity of an RC member can be increased considerably by application of textile reinforced shear strengthening. The strengthening is particularly effective if the textile reinforcement works in conjunction with available steel stirrups. In this case, it is expected that the increase in ultimate load would correspond to the shear resistance of the textile reinforcement added. Compared to unstrengthened RC members, however, the actual increase in load-carrying capacity, relative to the shear resistance is lower since strengthening changes the web stiffness. This can be verified by measuring the deformations of each web surface.

The shear strengthening was anchored outside the compression zone in all tests. Strengthening layer and RC members were connected only by the adhesive tensile bond so as to ascertain the load-carrying capacity of the bond joint. The failure of the adhesive tensile bond was stated by measuring the relative displacements between the web and the applied strengthening layers.



Verankerung der Verstärkung
Anchoring of the strengthening

Textilbeton unter Brandbelastung

Ein Anwendungsgebiet für Textilbeton ist die Verstärkung von bestehenden Stahlbetonkonstruktionen. Bisher gibt es jedoch keine belastbaren Aussagen über das Verhalten der textilen Bewehrungsschicht sowie der Kräfteverteilung zwischen Betonstahlbewehrung und textiler Bewehrung während eines Brandes. Angaben zu den Hochtemperatureigenschaften von Beton und Betonstahl können der einschlägigen Literatur entnommen werden. Das Hochtemperaturverhalten der verwendeten Carbonfasern und des Verbunds zwischen textiler Bewehrung und der Feinbetonmatrix soll mit experimentellen Methoden untersucht werden.

Stahlbetonplatten verstärkt mit Textilbeton

Im Rahmen experimenteller Untersuchungen wurden Stahlbetonplatten mit verschiedenen textilen Bewehrungen verstärkt, mit 125 % Gebrauchslast vorgeschädigt und anschließend unter Gebrauchslast mit einer Brandbelastung nach der Einheitstemperaturkurve (ISO-834, cellulosic curve) beaufschlagt. Alle Platten hielten der Brandbelastung bei gleichzeitiger Biegebeanspruchung mehr als 60 Minuten stand und zeigten weder Betonabplatzungen noch andere optische Schädigungen. Die dafür verantwortlichen Mechanismen werden diskutiert, sind aber noch nicht vollständig verstanden. Schlüsselrollen dieses überraschend positiven Ergebnisses spielen dabei vermutlich das gute Rissverhalten von Textilbeton und die aufgrund unterschiedlicher thermischer Eigenschaften der Komponenten Stahl, Beton, Textil und Verbund auftretenden Lastumlagerungen innerhalb des Querschnitts. Die im Anschluss ermittelten Resttragfähigkeiten liegen bei 96 ... 166 % der Gebrauchslast bzw. 47 ... 88 % der Bruchlast.

Zugversuch eines Dehnkörpers aus Textilbeton unter Temperaturbelastung

Tension test on a strain specimen under temperature load

Dehnkörper aus Textilbeton

Für die Ermittlung der mechanischen und thermischen Eigenschaften von Textilbeton im Hochtemperaturbereich dienen Zugversuche an Dehnkörpern unter Temperaturbelastung. Die Verformungen werden berührungslos mittels Photogrammetrie gemessen. Mit unterschiedlichen Randbedingungen wurden verschiedene Ziele erreicht:

- ❑ Stationäre Zugversuche mit verschiedenen Heizraten bis zur Zieltemperatur und anschließendem weggesteuertem Zugversuch ergaben Spannungs-Dehnungs-Linien, Bruchdehnungen und E-Moduli unter verschiedenen Temperaturen. Dabei traten Abplatzungen der Feinbetonmatrix ab einer Heizrate von 10 K/min bei 140 °C auf.
- ❑ Instationäre Warmkriechversuche bei konstantem Belastungsniveau sowie Heizrate bis zum Versagen zeigten ein Absinken der Tragfähigkeit ab 400 °C.

Als Temperatur-Zeit-Funktionen werden die gemessenen Temperaturverläufe aus den Brandversuchen an verstärkten Stahlbetonplatten in der Verstärkungsschicht verwendet. Diese Vorgabe orientiert sich an den Richtlinien für eine Heißbemessung nach Eurocode 2, Teil 1-2.



Textile Reinforced Concrete Under Fire

One area of use for textile reinforced concrete (TRC) strengthening is in existing reinforced concrete structures. Until now, there have been no reliable conclusions drawn about the behavior of TRC layers or the load distribution that occurs between the concrete steel rebar and textile reinforcement during fire. Details concerning the high temperature properties of concrete and reinforcing steel can be gathered from literature. The behavior of applied carbon fibers under high temperature loads, as well as the bond between the textile reinforcement and fine concrete matrix, needs to be analyzed experimentally.

TRC Strengthened RC Slabs

Within the context of experimental research, RC slabs were strengthened with various types of textile reinforcement and then pre-damaged, by applying 125 % of the service load, and subsequently charged with a fire load in accordance with the cellulosic curve (ISO-834) (i.e., under service load). All slabs resisted fire loading with simultaneous bending forces for more than 60 minutes; furthermore, there was neither concrete spalling nor any other observable deterioration present. The mechanisms which can be attributed to this behavior, although not yet entirely understood, are discussed, nonetheless. The varying thermal properties of the steel, concrete, textile and bond components within the specimens and related load redistribution within the cross-section, as well as the specific cracking behavior of TRC, presumably, play a key role in the surprisingly positive results. Subsequently identified residual load bearing capacities are 96 to 166 %

of the service load and 47 to 88 % of the ultimate load.

TRC Strain Specimens

Tension tests on strain specimens under temperature load were utilized to determine mechanical and thermal properties of TRC at high temperature. Temperature-time-functions, measured at the strengthening layer of RC strengthened slabs, are used for the temperature course of fire tests. These pre-determined values are based on the guidelines for heating design according to Eurocode 2, Part 1-2. Deformation was measured using photogrammetry so as to avoid contact with the specimen (i.e., for experimental control).

Distinct differences were attained, as follows, by varying end conditions: Stationary tensile creep tests were conducted in which various heating rates were applied to the specimens until the desired temperature was reached. Spalling of the fine concrete matrix occurred only at the highest heating rate of 10 K/min at approx. 140 °C. These displacement-controlled tensile tests resulted in stress-strain-curves, ultimate strains and Young's moduli for a variety of temperatures. Load capacity began to decrease at 400 °C and continued to drop until failure under unstationary creep tests with both a constant stress level and heating rate.

Titel | Title

Hochtemperaturverhalten von Textilbeton

Förderer | Funding

DFG

Zeitraum | Period

07.2008 – 06.2011

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. Chokri Cherif

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Ehlig
Dipl.-Ing. Ayham Younes



Brandversuch an einer verstärkten Stahlbetonplatte unter Biegung

Fire test on a strengthened RC slab under bending

Leichtbauelemente für Brand- und Schallschutz

In der modernen Architektur werden zunehmend unkonventionelle Entwürfe mit organischen gekrümmten Bauteil- oder Bauwerksformen umgesetzt. Gleichzeitig sind die Anforderungen an die Flexibilität der Grundrissgestaltung gestiegen, um auf mögliche Nutzungsänderungen reagieren zu können. Unter diesen Randbedingungen gestaltet sich die Umsetzung bauphysikalischer Aspekte immer schwieriger, so dass oftmals nur die diesbezüglich vorgeschriebenen Mindestanforderungen Berücksichtigung finden. Dabei können – speziell beim Schallschutz – zusätzliche Maßnahmen zu einer wesentlich verbesserten Nutzungsqualität von Gebäuden und Räumen führen. Auch eine über das Mindestniveau hinausgehende Entwicklung des baulichen Brandschutzes gewinnt für Investoren und Sachversicherer zunehmend an Bedeutung, da die Schäden infolge unzureichender Brandschutzmaßnahmen meist mit einem wirtschaftlichen Bankrott beteiligter Unternehmen verbunden sind.

Die derzeit auf dem Markt befindlichen Bauteilsysteme sind oft auf nur eine der beiden Schutzfunktionen – Schall- oder Brandschutz – ausgerichtet. So bestehen z. B. die leichten Trennwände in Großraumbüros aus nicht brennbarem Material, welches jedoch in der Regel schlechte Schalldämmungs- und Schalldämpfungseigenschaften aufweist. Bei den Schallschutzsystemen handelt es sich größtenteils um Mehrschichtsysteme mit einem Mineral- oder Schaumstoffkern, der für die Absorption der Schallwellen sorgt. Diese Schallschutzelemente sind zumeist nicht brennbar, eine brandschutztechnische Aufwertung der darunter liegenden

Konstruktion lässt sich mit ihnen jedoch nicht erreichen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens besteht in der Entwicklung eines mineralischen Baustoffverbundes, der gleichzeitig die Funktionen des Brand- und Schallschutzes übernimmt. Durch die Kombination der sehr guten Tragfähigkeit von textiltbewehrtem Beton mit den schalldämpfenden und wärmedämmenden Eigenschaften von haufwerkporigem Leichtbeton sollen leichte, selbsttragende Sandwichelemente hergestellt werden, deren räumliche Form an gestalterische oder bauliche Randbindungen angepasst ist. Schwerpunkte sind dabei die Entwicklung geeigneter mineralischer Matrices, der Verbund der einzelnen Schichten, die Fertigung „maßgeschneiderter“ Bewehrungsstrukturen sowie die räumliche Formgebung der Elemente. Zur Beurteilung der verschiedenen Verbundvarianten sind Traglastversuche, Feuerwiderstandprüfungen und Prüfungen der Schallkennwerte geplant.

Hyparschalenkonstruktion Schweinfurt
Hyperboloid shell in Schweinfurt



Lightweight Fire- and Noise Protection

More and more frequently unconventional modern architectural designs are brought to fruition using organic structural members or building forms. Floor plan flexibility has simultaneously expanded the ability for building designers to better react to possible changes of use for building. The aspects of the building physics that must be implemented, however, continue to generate much more of a challenge under these prerequisites, so that often only the specified minimum requirements are taken into consideration. Additional measures – for instance, those pertaining to noise protection – can fundamentally improve the usability of buildings and rooms. Structural fire protection that exceeds the minimum standards is also of increasing importance to investors and property insurers since fire damage occurring from insufficient protective measures usually leads to the economic bankruptcy of participating companies.

Construction component systems that are currently available in the market are often only

specialized in one of two protective functions (fire or noise protection). The light partition walls in open-plan offices consist, for example, of non-flammable materials which, as a rule, have very bad sound absorption properties. The soundproofing systems are generally multi-layer systems with a mineral or foam core layer to provide sound wave absorption. Even though these sound-insulating elements are generally non-flammable, they, however, do not provide any fire protection upgrades to the underlying structure.

The aim of this research project is to develop a cement-based composite element which simultaneously provides two functions, fire and sound protection. By combining the extremely good load-carrying capacity of textile reinforced concrete (TRC) with the sound and heat-insulating properties of lightweight aggregate concrete with open structure lightweight self-supporting sandwich elements can be designed with a three-dimensional form that is easily adapted to creative or structural requirements. The primary emphasis of this work is: the development of suitable mineral matrices; the bond of individual layers; and the production of "tailor-made" reinforcement structures, as well as the three-dimensional manufacturing of elements. To evaluate different designs, load tests, fire resistance tests and sound tests will be used.



Titel | Title

Räumlich geformte, hitzebeständige sowie schalldämmende Leichtbauelemente aus textildbewehrten mineralischen Baustoffen (Multiaxiale Baustoffverbunde)

Förderer | Funding

AiF-Forschungsvereinigung (FV)

Zeitraum | Period

09.2009 – 02.2012

Leiter | Project Manager

Dipl.-Ing. Silvio Weiland, Dipl.-Ing. Jan Hausding

Bearbeiter | Contributor

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

Transfer zum Unternehmen befördern

Das Projekt „Austauschprozesse“ hatte den Aufbau einer Plattform für eine zielgruppenspezifische Entwicklung des Austauschprozesses zwischen der TU Dresden und den Vertretern von Wirtschaft, Behörden und Politik zum Ziel. Am SFB 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ sollte exemplarisch die Möglichkeit der Überführung der Ergebnisse der Grundlagenforschung in die praktische Anwendung bei gleichzeitiger Fortführung der Forschungsarbeit entsprechend den Anforderungen der Praxis aufgezeigt werden. Die Strategie dieses Transfers sollte für andere große Grundlagenforschungsprojekte, insbesondere Sonderforschungsbereiche und Exzellenzcluster, analog nutzbar gemacht werden.

Zu Projektbeginn wurde ein Katalog konkreter Ziele und hierfür geeigneter Methoden erarbeitet und in einem Strategiekonzept zusammengefasst:

- Breite Bekanntmachung des Verbundwerkstoffes Textilbeton durch Marketing und Öffentlichkeitsarbeit,
- Ausbau des Deutschen Zentrum Textilbeton (DZT) als Fach- und Kompetenzzentrum für Textilbeton und Schaffung einer anerkannten Stellung des DZT in Deutschland,
- Aufbau strategischer Partnerschaften, Kontaktaufbau und Partnersuche für Produktentwicklung bzw. Anwendungen bei Pilotprojekten,
- Verfahrens- und Produktzulassungen,
- Schlussfolgerungen zur Umsetzung des Konzeptes für andere Grundlagenforschungsprojekte, insbesondere Sonderforschungsbereiche und Exzellenzcluster,
- Aufbau eines sich selbst tragenden „Deutschen Zentrums Textilbeton“ (DZT).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich der überwiegende Teil der eingesetzten Instrumente während der zwei Jahre Projektlaufzeit bewährt hat. Einige der angewandten Methoden konnten die gestellten Erwartungen nicht vollständig erfüllen bzw. erwiesen sich unter den angegebenen Bedingungen als weniger effizient als angenommen.



Messestand

Stand at a trade fair

Die Anmeldung der Marke TUDALIT® durch die TUDAG und die Gründung des TUDALIT Markenverbandes mit der TU Dresden und namhaften Unternehmen der Textil- und Bauwirtschaft dient der Etablierung von Textilbeton als hochwertiges Markenprodukt. Mit den Lizenzeinnahmen und Mitgliedsbeiträgen soll zunächst vorrangig das Marketing von TUDALIT finanziert und so die Ergebnisse des Austauschprojektes weiter ausgebaut werden.

Für interessierte Mitarbeiter anderer großer Forschungsprojekte sowie Entscheidungsträger der TU Dresden wurde am 4. Dezember 2009 ein Kolloquium durchgeführt, in welchem die Ergebnisse und Erfahrungen des Transferprojektes dargestellt wurden und als Diskussionsgrundlage für die Übertragbarkeit dienen. Die rege Diskussion der Teilnehmer zeigte den großen Bedarf an derartigen Transferprojekten.

Titel | Title

Die TUD – Austauschplattform für SFBs und Exzellenzcluster

Förderer | Funding

Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft

Zeitraum | Period

10.2007 – 10.2009

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Silvio Weiland, Dipl.-Ing. Kerstin Schön

Science to Business

The aim of the “Technology Transfer Processes” project was to develop a platform for specific target group transfer processes between the Technische Universität Dresden and representatives of economic, regulatory, and political entities.

Within the Collaborative Research Centre 528 (Sonderforschungsbereich 528), “Textile Reinforcements for Structural Strengthening and Repair”, the goal was to provide an opportunity by which fundamental research results can be exemplified for practical use while simultaneously maintaining on-going, concurrent project research grounded in the demands of practise.

The strategy behind this technology transfer should serve as a template for other large fundamental research projects at Technische Universität Dresden, particularly for Collaborative Research Centres and Clusters of Excellence.

Initially, a list of specific goals and suitable objectives (i.e., methods) for reaching these goals was compiled and summarised into a strategic plan as follows:

- ❑ Announce and promote textile reinforced concrete (TRC) as a product using widespread marketing and public relations campaigns and techniques;
- ❑ Develop the Deutsches Zentrum Textilbeton (German Centre for TRC) or DZT into a professional and consulting centre for textile reinforced concrete with a well established reputation in Germany in the field of TRC;
- ❑ Establish strategic partnerships, including a search for construction contractors and product developers, for the initiation of pilot projects;
- ❑ Attain proper procedural and product licensings;
- ❑ Draw conclusions from the strategic plan that can easily be transferred to other fundamental research projects undertaken, particularly for Collaborative Research Centres and Clusters of Excellence; and

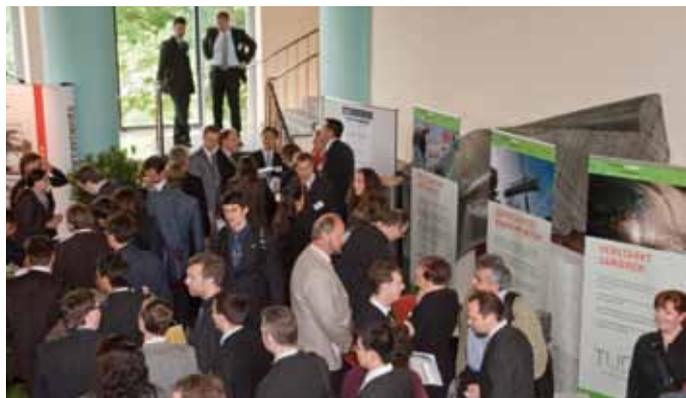
- ❑ Create and establish a self-sustaining business unit, DZT.

In summary, it is clear that the better portion of the activities undertaken has proven to be successful during the two-year project term. In spite of the fact that some methods applied were incapable of completely fulfilling expectations, results produced in these situations were less efficient than expected under the given conditions.

The registration of the TUDALIT® by the TUDAG (Technische Universität Dresden AG) and the establishment of the trademark association, TUDALIT, with the Technische Universität Dresden and well-known enterprises within the textile and construction industries have served to position textile reinforced concrete as a high-quality brand product.

TUDALIT’s first priority will be to use the product license revenue and its group membership fees to finance the marketing of the product and fostering further development of TRC.

A colloquium was held on the 4th of December, 2009 in which the results and experiences of the transfer project were shown and used as a basis for discussion of transferability. An intense discussion of participants, which included key personnel of other large fundamental research projects, as well as decision-makers from the Technische Universität Dresden, clearly indicated a tremendous demand for such technology transfer projects.



Wissenstransfer auf Tagungen
Transfer of knowledge during conferences

Textilbeton-Sandwichplatten

In diesem Projekt wird das mechanische Verhalten von Sandwichplatten unter quasi-statischer und dynamischer Belastung untersucht. Experimentelle Daten aus Drei- und Vier-Punkt-Biegeversuchen werden mit verschiedenen numerischen Modellen verglichen. Die getesteten Sandwichelemente ($l = 600 \text{ mm} / 1200 \text{ mm}$, $b = 100 \text{ mm}$) bestehen aus einem 80 mm dicken Polyurethanschaum-Porenbetonkern und zwei 8 mm dicken Deckschichten aus Textilbeton, verklebt mit dünnen Epoxid-Harz-Schichten. In einer Parameterstudie wird der Einfluss von Spannweite, Schaum-Porenbeton-Dichte und Bewehrungsgehalt in den Deckschichten untersucht. Die Tests werden mit der dreidimensionalen markerlosen Photogrammetrieanlage GOM ARAMIS 5M aufgenommen, um detaillierte Aussagen über das Trag- und Verformungsverhalten zu ermöglichen.

Testergebnisse

Bei den Proben mit Schaumstoffkern zeigte sich eine lineare Last-Verformungsbeziehung bis zum Erstriss in der unteren Textilbetonschicht. Hierauf war eine weitere deutliche Laststeigerung, bei verringerter Steifigkeit möglich, bis durch Schubrisse im Kern das Versagen eingeleitet wurde. Bei den Proben mit Porenbetonkernen traten durch den wesentlich höheren Elastizitätsmodul deutlich geringere Verformungen auf. Jedoch konnte

keine Laststeigerung beim Übergang der Deckschichten in den Zustand II erzielt werden, da sich zuerst ein durchgehender Schubriss im Kern ausgebildet hatte, der einen abrupten Kraftabfall zur Folge hatte.

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass die Biegesteifigkeit der Proben fast ausschließlich von der Schubsteifigkeit des Kernmaterials abhängt, während eine Erhöhung des Bewehrungsgehalts ein duktileres Bauteilverhalten bewirkt.

Rechenmodelle

Diese Ergebnisse wurden mit klassischen Sandwich-Theorie-Rechenmodellen verglichen, die eine gute Übereinstimmung zeigten. Um das Verhalten von Sandwichelementen numerisch zu modellieren, werden zusätzlich verschiedene FE-Software-Produkte sowie verschiedene Materialmodelle und Netzgeometrien untersucht.

Weitere Planung / Anwendung

Zukünftig sind dynamische Versuche mit einer Fallgewichtsanlage geplant. In Abhängigkeit vom Steifigkeitsverhältnis der verschiedenen Schichten werden verschiedene plastische Effekte erwartet. Daher können Sandwichstrukturen hohe Aufprallenergien mit relativ geringem Eigengewicht aufnehmen.



3-Punkt Biegeversuch,
Spannweite 50 cm

*3-point bending test,
span 50 cm*

TRC Sandwich Panels

In this project the mechanical behaviour of sandwich slabs under quasi-static and dynamic loading is being investigated. Experimental data from three- and four-point bending tests are compared with different numerical models. The sandwich panels tested ($l = 600 \text{ mm} / 1200 \text{ mm}$, $b = 100 \text{ mm}$) consist of an 80 mm polyurethane foam or aerated concrete core and two 8 mm surface layers of textile reinforced concrete, bonded by thin layers of epoxy resin. The effect of span; density of the foam / aerated concrete; and reinforcement content in the surface layers were examined in a parametric study. These tests also employed an optical 3D measuring system for monitoring with results leading to detailed conclusions about the load-deformation behaviour.



Versuchsaufbau 3-Punkt Biegung – Spannweite 100 cm

Test setup 3-point bending test – span 100 cm

Test Results

Foam core samples showed a linear load-deflection relationship until initial cracking of the lower layer of TRC. An additional significant increase in the load is also possible, however, with a decreased stiffness level, until failure is initiated by shear cracks occurring in the core. The aerated concrete core samples behaved in a much stiffer manner due to the significantly higher modulus of elasticity of the core. However, there was no load increase after initial cracking since a continuous shear crack occurred in the core prior to cracking leading to an abrupt load reduction.

A comparison of results shows that the bending stiffness of samples was dependent almost entirely on the shear stiffness of the core material, while an increase in the percentage of reinforcement in TRC layers primarily enhances the ductility of the structure.

Computer Models

Results were compared to classical computational sandwich theory models exhibiting a good agreement. Various FE-software products, as well as various material models and network geometries, were also investigated to numerically model the behaviour of these sandwich panels.

Further Planning / Applications

Dynamic drop-weight facility experiments are planned for the future. Depending on the stiffness ratio of the different layers used, a variety of plastic effects are expected, therefore, enabling sandwich structures to be able to absorb high impact energy in spite of their relatively low dead weight.

Titel | Title

Textilbeton-Sandwichplatten unter Stoßbelastung

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Joachim Finzel M.Sc.

Verbundermüdung unter Querzug

Längsrisse

Eine große Anzahl von Stahlbetonbauteilen unterliegt einem zweiaxialen Lastabtrag unter zyklischer Beanspruchung. Typische Beispiele sind Industriebauten mit Stahlbetondecken oder Verbundbrücken mit nicht vorgespannten Fahrbahnplatten. Massige Gabelstapler oder Schwerlastfahrzeuge rufen nicht ruhende Belastungen in diesen Elementen hervor. Die Zugspannungen in der Hauptlastrichtung bewirken die Bildung von Rissen parallel zu den Querbewehrungsstäben. Tritt ein derartiger Riss direkt entlang eines Bewehrungsstabes auf, wird besonders die Verbundqualität der Querbewehrung beeinträchtigt.

Ausziehversuche

Um das Verbundverhalten zwischen Beton und Rippenstahl unter Ermüdung und Querzug zu

bewerten, wird seit 2007 ein entsprechendes Versuchsprogramm durchgeführt. Dazu wurden Ausziehkörper mit einem Längsriß entlang des Bewehrungsstabes entworfen, welche einer schwellenden Ausziehbelastung ausgesetzt werden. Alle bisherigen Versuche wurden mit Betonprismen der Abmaße 300 mm x 300 mm x 160 mm, einem Ausziehstab mit 16 mm Durchmesser und einer Verbundlänge von 10 Stabdurchmessern durchgeführt. Eine Einschnürung des Prismas gab den Ort des Längsrisse entlang des Ausziehstabes vor. Die erforderliche Querzugbelastung wurde auf vier Querzugstäbe durch einen gesonderten Stahlrahmen aufgebracht. Die Festlegung der Schwingspiele orientierte sich an den normativen Regelungen für Rippenstäbe im Grenzzustand der Ermüdung. Die hochzyklischen Versuche mit bis zu einer Million Lastwechseln beinhalteten vier verschiedene Schwingspiele mit drei unterschiedlichen Rissbreiten.



Schlupfanstieg

Für den Vergleich der verschiedenen Belastungsbedingungen wurde das Schlupfwachstum zwischen Bewehrungsstab und Beton in Abhängigkeit der Lastwechselzahl herangezogen. Der Einfluss des Querzuges auf den Verbundwiderstand unter schwellender Belastung verdeutlichte sich. Je breiter der Längsriß durch Querzug wurde, desto stärker wuchs der Schlupf und umso eher versagte der Verbund. In einigen Fällen führte das Schlupfwachstum gemäß Model Code 90 zu einer Unterschätzung des Schlupfanstieges. Hinsichtlich der untersuchten Rissbreiten konnte eine Verbesserung des Ansatzes vorgenommen werden. Mit der Vorhersage der Schlupfentwicklung wurden erste Wöhlerlinien der Verbundermüdung für Bemessungszwecke abgeleitet. Alle Ausziehversuche mit Normalbeton konnten in diesem Jahr beendet werden. Der nächste Schritt beinhaltet vergleichbare Untersuchungen für hochfesten Beton.

Versuchstand

Test setup

Fatigue of Bond Under Transverse Tension

Longitudinal cracks

A large number of reinforced concrete structures are exposed to bi-axial load transfer under cyclic loading. Typical examples include industrial structures with reinforced concrete slabs and composite steel and concrete bridges with un-tensioned bridge decks. Heavy equipment loads or heavy vehicular traffic actuates non-monotonic load conditions within the structure's elements. Tensile stress in the primary load direction causes crack development parallel to transverse reinforcement (i. e., bars). In those cases when cracks appear directly along the rebar, the bond quality of the transverse reinforcement is particularly affected. In 2007 an experimental test program was initiated in order to evaluate the bond behaviour between concrete and ribbed steel bars under repeated load and transverse tension.



Schlupfmessung
Slip measuring

Pull-out Tests

Pull-out specimens with a longitudinal crack located along reinforcing bars were exposed to repeated pull-out loads. All tests were performed on concrete prisms measuring 300 mm × 160 mm × 160 mm, with a pull-out bar diameter of 16 mm and a bond length of 10 bar diameter. The notched cross-section of the prism guaranteed the location of the longitudinal crack along the pull-out bar. The required transverse tensile

load was applied to four transversal steel bars by means of a separate steel frame. Stress ranges were adequately defined to fall within the standards of fatigue limit states for ribbed steel bars. High cyclic tests, of up to one million load cycles, were performed for four different load levels and three different crack widths.

Slip Increase

The increase in slip (i. e., slip between steel rebar and concrete) relative to the number of load cycles was taken into account to compare various load conditions. The influence of transverse tension on bond resistance under repeated loading became evident. The wider the longitudinal crack widths resulting from transverse tension were the greater the increase in slip and the sooner bond failure occurred. In some cases, slip development, as given by Model Code 90, led to an underestimation of slip increase as observed in testing.

It was possible to enhance the model with regard to the crack widths tested. Initial S-N-curves for bond fatigue were derived for fatigue design based on slip development predictions. Pull-out tests for normal strength concrete were completed in 2009. A comparable study with high strength concrete will follow as part of the next step.

Titel | Title

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

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

04.2007 – 03.2009 CU 37/8-1

11.2009 – 10.2011 CU 37/8-2

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Alexander Lindorf

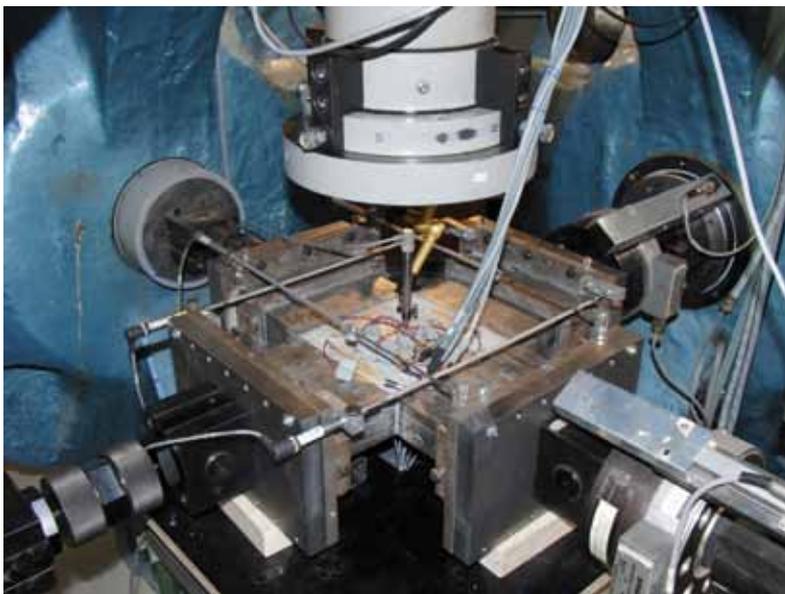
Stahl- und Spannbeton unter Querzug

Im Störfall wird ein Stahlbetoncontainment als räumliches Tragwerk großen Druck- und Temperaturbelastungen ausgesetzt. Die Stahlbetonstruktur des zumeist zylindrisch aufgebauten Behälters gerät dabei sowohl in Umfangs- als auch in vertikaler Richtung unter eine Zugbeanspruchung. Bei der Überschreitung einer kritischen Grenze kann diese zweiaxiale Beanspruchung offenbar bereits auf einem niedrigeren Niveau zu einer Rissbildung im Containment führen, als aus der Erfahrung mit einaxialen Tests abzuleiten wäre. Für Leckratenberechnungen und die Beurteilung von Grenzzuständen bei Störfällen sind daher präzisierete Kenntnisse über die Abläufe der Rissentstehung sowie über die weitere Verformungsentwicklung bereits entstandener Risse notwendig.

Ziel des Projektes ist es, die Veränderungen bei der Erstrissentstehung infolge einer zusätzlichen Querzugbelastung unter Berücksichtigung der spezifischen Verbundbedingungen zwischen Beton und Bewehrungsstahl sowie zwischen Beton und Spannstahl zu untersuchen. Anhand der Ergebnisse der im Vorhaben durchzuführenden Versuche sollen die Verbundeigenschaften bei Auszug des Betonstahls unter Querzugbeanspruchung beschrieben und damit die Vorhersage des Verformungsverhaltens des Containments bis zum Abschluss der Erstrissbildung präzisiert werden.

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in drei Einzelthemen.

- 1) Bestimmung des Verbundverhaltens zwischen Beton und Betonstahl unter Querzug. Innerhalb der hier durchgeführten Versuche wird die Abhängigkeit des Verbundwiderstandes zu einer senkrecht zur Bewehrung wirkenden Zugkraft untersucht. Die Querzugkraft liegt unterhalb der Zugfestigkeit des Betons.
- 2) Bestimmung des Einflusses einer zweiaxialen Zugbelastung auf die Zugfestigkeit des Betons. Um die Beanspruchung und Verformung der Verbundzone wirklichkeitsnah zu erfassen, wird das Verhalten des Betons unter zweiaxialer Zugbeanspruchung untersucht. Ein Vergleich mit der einaxialen Zugfestigkeit wird angestellt.
- 3) Bestimmung des Verbundverhaltens von Spanngliedern mit nachträglichem Verbund. Bedingt durch die zusätzlichen Elemente Hüllrohr und Verpressmörtel gelten im Spannbetonbau veränderte Verbundübertragungsmechanismen. Diese und die Rissbildung werden an Probekörpern mit realen Bauteilgrößen auch unter Berücksichtigung eines vorhandenen Querzuges untersucht.



Zweiaxialer Zugversuch
Biaxial tensile test

RC under transverse tension

The three-dimensional structure of reinforced concrete containments is exposed to high internal compressive forces and temperature loads when hazardous incidents occur. As a result, tensile loads affect the behaviour of the reinforced concrete structure in both the hoop and meridian directions. If the load exceeds a critical limit, the biaxial stress state could lead to the onset of cracking at a lower level than expected from uniaxial laboratory tests. Precise knowledge of the initial cracking process and the progressive growth of existing cracks are needed to determine leakage rates and the evaluation of limit

states when hazardous incidents occur. The goal of this project is to analyze changes in initial cracking caused by transverse tensile loads taking into account the specific bond conditions of post-tensioned tendons. The experimental results from this project are used to describe bond properties under transverse tensile loads that occur during pullout to predict and specify the deformation of the concrete containment during the state of initial cracking.

The project is divided into three parts, focusing on the following investigations:

Titel | Title

Der Einfluss von Querzug auf die Rissbildung und den Verbund zwischen Beton und Bewehrung in Stahlbeton- und Spannbetoncontainments

Förderer | Funding

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

Zeitraum | Period

04.2007 – 12.2010

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Steffen Schröder,
Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer, Henry Schäfer M. Sc.



Verbunduntersuchung bei Querzug
Bond test under transverse tension

- 1) Bond behaviour between concrete and steel rebar reinforcement under transverse tension; experimental testing, in which the lateral tensile stress is less than the uniaxial concrete tensile strength, was used to examine the relationship between bond strength and tensile forces acting laterally to the reinforcement.
- 2) The effects of biaxial tensile stress states on concrete tensile strength; differences in concrete tensile strength resulting from uniaxial and biaxial tensile loading need to be examined to insure the realistic modelling of stress and deformation of the bond area. A comparison between the biaxial and uniaxial tensile strengths was made.
- 3) Bond behaviour of post-tensioned tendons under transverse tension. The mechanisms of bond transfer in this type of bond system require adjustment when additional elements, such as duct and grout, are applied. Future studies of full-scale specimens under transverse tensile loading will be conducted to gain further insight into these mechanisms.

Beton bei dynamischer Beanspruchung

Beton kann in unterschiedlichsten Situationen stoßartiger oder wechselnder Beanspruchung unterliegen. Beispielsweise können Fels- und Gesteinsbrocken auf Betonstraßen herabstürzen, es kann in Unfallsituationen zu Fahrzeuganprall auf Betonkonstruktionen kommen, oder Tragkonstruktionen von Fabrik- und Fertigungshallen können dynamischer Belastung infolge schlag- und stoßartiger Maschinenprozesse ausgesetzt sein. Bei solchen Beanspruchungen unterliegt der Beton hohen Dehnraten, das bedeutet, dass sich die Dehnungswerte im Beton sehr schnell ändern.



Schiffsanprall Magdeburg 1913
Ship impact Magdeburg 1913

Ziel des Projektes ist es, das Verhalten von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten zu erforschen. Von besonderem Interesse ist dabei die Festigkeitssteigerung von Beton, das heißt, welchen Widerstand Beton dynamischer Belastung im Vergleich zu statischer Belastung entgegensetzen kann.

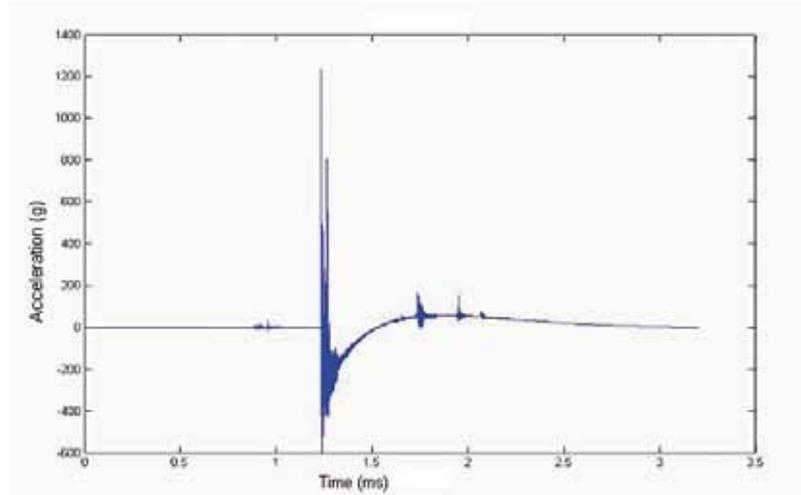
Eine Methode für die Untersuchung von hohen Dehnraten ist der Split-Hopkinson-Bar. Hierbei wird der Durchgang einer Druck- oder Zugwelle durch den Betonprobekörper untersucht. Der Betonprobekörper befindet sich in einer geraden Achse direkt zwischen zwei langen Übertragungsstäben. Auf das eine Ende des Übertragungsstabes wird ein Druckimpuls aufgebracht, der sich dann als Druckwelle zunächst durch den Übertragungsstab, durch den Betonprobekörper und schließlich durch den zweiten Übertragungsstab fortsetzt. Durch Messung der durchlaufenden Welle vor und nach dem Probekörper können Rückschlüsse darüber gezogen werden, wie sich die Welle innerhalb des Probekörpers verändert hat. Um hohe Dehnraten messen und analysieren zu können, werden hohe Anforderungen an die messtechnische Signalerfassung gestellt. So muss eine Abtastrate von mindestens 500.000 Messungen pro Sekunde gewährleistet werden.

In einer weiteren Phase des Forschungsvorhabens soll der Split-Hopkinson-Bar auf zwei Dimensionen erweitert werden, um das Betonverhalten unter mehraxialer dynamischer Beanspruchung zu untersuchen. Anders als beim eindimensionalen Fall befindet sich der Betonkörper hier in zwei Achsen zwischen insgesamt vier Übertragungsstäben. Eine außerordentliche Herausforderung dieser Versuchsanordnung besteht darin, dass insbesondere die Impulsauslösung in den Übertragungsstäben beider Achsen synchron erfolgen muss, damit die beiden Druckwellen gleichzeitig und in gleicher Phase auf den Betonkörper auftreffen.

Ein weiteres Ziel des Forschungsprojektes ist es, die aus den experimentellen Untersuchungen am Split-Hopkinson-Bar gewonnenen Erkenntnisse in ein mehraxiales Materialmodell einfließen zu lassen.

Concrete Under Dynamic Load

Concrete can be subjected to impact or alternating loads in different situations. For example, pieces of rock can fall onto concrete roads; vehicles can crash into concrete structures during accidents; or supporting structures of factories and manufacturing plants can be subjected to dynamic loads from production processes or machine malfunctions. High strain rates occur in such load cases resulting in rather quick changes to concrete strains.



Beton unter dynamischer Beanspruchung

Concrete object under dynamic load

The goal of this project is to investigate the behavior of concrete under high load velocities with an emphasis on the increase in strength properties of concrete. In particular, which resistance concrete can oppose to dynamic load compared to quasi static loading.

One method used to investigate high strain rates is the Split-Hopkinson-Bar method in which the passage of a pressure or tensile wave through a concrete object is analysed. The concrete test specimen is located along a straight axis directly between two long transmission bars. A pressure impulse is applied to one end of the transmission bar which then travels as a pressure wave, first, through the

bar, then through the concrete test specimen and, finally, through the second transmission bar. By measuring the wave as it passes from in front of and behind the concrete test specimen conclusions can be made about how the wave changed inside of the specimen. A sufficiently large sampling rate of signal recordings must be made to accurately analyze high strain rates; therefore, a sampling rate of at least 500,000 per second must be reached.

The Split-Hopkinson-Bar will be enhanced to two dimensions in a future stage of this research project in which concrete behavior under bi-axial dynamic load is to be investigated. Contrary to the one-dimensional case, here the concrete test specimen is to be located in two axes between four transmission bars. The triggering of the load impulse is an enormous challenge for the experimental set-up as impulses must be precisely synchronized so that the load is applied at both bar ends simultaneously (i. e., transmitted to both axes so that the two pressure waves reach the concrete specimen at the same time and phase).

An additional goal of this research project is to incorporate the knowledge from experimental work using the Split-Hopkinson-Bar method as part of a multi-axial material model.

Titel | Title

Verbundvorhaben: Verhalten von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten. Teilprojekt: Experimentelle Untersuchungen zur zweiaxialen Festigkeit und Formulierung einer stoffgesetzlichen Beschreibung

Förderer | Funding

BMWi / GRS

Zeitraum | Period

07.2009 – 12.2012

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Anja Hummeltenberg

Biostatistik und Verbundermüdung

Vor der Verwendung von hochfestem Beton (HPC) für ermüdungsbeanspruchte Bauteile, z. B. im Brückenbau, war zu klären, inwieweit das sprödere Material zu einem schnelleren Verbundversagen führen kann. Dazu wurden in der ersten Projektphase eine Reihe von Ausziehversuchen an kurzen Verbundlängen geplant und ausgeführt. Die Probekörper sind einfachen statischen Verbundlasten und konstanten, hochzyklischen Zugschwellbelastungen bis zu 1 Million Lastwechseln ausgesetzt worden. Variiert wurden auch Betondeckung und Bewehrungsdurchmesser. Die Amplitude und die sogenannte Mittelspannung wurden relativ zur statischen Verbundversagensspannung bestimmt, wobei die maximale Verbundspannung 55 %, 70 % oder 85 % der Versagensspannung betragen hat. Im Ergebnis der ersten Projektphase wurde festgestellt, dass das Verbundverhalten von HPC unter Ermüdung nicht signifikant schlechter ist als für Normalbeton.

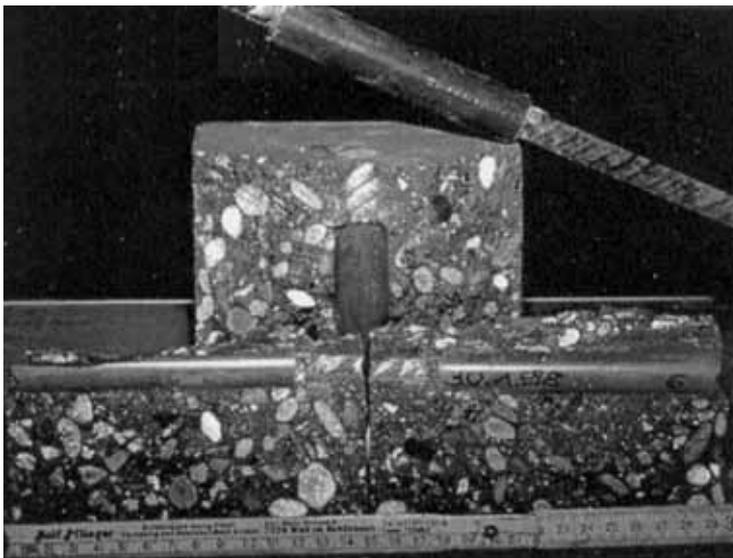
Auswertung mit Hilfe biostatistischer Methoden

Die begrenzte Parametrisierung, das generelle Versuchsende bei 1 Million Lastwechsel und vereinzelte Zensierungen nach unerwarteten Betonstahlbrüchen erschwerten erheblich Modellbildung und Auswertung. Biostatistische Methoden der Überlebenszeitanalyse ermögli-

chen die detaillierte Modellbildung unter solchen Randbedingungen. Dafür ist die Zeitachse in die Lastwechselzahl zu übersetzen und den Daten ein Zensur- bzw. Trunkierungsstatus hinzuzufügen. Zusätzlich wurde eine Randomisierung und Transformation der Longitudinaldaten in Datendupel vorgenommen, die den Überlebensstatus auf möglichen Beobachtungshorizonten quasi-unabhängig zeigen. Aus den Daten konnten mit logistischen Regressionsmodellen Funktionen für Smith- und Wöhlerdiagramme abgeleitet werden, die direkt auf gewünschte Überlebenswahrscheinlichkeiten zielen. Kaplan-Meier-Schätzungen der Überlebensfunktion halfen beim Abschätzen des Einflusses der Zensierungen. Das im Diagramm dargestellte Cox-PH-Modell zeigt deutlich, dass die verbesserten Materialeigenschaften des HPC (Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul) sogar zu einer Steigerung der mittleren Überlebenszeit führen können. Eine relativ höhere Unterspannung bei konstantem Oberspannungsniveau führt zu einer höheren Schädigungsrate.

Veröffentlichung

Eckfeldt, L.; Curbach, M.: Application of Biostatistics in the Analysis of Fatigue Data in Bond Research. Proceedings of the 7th IPW, Delft, 2009, 26 Seiten.

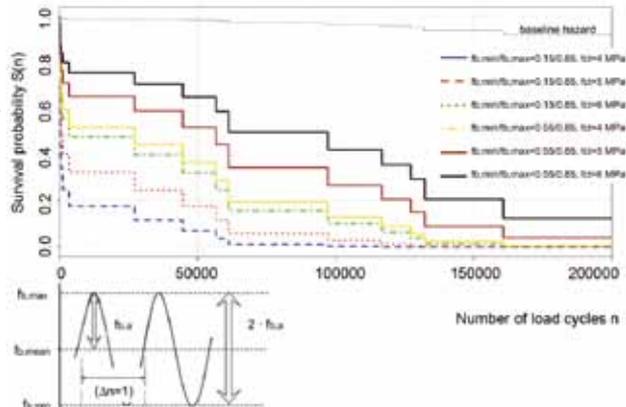


Geöffneter Ausziehversuchskörper für Ermüdungstest
Opened pull-out specimen for bond tests under fatigue loading

Biostatistics and Bond Fatigue

Before high performance concrete (HPC) could formally be approved for use in structural members under fatigue loading, (e.g., in bridge engineering), it was necessary to clarify whether or not premature fatigue failure could be attributed to the brittleness of the material. Several series of pull-out-tests (POT) were developed and conducted for short bond lengths to investigate this notion during the initial stage of this research project.

Specimens in these tests were subjected to static loading and constant, high-cyclical, tensile fatigue loading until failure or 1 million load-cycles, whichever occurred first. Tests were conducted on bars of different sizes having a variety of concrete covers. This testing regime also required investigation into different amplitudes and mean stress levels selected based on the ultimate bond strength. The upper stress bounds chosen for fatigue loading were 55 %, 70 % or 85 %, respectively. The test results led to the conclusion that the bond fatigue behaviour of HPC was not significantly different than that of normal strength concrete (NSC).



Cox-PH-Modell für Überlebenswahrscheinlichkeit des Verbundes in HPC unter Ermüdungsbeanspruchung

Cox-PH (proportional hazard) diagram for fatigue survival of bond tests in HPC

borrowed from survival analysis in biostatistics allowed for more in-depth research into parametric effects under these circumstances. Application of this model required translation of the original time axis into the number of load-cycle axis which is more suitable, and the addition of censoring or truncation status. Original longitudinal data also needed to be randomized and transformed into data duples that indicated quasi-independent, sampled, load-cycles with the corresponding status of survivability falling within the range of 30 to 1 million load-cycles. Functions, direct referencing to survivability, were produced using logistic regression analysis to develop corresponding Smith- and Wöhler-diagrams. Kaplan-Meier survival estimates helped to evaluate impacted of censoring. The Cox-PH Model in the figure indicates that the improved material properties of HPC (i. e., tensile strength, modulus of elasticity) actually can lead to higher mean survival rates. Higher damage rates occur when the lower stress bound is relatively high and the upper bound is held constant.

Biostatistics Methods for Analysis

The analysis and model building were generally hindered to a great extent by: limited levels of multiple factors, fatigue run-outs of over 1 million load-cycles; and the isolated censoring that occurs after unexpected failures of steel reinforcing. Methods

Titel | Title

Datengrundlage: Das Verbundverhalten von Hochleistungsbeton und Bewehrungsstahl unter Ermüdungsbeanspruchung (Vortrag für 7. IPW, Delft)

Förderer | Funding

TU Dresden, Institut für Massivbau; DAfStb (V377)

Zeitraum | Period

2009

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributor

Dr.-Ing. Lars Eckfeldt

More Information

Eckfeldt, L.; Curbach, M.: Application of Biostatistics in the Analysis of Fatigue Data in Bond Research. Proceedings of the 7th International Probabilistic Workshop (IPW), Delft, The Netherlands, 25.–26.11.2009, 26 pages

Explorative Untersuchungen an Rissen

Die fib TG-4.1 hat die Aufgabe, die Vorhersagequalität der Ansätze zur Beschreibung repräsentativer Rissgrößen zu verbessern. Dazu stehen Datensätze aus Tests zur Verfügung, die für Untersuchungen zur Modellqualität herangezogen werden können. Sie enthalten bisher identifizierte Parameter und eignen sich zur Kalibrierung von Modellen. Der eigene Arbeitsanteil konzentriert sich auf explorative und statistische Analysen zum Einfluss einzelner Parameter, Prüfung der fundamentalen Modellannahmen und des Zusammenhanges mit der Verbundspannungsverteilung in der Rissumgebung. So wurden Modellvorschläge als auch andere aktuelle europäische, amerikanische und russische Modelle für charakteristische Rissbreiten geprüft. Neue Konzepte für die Datenauswertung wurden entwickelt und eine Reihe von Korrelations- und Interrelationstests durchgeführt. Detaillierte Messungen geben Aufschluss über die Entwicklung von Mikrorissen und der Verbundspannung entlang langer Verbundlängen. Ursachen für die Zufälligkeit von mittleren Rissabständen und repräsentativen Rissbreiten konnten in Simulationen nachgewiesen werden.

Weitere Arbeit

Der CEOS-Workshop in Paris 2009 diente der Diskussion aktueller Ergebnisse im Umfeld des

Themas Rissbildung und Rissgrößen sowie deren Haupteinflussparameter und Nachweismethoden.

Dazu wurden stochastische Simulationsergebnisse zur Rissentwicklung vorgestellt, die zufällige Festigkeitsfelder und die sukzessive Rissentwicklung berücksichtigen. Diese zeigen, dass die Rissgrößen unter konstanten Bauteilbedingungen über große Bereiche lognormalverteilt sind. Die mittleren Rissbreiten sind aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes erwartungsgemäß normalverteilt und die maximalen Rissbreiten erscheinen im Wesentlichen lognormalverteilt, mit der Tendenz der Extrema zur Gumbelverteilung. In der Diskussion zu Möglichkeiten von Grenzzustands- und Zuverlässigkeitsuntersuchungen wurde auf die Schwierigkeiten der Erfassung des Rissproblems aufmerksam gemacht. Der Nachweis gegen ein Designkriterium kann nur den Fraktile mit einer viel zu hohen Versagenswahrscheinlichkeit gegenüber der Forderung aus EC 0 nachweisen. Eine Lösung kann in der Kopplung an Dauerhaftigkeitsrandbedingungen liegen.

Zusätzliche Informationen

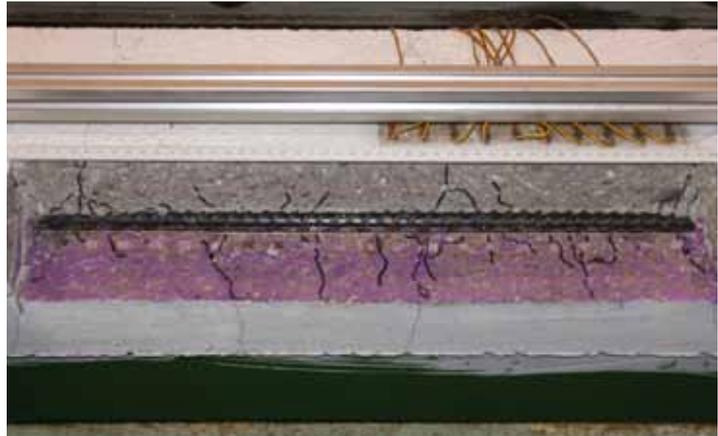
Eckfeldt, L.: Random Effects Inside the Cracking Data of RC Tests. Proceedings of the 6th International Probabilistic Workshop, Darmstadt, 2008, S. 183-205

Messung der internen Rissöffnung
Measuring internal crack widths



Exploratory Research on Cracks

The overall goal for a variety of work performed under fib task group 4.1 is to improve the robustness of estimates for representative crack widths. This approach employs existing datasets to allow for in-depth research into model quality. These datasets incorporate parameters that have been identified to date and are suitable for model calibration. This project focuses attention on the explorative and statistical data analysis of the effect of various parameters; the examination of fundamental model assumptions; and the interrelationship between bond stress distribution and surrounding crack pattern.



Interne Mikrorissbildung in der Verbundzone von Stahlbeton
Internal micro-cracking in the bond zone of RC

Current European, American and Russian models for characteristic crack widths, as well as model proposals were studied. This undertaking incorporated the task of developing tailored methods for data analysis, sampling strategies, and the use of advanced testing of correlation and interrelationships accordingly. Measurements taken from long bond lengths provided information concerning the development of bond stresses and micro-cracking. Simulations helped to disclose reasons for the randomness of mean crack spacing and representative crack widths.

Future Intentions

The CEOS-Workshop, held in Paris in 2009, served as a platform for discussing recent findings within the research field of cracking, particularly in

the area of primary influential factors and related design. Initial results from stochastic simulations were presented. These took into account random strength fields and successive crack development. Findings indicate that the distribution of crack widths under constant conditions is lognormal over wide areas. As expected by the application of the central limit theorem, mean crack widths are normally distributed. Maximum crack widths tend once again to form a lognormal distribution, while the extremes tend toward the formation of a Gumbel distribution.

The particular difficulties of accurate crack problem assessment have been noted relative to the potential of limit state research and reliability analysis. Design analysis supporting a particular design criterion can only reproduce the original percentile selected, which still, however, leads to a far too high failure probability when compared to the requirements of Eurocode 0. Coupling this problem with probabilistic durability boundary conditions may produce more realistic figures that better correspond to experience.

Additional Reading

Eckfeldt, L.: Random Effects Inside the Cracking Data of RC Tests. Proceedings of the 6th International Probabilistic Workshop, Darmstadt, 2008, p. 183-205

Titel | Title

Mitarbeit fib TG-4.1 „Serviceability Models“ und Teilnahme am CEOS-Workshop „Control of Cracking in R.C. Structures : a Major Step Towards Serviceability“

Förderer | Funding

TU Dresden, Institut für Massivbau

Zeitraum | Period

2009

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Lars Eckfeldt

Bearbeiter | Contributor

Dr.-Ing. Lars Eckfeldt

Vorhersage sehr kleiner Rissbreiten

Die DAfStb-Richtlinie „Betonbau im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ für dichte Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe toleriert nur dann Risse in Stahlbetonbauteilen, wenn diese wirksam auf Rissbreiten von $\leq 0,1$ mm begrenzt werden können. Das Nachweiskonzept der DIN 1045-1 ist jedoch eigentlich für Rissbreiten zwischen 0,2 und 0,4 mm ausgelegt. Die Untersuchung von Testdaten zeigt, dass die Unsicherheit der Vorhersage

$w_k \leq 0,2$ mm gegenüber planmäßig größeren Rissbreiten stark zunimmt. Würde man Rechenwerte der Rissbreite $\leq 0,1$ mm nach DIN nachweisen wollen, wäre in 70 % der Fälle zu erwarten, dass schon die mittlere Rissbreite im Bauteil tatsächlich größer ist. Das würde umfangreiche Nacharbeiten zur Regel machen. Auch bei der Prüfung anderer Modelle lag die Überschreitungshäufigkeit durch maximale Risse bei mindestens 65 % in der Klasse $w_k \leq 0,1$ mm.

Aktuelle Tests und Ergebnisse

Zur Untersuchung der Zufälligkeit der Rissbildung und des angeschlossenen Verbundproblems wurden Tests an einfachen 600 und 3000 mm langen Dehnkörpern durchgeführt. Im Fokus standen die Erstrissbildung, Risssequenz, Risskräfte, Dehnungsentwicklung, Rissbreiten und deren statistische Verteilung. Im Ergebnis der Forschung konnten Modelle für die Sicherung gegen große Erstrisse und Alternativen für den Nachweis von Rissen im abgeschlossenen Rissbild angegeben werden. Diese sind in Nähe zum bisherigen DIN-Modell formuliert und können damit als Grundlage künftiger Standardisierungsprojekte verwendet werden. Die diskutierten, statistisch



Bewehrter Dehnkörper in Testposition
Reinforced tension specimen in test rig

abgesicherten Modelle bieten dabei eine höhere Überschreitungssicherheit der nachgewiesenen Rissgrößen, allerdings um den Preis eines deutlich erhöhten Stahleinsatzes.

Der Forschungsbericht enthält Messergebnisse und Auswertungen zur Form der Rissufer im Bauteilinneren, zum subjektiven Fehler in Risslupenmessungen sowie zur lokalen Verbundspannungs- und Stahldehnungsentwicklung in der Umgebung von Trennrissen. Weitere Ergebnisse umfassen Aufnahmen zur Gestalt und Häufigkeit interner Mikrorisse in der Verbundzone zwischen Stahl und Beton sowie Versuchsevidenz für zufällige Festigkeitsfelder.

Veröffentlichungen

Forschungsbericht:
Eckfeldt et. al: Verbesserung der Vorhersagequalität von sehr kleinen Rissbreiten. Abschlussbericht, TU Dresden, 2009, 316 S.

Kurzbericht:
DIBt: Verbesserung der Vorhersagequalität von Rissbreiten. DIBt-Mitteilungen, 5/2009, S. 159-164, 6/2009 S. 221

Small Crack Width Prediction

In order to be in compliance with the German Association for Reinforced Concrete (DAfStb) guideline, entitled „Use of Concrete Subjected to Substances Hazardous to Water“ (BUMwS), the effective crack width of reinforced concrete (RC) members employed in water-tight containers or facilities used for storing, filling, transporting, and shipping water must be limited to 0.1 mm. Only crack widths falling between 0.2 mm to 0.4 mm are detailed under the German code DIN 1045-1.

A study of literature test data indicated that uncertainty increased dramatically for crack width predictions when characteristic crack width w_k is below 0.2 mm as compared to regular, larger crack widths. It is estimated that in 70 % of all attempts to determine characteristic a crack width of $w_k \leq 0.1$ mm in accordance with DIN 1045-1 the mean crack widths within the structure would exceed this limit. This would require large amounts of repair work as a rule. Other models checked for a characteristic crack width of $w_k \leq 0.1$ mm also indicated a 65 % probability of exceeding this minimum limit.

Recent Test Results

Tests were performed on 600 mm and 3000 mm reinforced tensile specimens to research the randomness of cracking relative to bond performance. These tests focused attention on primary cracking; crack sequencing and position; crack stresses; deformation development; crack widths; and relevant statistical distributions. This research resulted in the development of models to insure crack control in primary cracking, as well as more reliable alternatives for calculating crack widths in

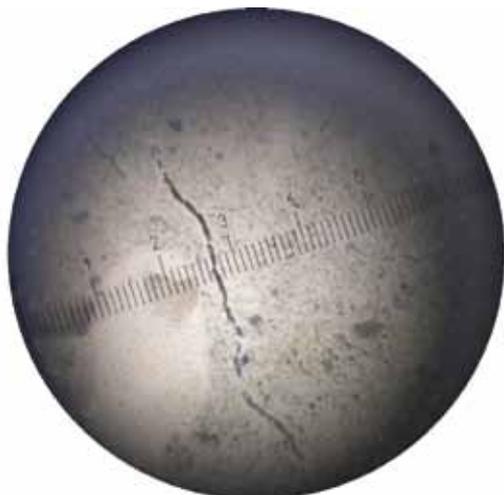
stabilized cracking. Results were nearly congruent to current German standards and can be used as a starting point for future projects.

The statistically confirmed models discussed possess an increased probability of not exceeding predicted crack widths for the price of a substantially higher quantity of reinforcement. The research report published contains additional measurement readings and analysis of the shape of inner crack faces. Human error in taking readings of crack widths using a microscope or magnifying glass, as well as local stress-strain readings on long bond lengths surrounding cracks trough the entire element are also discussed. Photographs of the shape and spread of internal micro-cracks located within the bond zone between steel and concrete and test evidence of random strength fields are also included in these results.

Published

Comprehensive Research Report:
Eckfeldt et. al.: Verbesserung der Vorhersagequalität von sehr kleinen Rissbreiten. Abschlussbericht, TU Dresden, 2009, 316 pages

Short Report:
DIBt: Verbesserung der Vorhersagequalität von Rissbreiten. DIBt-Mitteilungen, 5/2009, p. 159-164, 6/2009 p. 221



Blick auf einen kleinen Riss durch eine Risslupe
Small crack through a crack measuring magnifier

Titel | Title

Verbesserung der Vorhersagequalität von sehr kleinen Rissbreiten

Förderer | Funding

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), ZP 52-5-7.275-1245/07

Zeitraum | Period

01.2007 – 02.2009

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributor

Dr.-Ing. Lars Eckfeldt

Mehraxiale Festigkeit von UHPC

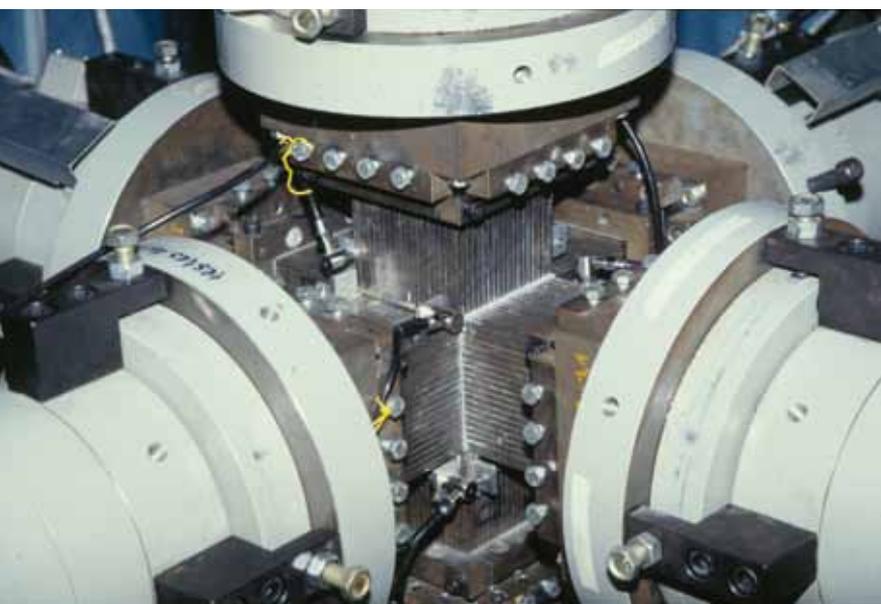
UHPC, also Ultrahochleistungsbeton, steht zum einen für eine bis zu fünfmal höhere Druckfestigkeit, für eine dichtere Struktur, höhere Frost- und chemische Beständigkeit, kurzum, für eine höhere Dauerhaftigkeit. Zum anderen verhält sich UHPC aber spröder als Normalbeton und die Zugfestigkeit nimmt nicht im gleichen Maße zu wie die Druckfestigkeit. Die Festigkeit bei Beanspruchungen aus mehreren Richtungen ist – bezogen auf die einaxiale Festigkeit – geringer als bei Normalbeton. Damit die Standsicherheit von Bauwerken aus UHPC trotzdem gewährleistet werden kann, untersucht unser Institut im Rahmen eines DFG-Schwerpunktprogramms die mehraxiale Festigkeit von UHPC.

Die Versuche werden in einer Triaxialprüfmaschine durchgeführt, mit der in allen drei Richtungen unabhängig voneinander Druck- und Zugkräfte in den Probekörper eingeleitet werden können. Die Lasteinleitung erfolgte über Spezialdruckplatten, so genannte Belastungsbürsten. Diese stellen eine homogene Spannungsverteilung im Probekörper sicher und ermöglichen es, die Verformung der Betonprobe zu ermitteln, auch wenn diese allseitig von den Belastungsbürsten umschlossen ist.

Bei den Versuchen bestätigte sich, dass die mehraxiale Festigkeit – bezogen auf die ein-

axiale Festigkeit – deutlich geringer ist als bei Normalbeton. Während Normalbeton unter zweiaxialen Druck höhere Festigkeiten aufweist als unter einaxialem Druck, gab es bei faserfreiem UHPC unter einigen Spannungsverhältnissen gar keine Festigkeitssteigerung gegenüber der einaxialen Festigkeit. Durch die Zugabe von Mikrodrahtfasern aus hochfestem Stahl kann eine Festigkeitssteigerung sichergestellt werden, welche aber immer noch deutlich unter den Werten von Normalbeton liegt. Trotz dieser Stahlfaserzugabe von bis zu 2,5 Vol.-% verhält sich UHPC unter einaxialem und zweiaxialen Druck sehr spröde. Mit steigender Druckkomponente in der dritten Richtung kommt es zu einem zunehmend duktileren Verhalten und damit zu einer frühzeitigen Ankündigung des Versagens. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass sowohl die maximal aufnehmbare Spannung als auch die dabei auftretenden Dehnungen unabhängig vom Lastpfad sind, mit dem die Probe belastet worden ist.

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens wird das Verhalten unter zweiaxialer Druck-Zug- bzw. Zug-Zug-Beanspruchung untersucht. Die im Versuch gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Formulierung von Stoffgesetzen ein, welche die wirklichkeitsnahe Berechnung von Bauteilen aus UHPC ermöglichen sollen.



Triaxialprüfmaschine während eines dreiaxialen Druckversuches
Multiaxial testing machine during a triaxial compressive test

Multiaxial Strength of UHPC

Compared to normal concrete, UHPC, or ultra-high performance concrete, possesses up to five times more compressive strength; a denser structure; increased frost and chemical resistance, as well as overall durability. Contrary to the better performance of UHPC, it behaves in a more brittle manner than normal concrete and tensile strength does not increase proportionally to the compressive strength. The strength increase from multiaxial loading—related to uniaxial strength—is less than that for normal concrete. As part of a German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) priority program, the Institute of Concrete Structures at the Technische Universität Dresden examined the multiaxial strength of UHPC to insure the stability of structures comprised of this high performance building material.

Experiments were conducted in a triaxial testing machine which allows for compressive and tensile stresses to be applied to specimens independently. The load application takes place through special pressure plates, referred to as loading brushes. These ensure a homogenous stress distribution in specimens and allow for the determination of the concrete specimens' deformation, even when fully encased (i. e., surrounded) by the loading brushes.

Titel | Title

Versuchstechnische Ermittlung und mathematische Beschreibung der mehraxialen Festigkeit von Ultra-Hochfestem Beton (UHPC)

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Zeitraum | Period

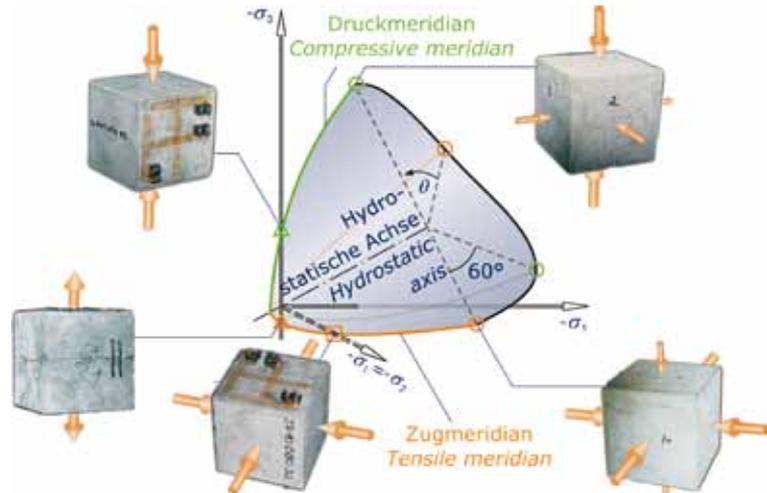
11.2005 – 10.2011

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Kerstin Speck



Bruchmechanismen in Abhängigkeit vom Spannungsverhältnis
Fracture mechanisms dependent on states of stress

These experiments confirmed that multi-axial strength – relative to uniaxial strength – is considerably less than that of normal concrete. While normal concrete exhibits higher strength levels under biaxial compression than under uniaxial compression, using the same stress ratios for fiber-free UHPC shows no increase in strength relative to its uniaxial strength. An increase in strength can be insured by the addition of high-strength steel micro-fibers, although these levels are still considerably less than values for normal concrete. Despite the addition of these steel fibers in an amount of up to 2.5 % by volume, UHPC behaves in a very brittle manner under uniaxial and biaxial compression. Behavior is increasingly ductile with increasing levels of compression under triaxial loading and, thereby, failure is indicated earlier. More importantly, findings indicate that both the maximum absorbable stress and resulting strains are independent of the load path applied to specimens.

Future research undertaken in the course of this project will utilize recent knowledge acquired about biaxial and triaxial behavior under compressive stress and will be complemented by examinations of biaxial compression-tension- or tension-tension-behavior. Knowledge obtained from these experiments will be used in the ongoing formulation of material laws fostering the realistic design of components comprised of UHPC.

Mehraxiale Materialmodelle für Beton

Die realitätsnahe numerische Simulation von Betonstrukturen unter allgemeiner Belastung setzt die korrekte Darstellung des komplexen mehraxialen Materialverhaltens in Stoffgesetzen voraus. Das aktuelle Forschungsvorhaben soll einen Beitrag zur Beschreibung praxisrelevanter Strukturen mit numerischen Rechenverfahren leisten.

Für die Materialbeschreibung wird die makroskopische Betrachtungsweise gewählt, d. h. Stoffgesetze werden für das homogenisierte Material auf der Grundlage der Kontinuumsmechanik formuliert.

Dabei werden Kombinationen aus Schädigungs- und Plastizitätsansätzen verwendet. Mit Hilfe der Schädigungsmechanik wird die Degradation der makroskopisch beobachtbaren elastischen Materialeigenschaften infolge der Entstehung und Entwicklung von Mikrodefekten beschrieben. Plastische Verformungsanteile werden für die Darstellung typischer Betoneigenschaften bei hohen Druckbeanspruchungen einbezogen.

Die Einbindung von Stoffgesetzen mit Entfestigung in numerische Verfahren wie die Finite-Elemente-Methode führt zu einer erheblichen Netzabhängigkeit der Ergebnisse. Aus diesem Grund müssen regularisierende Verfahren eingebunden werden. Diese werden lokal am Materialpunkt unter Einbeziehung der Bruchenergie oder alternativ nichtlokal unter Berücksichtigung des Einflusses benachbarter Bereiche auf den Zustand im betrachteten Punkt formuliert und führen zu einer Objektivität der Ergebnisse hinsichtlich der gewählten Diskretisierung.

Titel | Title

Mehraxiale Stoffgesetze für Beton auf der Grundlage anisotroper Schädigung und Plastizität

Förderer | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG),
Projekt HA 2833/4-1

Zeitraum | Period

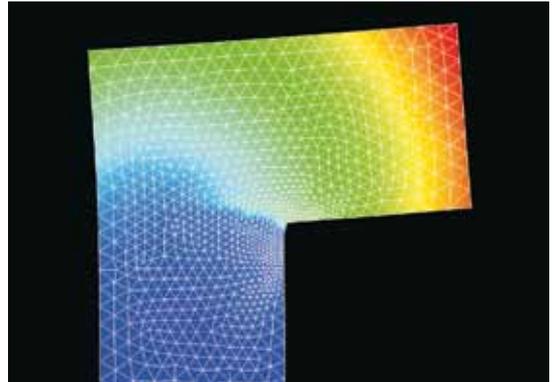
05.2007 – 04.2009

Leiter | Project Manager

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

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Mirko Kitzig



Berechnete Verformung einer Betonscheibe
Simulated deformation of a concrete slab

Basierend auf den vorgenannten Methoden wurde zunächst ein Referenzstoffgesetz unter der Annahme richtungsunabhängiger Materialeigenschaften entwickelt. Damit konnten bei der Simulation bekannter Versuche experimentelle Ergebnisse, z. B. Last-Verformungsbeziehungen, zutreffend wiedergegeben werden. In den Tests beobachtete Risspfade wurden hingegen nicht exakt ermittelt.

Deshalb wurde das Referenzmodell auf Stoffgesetzformulierungen erweitert, die eine Richtungsabhängigkeit des Materialverhaltens durch eingeprägte Risse als Folge der äußeren Beanspruchung berücksichtigen. Somit wurden Risspfade auch hinsichtlich ihrer Orientierung korrekt erfasst.

Hinsichtlich der Regularisierung stellt sich heraus, dass bruchenergiebasierte Ansätze zwar leicht in numerische Verfahren einzubinden sind, die Ausdehnung der Prozesszone in den Berechnungen jedoch vorgegeben werden muss. Deren Geometrie kann dagegen unter Verwendung nichtlokaler Methoden bestimmt werden, jedoch auf Kosten längerer Rechenzeiten und eines erhöhten Implementierungsaufwandes.

Multi-axial Concrete Constitutive Laws

The realistic simulation of engineered structural concrete members subjected to general loading requires the accurate description of complex, multi-axial material behavior based on constitutive laws. This research aims to contribute to the characterization of structures, utilized in practice, by means of numerical simulation methods.

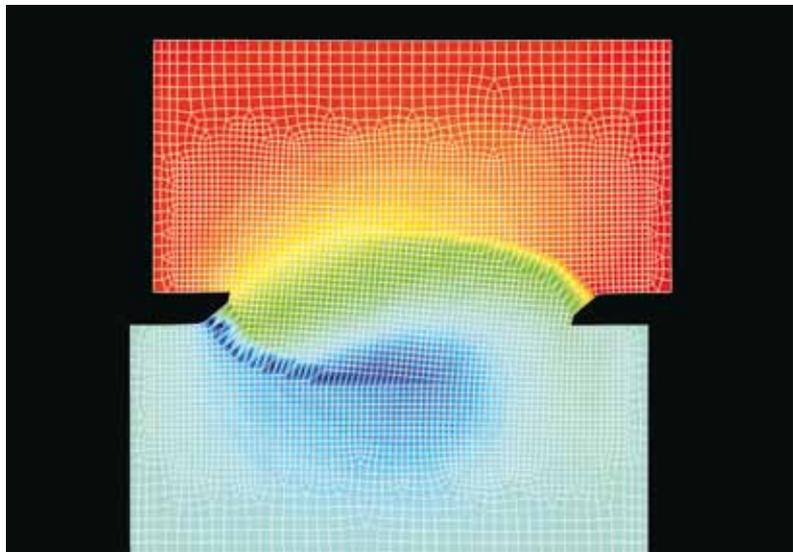
Macroscopic level analysis was selected for purposes of this study since constitutive laws for concrete, as a homogenized material, are founded within the framework of continuum mechanics. Damage and plasticity approaches were, therefore, combined and applied. Damage mechanics is used to describe the degradation of macroscopically observable elastic material properties that results from the initiation and development of micro-defects. Plastic deformations are included to represent typical concrete characteristics present under pronounced compressive loading.

In numerical simulation methods, such as the Finite Element Method (FEM), the integration of material law with strain softening leads to a significant mesh-dependency of results. For this reason, regularization procedures must be adopted. These procedures are either local formulations based on fracture energy or, alternatively, non-local approaches that account for the influence on the material state of regions adjacent to the point under consideration.

A reference material model was developed based on the above mentioned methods under the assumption of isotropic material properties, i. e., material properties are independent of direction. Simulations of well-known tests using this constitutive law have led to satisfactory correspondence between numerical and experimental results with respect to, for instance, the load-displacement relationship. Crack paths observed during testing were not precisely

reproduced, however, and the reference model was, therefore, extended to include formulations that account for the directional dependence of material behavior related to crack formation as a result of external loads. Consequently, crack paths were also correctly captured with respect to their orientation.

Fracture-energy based regularization procedures were observed to be easily implemented into numerical methods. The width of the localization zone used in calculation must, however, be pre-defined a priori. This drawback can be eliminated by using enhanced non-local procedures, admittedly, at the expense of increased effort for implementation and simulation/calculation time.



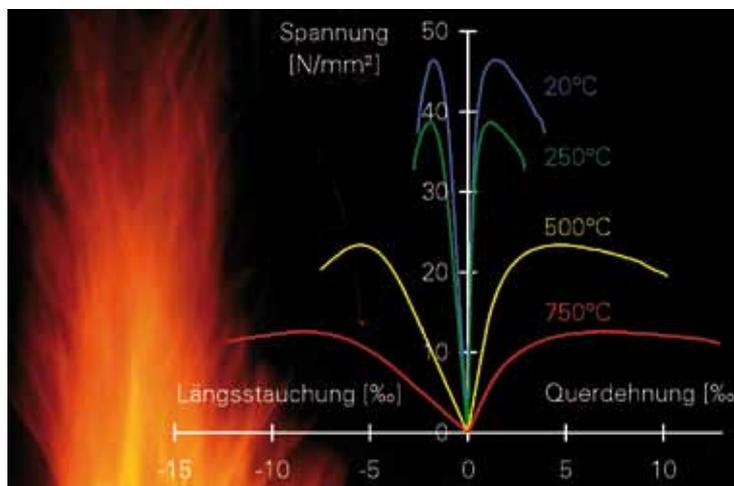
Berechnete Verformung eines gekerbten Probekörpers
Simulated deformation of a notched specimen

Zweiachiale Festigkeit von Beton nach Brandbeanspruchung

Zweiachiale Druckspannungen treten in vielen Bauteilen auf, so zum Beispiel auch in Tunnel-schalen. Die Bemessung erfolgt aber in der Regel vereinfacht für eine einaxiale Beanspruchung, da die zweiachiale Druckfestigkeit von Beton höher ist als die einaxiale Festigkeit. Doch wie sieht es aus, wenn die Tragfähigkeit für die Zeit während oder nach einem Tunnelbrand nachgewiesen werden soll? Auch diese „heiße“ Bemessung wird einaxial durchgeführt. Bei Beton mit quarziti-schen Gesteinen als Zuschlag ist bekannt, dass die zweiachiale Festigkeit durch die Temperaturbe-anspruchung weniger abnimmt als die einaxiale Festigkeit und damit das Verhältnis zweiachiale zu einaxiale Festigkeit größer wird.

Die Versuche umfassten zunächst einen Beton mit quarzitischem Zuschlag als Referenz und einen Beton mit Kalkstein. Die Festigkeit beider Betone betrug ca. 47 N/mm² und der E-Modul knapp 40.000 N/mm². Im Alter von 28 Tagen wurden die Probekörper auf Gebrauchslastniveau belastet und anschließend an der MFPA Leipzig unbelastet aufgeheizt. Dabei wurden die maxi-malen Temperaturen und die Aufheizrate variiert. Im Anschluss erfolgte die ein- und zweiachiale Beanspruchung an unserem Institut.

Die Schädigung des Gefüges war umso größer, je höher die Temperatur war. Wurde langsam aufgeheizt, war die Festigkeit niedriger als bei einer schnellen Aufheizrate. Bei gleichen Temperaturverläufen wurde der Beton mit Kalkstein stärker geschädigt als der Beton mit quarziti-schen Zuschlägen. So wies nach 500° C bei schneller Aufheizrate der Kalkstein-Beton nur noch rund 70 % der Festigkeit und rund 30 % der Steifigkeit des Betons mit Quarz-zuschlägen auf, wobei schon der Quarz-Beton ein Viertel seiner Festigkeit und die Hälfte seiner Steifigkeit gegenüber den Werten bei 20 °C verloren hat. Für den jeweiligen Beton und nach einem bestimmten Temperaturverlauf war der absolute Festigkeitsverlust unter einaxialer und zweiachialer Belastung nahezu gleich. Deshalb vergrößerte sich mit zunehmender Temperatur-beanspruchung das Verhältnis von einaxialer zu zweiachialer Festigkeit. Für die Beurteilung, ob sich Kalkstein als Zuschlag für Tunnel eignet, muss jedoch beachtet werden, dass bei einem Tunnelbrand höhere Temperaturen und noch grö-ßere Aufheizraten auftreten als sie im Versuch getestet werden konnten. Sicher ist jedoch, dass eine „einaxiale“ Bemessung deutlich auf der sicheren Seite liegt.



Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Kalkstein-Beton nach vorangegangener Brandbeanspruchung
Stress-strain behavior of limestone concrete following a fire stress

Biaxial Strength of Concrete After Fire

Biaxial compressive stresses occur in many structural components, for example, tunnels. Since the biaxial compressive strength of concrete is higher than its uniaxial strength, the assessment of biaxial compressive stress is usually done by applying a simplified form of uniaxial stress. What about those cases when load capacity must be determined during or after a tunnel fire? Such "hot" design is also performed uniaxially. For concrete comprised of quartz aggregates, it is known that the ratio of biaxial strength to uniaxial strength increases since the decrease in biaxial strength due to fire is less than the decrease in uniaxial strength.

Experiments, initially on concrete with quartz aggregates and later on concrete with limestone aggregates were conducted at the Leipzig Institute for Materials Research and Testing (MFPA Leipzig GmbH). The strength of both concretes was about 47 N/mm^2 and the Moduli of Elasticity barely $40,000 \text{ N/mm}^2$. Twenty-eight day old specimens were stressed to a serviceability load level and subsequently unloaded and then heated with different heating rates to varying maximum temperatures. Afterwards, uni- and biaxial load tests were conducted by the Institute of Concrete Structures at the Technische Universität Dresden.

Damage to the structure increased as the temperature was increased. Lower rates of heating produced lower strength levels than higher rates of heating. Concrete with limestone aggregates received more damage than concrete comprised of quartz aggregates at the same temperature profile.



*Probekörper nach Belastung
Test specimen after loading*

le. At high rates of heating with temperatures above $500 \text{ }^\circ\text{C}$, the limestone concrete only reached 70 % of the strength and 30 % of the stiffness of that of concrete comprised of quartz aggregates. Under this scenario, the concrete with quartz had already lost a quarter of its strength and half of its stiffness relative to reference values at $20 \text{ }^\circ\text{C}$. For a particular temperature profile, the absolute loss of strength under both uniaxial and biaxial stress was nearly the same for both types of concrete. The ratio of uniaxial to biaxial strength, therefore, increased with increased temperature stress. In order to assess whether limestone is suitable as an aggregate for a tunnel, it should first be noted that during a tunnel fire even higher temperatures and heating rates occur than that which could be experimentally simulated and tested. What is clear, however, is that "uniaxial" design is conservative design.

Titel | Title

Mehrxiale Festigkeit von Beton unter hohen Temperaturen

Förderer | Funding

MFPA Leipzig GmbH

Zeitraum | Period

12.2008 – 06.2010

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Kerstin Speck

Formgebende Werkzeuge aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen

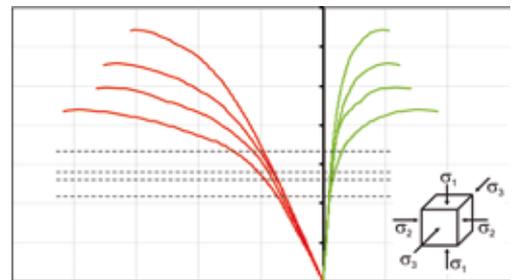
Die steigende Zahl von unterschiedlich geformten Blechen, speziell in kleinen und mittleren Fertigungsserien, bedingt die Entwicklung von effizienten Umformprozessen und wirtschaftlichen Herstellungsverfahren für Umformwerkzeuge. Im Rahmen dieses Forschungsprogramms wird der Einsatz von formgebenden Werkzeugen aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen für die wirkmedienbasierte Blechumformung untersucht.

Eine Druckfestigkeit von über 100 MPa und eine glatte Oberfläche sind die Grundvoraussetzungen für den Einsatz eines Betons zur Herstellung von Umformwerkzeugen. Für die Umsetzung eines Prototypenwerkzeugs wurde ein feinkörniger stahlfaserbewehrter Beton verwendet.

Mit dem Prototypenwerkzeug umgeformte Bleche zeigten gute Ergebnisse. Ab einem Umformdruck von 60 MPa konnte ein Radius von 2,5 mm ausgeformt werden. Erste Risse im Werkzeug traten bei einem Umformdruck von 80 MPa auf und bei einem Druck von 95 MPa versagte es vollständig.

Eine Möglichkeit, die Beanspruchungsgrenze zu steigern, ist, einen Umschnürungsdruck auf das Werkzeug auszuüben. Versuche an zylindrischen Proben zeigten, dass passive Umschnürungen, d. h. Umschnürungen, die den Umschnürungsdruck nur durch Querdehnungsbehinderung hervorrufen, keinen nennenswerten Effekt erzielten. Getestete passive Umschnürungen wurden durch eine Bewehrungswendel, eine Carbon-Sheet Umwicklung und durch ein Stahlrohr realisiert. Vergleichend zu den passiven Umschnürungen wurden mehraxiale Druckfestigkeitsprüfungen an kubischen Proben mit unterschiedlichen Probenaltern durchgeführt. Der Betrag des Umschnürungsdrucks betrug 10 % der Hauptbelastung. Die erzielte Steigerung der Beanspruchungsgrenze des Materials, verglichen mit Versuchswerten ohne Umschnürungsdruck, betrug 100 % nach drei Tagen und 20 % nach 28 Tagen.

Eine weitere positive Beeinflussung erfolgt durch eine Wärmenachbehandlung des Betons direkt nach dem Betonieren. Es konnten vorteilhafte



Spannungs-Dehnungs-Linien bei mehraxialer Druckbeanspruchung ($\sigma_1/\sigma_2/\sigma_3 = 1/0,1/0,1$) bei unterschiedlichen Betonaltern

Stress-strain curves for multi-axial compressive load ($\sigma_1/\sigma_2/\sigma_3 = 1/0.1/0.1$) at various concrete ages

Materialeigenschaften wie der hohe Elastizitätsmodul oder die Druckfestigkeit zu einem sehr frühen Zeitpunkt weiter gesteigert werden. Durch die Wärmenachbehandlung ist das Umformwerkzeug 48 h nach der Betonage einsatzbereit. Außerdem wird der Vorgang des Schwindens während der Nachbehandlung beschleunigt, sodass anschließende Schwindverformungen vernachlässigbar sind.

Es wurde ein weiteres Werkzeug entwickelt, welches von einer universellen Umschnürung eingefasst ist. Der maximal aufbringbare Querdruk beträgt 20 MPa. Vor dem Applizieren des Umschnürungssystems wurde das Werkzeug wärmenachbehandelt.

Titel | Title

Entwicklung von formgebenden Werkzeugen aus hydraulisch gebundenen Werkstoffen für wirkmedienbasierte Umformverfahren

Förderer | Funding

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

Zeitraum | Period

04.2007 – 03.2009 (1. Periode)

01.2010 – 12.2011 (2. Periode)

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach (TU Dresden)
Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya (TU Dortmund)

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Robert Ritter (TU Dresden)
Dipl.-Ing. Michael Trompeter (TU Dortmund)

Forming Dies Made of Hydraulic Binder Agent Materials

The increase in the number of formed, sheet metal dies used particularly in small and medium batch productions, requires the development of ever more efficient form fabrication processes, as well as increased economies of scale for the fabrication of forming tools. This research project analyzes the capacity and limits of sheet metal hydroforming dies of cementitious materials.

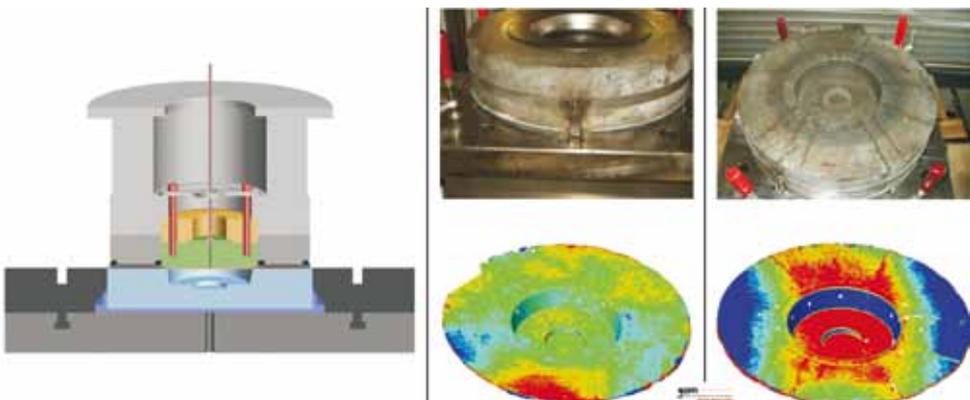
Initially, a concrete with a compressive strength up to 100 MPa and a smooth, high density surface had to be found. The use of a fine-grained steel fibre reinforced concrete enabled the fabrication of a prototype that successfully fulfilled these requirements. Sheet metal formed from the prototype die showed positive results. As expected, contour accuracy increased with increasing forming pressure. A radius of 2.5 mm could satisfactorily be formed at 60 MPa; however, initial cracking began to appear at a pressure of 80 MPa. Initial cracking defines the limit load in order to obtain consistent results throughout the forming process. The ultimate failure of the die occurred at 95 MPa.

One option for increasing the load limit of the forming die is the application of a confining pressure. Tests with cylindrical specimens showed that a passive confinement, i.e. confining

pressure from constrained lateral strains, did not have appreciable effects. Applied passive confinement systems included a spiral rebar, carbon-sheets and a steel tube. In order to compare the results from passive confinements, multiaxial compressive strength tests were conducted on cubical specimens of various concrete ages. The amount of the applied confinement pressure was 10 % of the principal stress. Compared to unconfined conditions, the material load limit increases 100 % for three-day-old concrete and 20 % for concrete at 28 days of age.

Another positive effect is caused by heat curing the concrete after removing it from the mold. Advantageous material properties such as a high Young's Modulus and high compressive strength could further be improved at a very early stage. This allows the use of the die 48 hours after casting. In addition, the process of shrinkage is accelerated during heat curing so that subsequent shrinkage is negligible.

A new active confinement system was developed to be used in conjunction with concrete forming dies. This confinement system allows for the active application of up to 20 MPa of lateral pressure. A test-run of this actively confined forming die is currently underway as part of on-going research.



Konfiguration des Umformprozesses und plastische Verformungen des Werkzeugs nach Beaufschlagung mit unterschiedlichen Umformdrücken

Forming process set-up and plastic deformations of the forming die after loading at various load levels

Dünne Betondecken auf langen Brücken

Im Auftrag der BAST wird ein neuartiges Brückenbelagsystem, bestehend aus einer dünnen, fugenlosen Betondecke auf einer Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff untersucht. Mit der ca. 8 cm dünnen Betonplatte wird eine hohe Standfestigkeit angestrebt. Die Flüssigkunststoffdichtungsschicht gewährleistet eine sichere Abdichtung der Brückenkonstruktion. Diese Betonbauweise soll eine dauerhafte Sanierung bestehender Asphalt-Brückenbeläge unter Beibehaltung der regulären Dicken ermöglichen. Kein Mehreinbau von Massen, und damit keine Erhöhung der Eigengewichtslasten, im Bereich des Fahrbahnbelages bedeutet Wirtschaftlichkeit beim Neubau und Beibehaltung der Reserven für Verkehrslasterhöhungen bei der Sanierung.

Erkundung der Materialparameter

Obleich Flüssigkunststoffdichtungsschichten schon seit Längerem erfolgreich in der Kombination mit bituminösem Belag eingesetzt werden, muss der Materialverbund mit einer Fahrbahndecke aus Beton erst erkundet werden. Hierzu werden kleinteilige Proben (20 cm x 10 cm) eines Referenzsystems einer Schubbeanspruchung ausgesetzt. Im Gegensatz zum Standardversuch wird hier die Normalspannungsbeanspruchung in der Dichtungsschicht signifikant reduziert und die Beanspruchung variiert. Besonderes Augenmerk gilt folgenden Parametern:



*Versuchskörper nach dem Versagen;
rechts : sandgestrahlte Oberfläche;
Mitte: nicht-zerstörte Verbundfuge;
links: Deckschicht mit Unterseite zu oberst
Broken specimen; right: surface sand blasted,
middle: crushed interface to thin concrete deck,
left: deck, bottom up*

Titel | Title

Dünne Betondecken auf Brücken mit Übergangskonstruktion

Förderer | Funding

Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)

Zeitraum | Period

09.2007 – 07.2010

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Harald Michler

- Temperatureinfluss (-40 °C bis +50° C)
- Belastungsgeschwindigkeit (0,250 mm/s bis 0,003 mm/s)
- Relaxation
- Zyklenfestigkeit (Schubverformung ± 1 , ± 2 und ± 3 mm bei bis zu 100 Zyklen)
- Schubbruchfestigkeit
- Parameter zum Wärmetransport

Simulation

Mit den gewonnenen Parametern wird das System dünne Fahrbahnplatte auf Dichtungsschicht numerisch simuliert. Mit klimatischen Modellrechnungen und Jahreszeitzyklen können verhältnismäßig weit gestreute Szenarien der auftretenden Beanspruchung der dünnen Fahrbahndecke simuliert und deren Beanspruchung im Bauwerk abgeschätzt werden. Die Ergebnisse der Simulation soll anhand eines Großversuchs mit einem ca. 14 m weit gespannten Biegebauteil verifiziert werden.

Eignung

Mit der durchgeführten Materialerkundung und den Simulationen können die zu erwartenden statischen Beanspruchungen der dünnen Fahrbahnplatte auf Dichtungsschicht realitätsnah ermittelt werden. Diese Daten münden dann, zusammen mit den Anforderungen des Betreibers, in die Spezifizierung für die Auslegung der Konstruktion und Betonqualität. Die am Referenzsystem gewonnenen Daten lassen den Einsatz derartiger Systeme günstig und machbar erscheinen.

Thin Bridge Concrete Overlays

An 8 cm thin concrete-based overlay for road bridges is currently being designed, analyzed, and tested for use in the top layer of bridge coatings. This overlay, which is attached to a polyurethane membrane, provides the level of waterproofing required in bridge construction under the German governmental regulations, ZTV-ING, while insuring a means of material insulation from the elements. The main objective of this study is to improve bridge overlay sustainability needed to handle ever-growing traffic loads while simultaneously minimizing any increase to the bridge's dead load.



Testaufbau
Test setup

A new cement-based overlay system was designed as the first step in this process. Given the positive results from preliminary analyses, it is possible to use this new system to replace existing asphalt bridge coatings and to construct new bridges without adding additional mass to the dead load of the bridge structure.

Exploration of Material Parameters

It was necessary to determine the material parameters of the polyurethane membrane in combination with this new 8 cm concrete overlay in spite of the successful use of these membranes in current bridge construction. Tests were conducted on laboratory scale specimens compared to standard bridge deck overlay systems, normal stresses at the membrane interface were significantly lower in the newly developed system. Relevant parameters investigated include:

- Temperature effects (-40 °C to +50 °C);
- Load speed (0.25 mm/sec to 0.003 mm/sec);
- Relaxation;
- Load-cycles (up to 100);
- Shear load capacity; and
- Thermal conductivity.

Results from these tests, including any changes to and interrelationships between parameters, were used as the basis for an FEM simulation used to determine load impacts, such as temperature change in temperature and temperature progression over time (i. e., one or more days). Full-scale testing of a 14 m slab specimen is planned for Spring/Summer 2010.

The data and corresponding reference system demonstrate the ability to use this thin concrete overlay system to provide improved bridge overlay sustainability without adding to the bridge structure's dead load. Together, experimentally determined stress measurements, computer simulations, and knowledge obtained from full-scale testing can be used to develop the most efficient design for this 8 cm thin concrete deck overlay.

This newly developed thin concrete overlay system has the potential for practical applications in the reconstruction and new construction of road bridge structures.

Autobahnbrücke sicher und tragfähig

Die Regeln zur Querkraftbemessung im Stahlbetonbau früherer Normengenerationen weichen deutlich von der derzeitigen Fassung ab. Im Brückenbau führt das zu der kritischen Situation, dass die vorhandene Bügelbewehrung zahlreicher älterer Bauwerke nach aktuellen Berechnungsvorschriften nicht ausreichend ist. Für eine zu untersuchende Brücke konnte bei der Einstufungsberechnung die Tragsicherheit auf Querkraft nicht nachgewiesen werden, so dass Maßnahmen zur Verstärkung durchgeführt werden mussten. Parallel wurde im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden die Wirksamkeit der ausgeführten Verstärkungslösung und die Tragfähigkeit des Bauwerkes umfassend untersucht.

Für die Analyse des Tragverhaltens des Bauwerks wurde ein detailliertes Finite Element Modell aufgebaut, bei dem in den kritischen Bereichen des Tragwerks die Bewehrung bis hin zu den Biegeformen der Einzelstäbe aufgelöst wurde. In der nichtlinearen Simulation wurden die am Bauwerk ermittelten Materialkennwerte für Beton und Bewehrung verwendet. Im Ergebnis liegt eine Prognose zum Tragverhalten des Bauwerks, insbesondere zur Schubrissbildung und Querkrafttragfähigkeit vor. Wesentliches Ergebnis der Simulation ist der Nachweis einer ausreichenden Querkrafttragfähigkeit, der mit

den ingenieurmäßigen Modellen nicht gelungen war.

Da das prognostizierte Tragverhalten stark von den üblichen Annahmen und Grenzen der geltenden Normen und Richtlinien abwich, wurden im Maßstab von etwa 1:3 Versuchsträger entworfen, die ein vergleichbares Tragverhalten bezüglich Rissbildung und Versagensmechanismus aufweisen. Die statischen und dynamischen Untersuchungen in drei Großversuchen im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden haben gezeigt, dass die Prognose der Finite-Element-Simulation eine gute Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Tragverhalten zeigt.

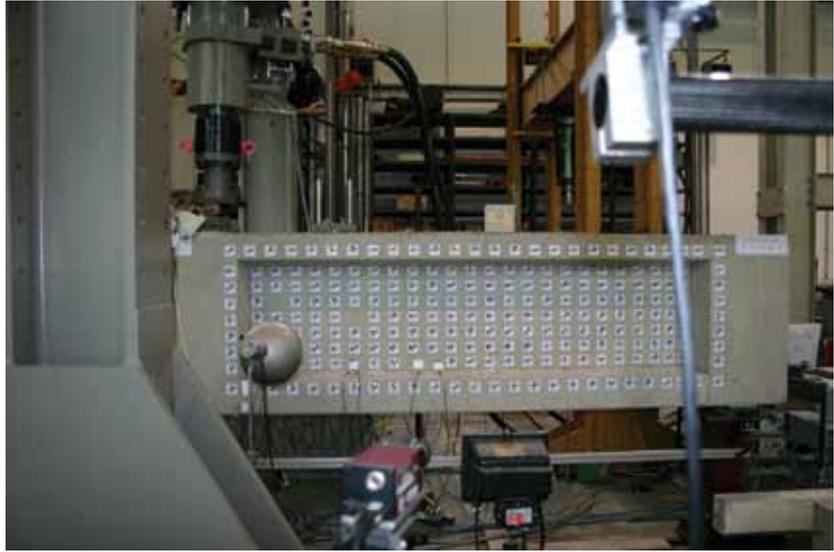
Im Bauwerk sind sogenannte Steckbügel eingesetzt, die die oben offenen Querkraftbügel schließen. Nach Norm kann der erhöhte Bewehrungsgrad im Übergreifungsbereich nicht für die Bemessung angesetzt werden. Mit der Finite-Element-Simulation konnte die Wirksamkeit der Bügel und deren erheblicher Beitrag zur Querkrafttragfähigkeit aufgezeigt und mit den Experimenten bestätigt werden. Für die Brücke heißt das: Auch bei Bildung von Schubrisen unter Verkehrsbelastung besteht kein Gefährdungspotential für das Zeitintervall bis zur nächsten Hauptprüfung und das Bauwerk hält der Verkehrslast sicher stand.



Verformungsmessung mit induktiven Wegaufnehmern
Deformation measurement with linear differential transducers

A Freeway Bridge Has Been Saved

Previous codes clearly deviate from the current version concerning shear design of reinforced concrete. This leads to the critical situation of many old bridge superstructures in which existing stirrups are insufficient according to current code standards. One particular bridge was analysed during reconstruction, and, unfortunately, engineers were unable to approve it as structurally safe relative to shear strength. Consequently strengthening measures were necessary. The effectiveness of the shear strengthening method used was simultaneously studied in the Otto-Mohr-Laboratory as was the actual bearing capacity of the superstructure.



Versuchsaufbau mit Messmatrix
Test setup with measurement matrix

A detailed finite element model was set up to analyze the bearing behaviour of the bridge. Critical areas of the structure were modeled in great detail so as to fully replicate the precise geometry of each individual reinforcing bar. Material parameters for concrete and reinforcement, determined from field tests of the structure, were used for the non-linear simulation. As a result, a prediction of the superstructure's bearing behaviour, in particular shear cracking and deforma-

tion behaviour, could be made. The essential result, evidence of sufficient shear capacity, was unattainable using traditional engineering design analysis.

Because the predicted behaviour deviates significantly from standard assumptions and limits of current codes and guidelines, a test specimen of comparable bearing behaviour – in terms of crack formation and failure mechanism, was designed at a scale of 1:3. Static and dynamic tests conducted at the Otto-Mohr-Lab of TU Dresden have shown that the finite element prediction is closely aligned with the actual bearing behaviour.

Titel | Title

Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit einer Straßenbrücke

Förderer | Funding

Amt für Straßen- und Verkehrswesen Fulda

Zeitraum | Period

2002 – 2009

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Frank Jesse, Dr.-Ing. Kerstin Speck, Henry Schäfer M. Sc.

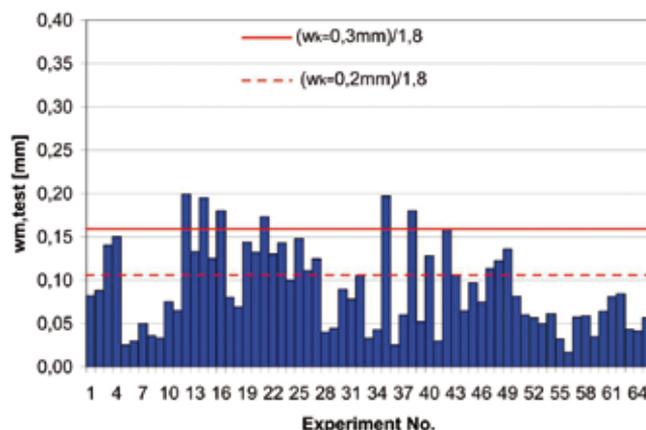
Specially formed stirrups were included in the superstructure to close the loop of the normal, upward sloping open stirrups. According to code, the increased reinforcing ratio at the connection overlap cannot be taken into account in static analysis. The finite element analysis showed that this overlap contributes considerably to the shear capacity of the structure as clearly substantiated by experiments confirmed this. This means even if shear cracks form in this bridge under traffic load, then there is no potential danger within the following designated inspection time period, and the superstructure will safely resist traffic loads.

Gebrauchstauglicher Stahlfaserbeton

Im Rahmen der Diskussion der Bemessungsregeln für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit der DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton wurden die Modellvorschläge der letzten Entwurfsgeneration geprüft, um Anhaltspunkte für letzte Modifikationen der inzwischen verabschiedeten Endfassung der Richtlinie zu erhalten. Geprüft werden konnten für kombibewehrte Bauteile die Modellvorschläge zur Begrenzung der Erstrissbreite, Rissbreitenbegrenzung für das abgeschlossene Rissbild und die Begrenzung der Durchbiegung. Anhand einer Literaturstudie wurden aus veröffentlichten Testdaten der nationalen und internationalen Forschung die notwendigen und verfügbaren Parameter entnommen. Diese wurden den auf die jeweilige Prüfaufgabe ausgerichteten Datenbanken hinzugefügt. Erfasst wurden 45 Experimente für die Begrenzung der Erstrissbreite, 65 Experimente für die rechnerische Rissbreitenbegrenzung und 27 Experimente zur Begrenzung der Durchbiegung. Die Zusammenführung internationaler Testdaten erforderte die Konversion der repräsentativen Zugspannungs-Dehnungsverläufe, da in der Evolution des Stahlfaserbetons auch die Bezugsgrößen an unterschiedlichen, zum Teil noch nicht standardisierten Tests gewonnen wurden.

Ergebnisse

Rechnerisch waren die für die Begrenzung der Erstrissbreite notwendigen Bewehrungsquer-



Beurteilung des Konzeptes für die Mindestbewehrung für die Beschränkung der Erstrissbreite

Verification of the minimum reinforcement concept for the SLS for structural members

Titel | Title

Gebrauchstauglichkeitsmodelle nach DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton

Förderer | Funding

DAfStb

Zeitraum | Period

03.2008; 12.2008 + 01.2009

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Lars Eckfeldt

Bearbeiter | Contributors

Dr.-Ing. Lars Eckfeldt, Dipl.-Ing. Alexander Lindorf, Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer

schnitte in einigen wenigen Versuchen nicht erreicht. Die Versuchsergebnisse zeigten jedoch, dass die Grenzzrissbreiten verschiedener Anforderungsklassen nie erreicht wurden und der Nachweis für den untersuchten Parameterbereich zuverlässig ist. Für die in Versuchen beobachteten Risse unter Last wurden nur wenige Beispiele gefunden, in denen der für den Hochbau wichtige Grenzwert von 0,3 mm für charakteristische Rissgrößen bzw. 0,3/1,8 mm für mittlere Rissgrößen begrenzt überschritten war. Unabhängig von den diskutablen Parameterkonversionen kann also der Einsatz des Baumaterials im untersuchten Bereich Gebrauchstauglichkeit zuverlässig sichern. Auch die Beschränkung der Durchbiegung auf L/500 war in allen relevanten Versuchen an balkenförmigen Bauteilen nachweisbar. Für die Untersuchung größerer Biegeschlankheiten war jedoch keine Datengrundlage verfügbar.

Bericht

Eckfeldt, L.; Lindorf, A.; Lemnitzer, L.: Gebrauchstauglichkeitsmodelle nach DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton. Forschungsbericht im Auftrag des DAfStb, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2009, 57 S.

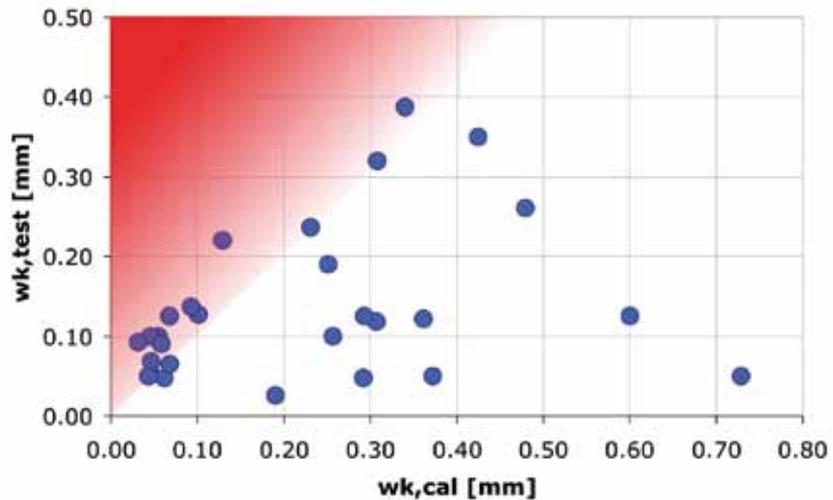
Serviceability of SFRC

The need to check the imposed serviceability limit state design requirement arose during the final discussion of verification of the German RC Commission (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb) Guideline on Steel-Fiber Reinforced Concrete (SFRC). The goal was to provide independent information and concept tests for approval of the final guideline. Research of mixed reinforced

members included control of primary cracking, crack width during crack stabilization, and deflection. Extensive literature research provided useable data from nationally and internationally published research tests which were entered into a database set up specifically for this particular task. In total, the database contains 45 experiments pertaining to primary cracking; 65 experiments pertinent to crack widths in stabilized cracking; and 27 experiments containing information on load-deflection development. In the past, several methods evolved in parallel internationally forming the basis for current characteristic tensile stress-strain-relationships. It was therefore necessary to develop and test some conversion conventions for international SFRC test parameters so as to make comparisons with characteristic values used in the DAfStb-guideline approach.

Results

In a few instances, the amount of reinforcement found in testing for primary crack control was less than calculated values. Measured primary crack widths, for the various classifications tested, were, however, far smaller than limiting crack widths. The primary crack control approach was, therefore, considered to be reliable for the range of parameters researched and tested. There were only a few examples in which the crack widths in



Test-Rechenwert-Vergleich für charakteristische Rissbreiten in kombibewehrten Bauteilen aus Stahlfaserbeton

Comparison between characteristic cracks in SFRC tests and calculated widths

externally loaded tests were slightly larger than the respective limits for buildings of 0.3 mm for characteristic values and 0.3/1.8 mm for mean values. Although the methods used to convert the reference strengths might be disputable, the above shows strong evidence that, for this particular available parametric range, this building material ensures reliable serviceability. Results of the short-term verification of deflection for the beams tested showed deflections of less than $L/500$ under service loads. No test data was available to generally verify larger L/d ratios for slabs.

Research report

Eckfeldt, L.; Lindorf, A.; Lemnitzer, L.: Gebrauchstauglichkeitsmodelle nach DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton. Forschungsbericht im Auftrag des DAfStb, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2009, 57 pages

Einen Werkstoff verstehen

– sein Verhalten simulieren

Um ein tieferes Verständnis für das Material Beton zu gewinnen, werden an unserem Institut numerische Simulationen der Verformungs- und Rissentwicklung von Beton durchgeführt. Im Zuge der numerischen Simulationen durchlaufen virtuelle Probekörper daher ein ähnliches Testprogramm wie ihre „realen Kollegen“.

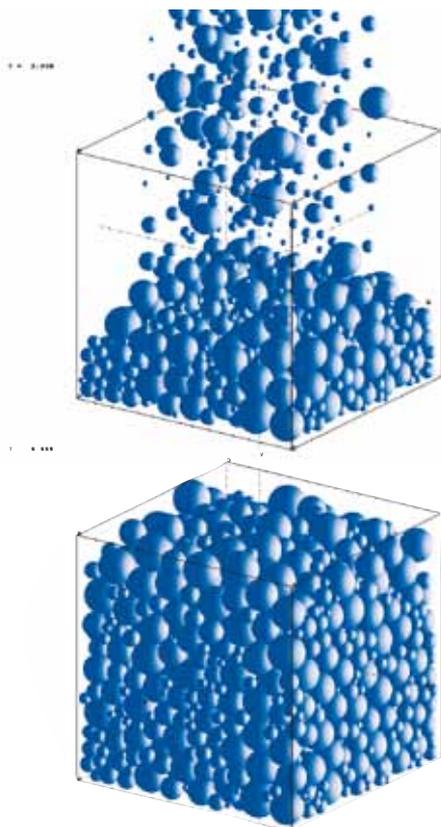
Unter unterschiedlichsten Belastungssituationen und Geometrien sollen die Bruchvorgänge im Beton mit der numerischen Simulation beschrieben und eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit experimentellen Untersuchungen erreicht werden. Ein ganz wesentlicher Aspekt besteht darin, eine Simulation beziehungsweise ein Modell zur Berechnung des Betonversagens für allgemeine Beanspruchungssituationen zu schaffen, ohne dass Veränderungen in dem Parameter-satz des Modells vorgenommen werden müssen.

Zur zunächst zweidimensionalen Simulation des Versagensverhaltens von Beton wurde ein Rechencode erstellt, der auf der Diskrete Elemente Methode basiert. Ein großer Vorteil der Diskrete Elemente Methode besteht darin, dass Risse nicht als verschmiert angenommen und auch nicht mittels spezieller Riss-Elemente dem Modell zusätzlich hinzugefügt werden, sondern von vornherein als diskontinuierliche Eigenschaft in der Methode enthalten sind. In der Simulation wird der Betonkörper durch eine große Anzahl polygonal berandeter Partikel beschrieben, deren Eigenschaften statistisch verteilt sind. Die Partikelgeometrie wird durch eine Voronoi-Zerlegung generiert, die auf verschiedenen Techniken zur Generierung zufälliger Gitter basiert. Auf diese Weise kann ein dichtschießendes Partikelensemble mit ähnlichen Partikelgrößen, doch unterschiedlichen Partikelformen erzeugt werden.

Darüber hinaus wird auch eine am Institut für Massivbau neu entwickelte Voronoi-Zerlegung untersucht, die eine Substruktur erzeugt. Hierfür werden die Mittelpunkte einer Kugelschüttung mit verschiedenen Durchmesser verwendet, deren Verteilung einer Fullerkurve entsprechen. Durch Verwendung solch einer Kugelschüttung, wie sie in der Abbildung dargestellt ist, können

Partikel unterschiedlicher Größenordnungen generiert werden, die dann Zement beziehungsweise Zuschlagkörner repräsentieren können.

Als Ergebnis der Simulation wird beispielsweise das Rissbild eines mit ca. 50.000 Partikeln modellierten Betonkörpers erhalten. Simulationen der Versagensmechanismen eines aus Bestandteilen unterschiedlicher Größe und Beschaffenheit zusammengesetzten Werkstoffes unter verschiedensten Beanspruchungen werden die Realität nicht ersetzen, möglicherweise aber wichtige Einsichten und Rückschlüsse liefern.



Kugelschüttung als Ausgangssituation zur Partikelgenerierung mit Substruktur
Creation of a 3-D virtual specimen in the first stage of sub-structuring

Understanding Concrete Deeply: Trying to Do What Nature Does

Efforts are underway to develop a deeper understanding of concrete's behavior by means of numerical simulation. Virtual specimens undergo the same hard testing procedures as do their real-world experimental colleagues.

Briefly stated, this method takes into account the heterogeneous nature of concrete by viewing each virtual specimen as a conglomeration of small particles. Each particle originates from a distinct distribution of size and material behavior dependent on its embodiment – cement or aggregate. The interaction of these particles, according to Newton's Laws and a modern approach that includes dissipation, are the essentials behind the computer simulations made.

With this goal in mind, an up-to-date particle-particle contact model is paired up with a simple, effective, and stable integration scheme designed to solve the equations of motion. Appropriate specification of material parameters is crucial for success in this area of research and can only be achieved when results of scientific computing are compared to real world situations to calibrate the underlying meso-structural model.

The model developed, however, must not only be limited to reproducing experimental knowledge, but it should also provide feedback for experimental work conducted. To date, realistic crack patterns have been reproduced in 2-D computer simulated (virtual) specimens that exhibit typical load-displacement relationships.



Rissbild eines virtuellen Prüfkörpers nach Versagen unter Druckbeanspruchung (ca. 50.000 Partikel)

Complete failure of a virtual specimen (50,000 particles) under pressure

The objective is replicate what is done in the laboratory on a computer screen – 3-D numerical simulation of failure mechanisms of a heterogeneous, concrete-like material consisting of an assortment of various-sized, interacting particles. It is the hope that in the near future, experience that cannot otherwise be gained through laboratory experiments due to practical reasons, can be attained by implementing 3-D computer generated experiments.

Titel | Title

Modellierung des Bruchverhaltens von Beton und Stahlbeton mit der Methode der Diskreten Elemente

Förderer | Funding

Institut für Massivbau, TU Dresden

Zeitraum | Period

seit 09.2008

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Dipl.-Inf. Kai Schickanz,
Dipl.-Ing. Birgit Beckmann, Dipl.-Math. Dirk Reischl

Beton unter stoßartiger Belastung

Betonstrukturen können außergewöhnlichen Belastungen wie zum Beispiel einem Fahrzeuganprall an eine Hauswand ausgesetzt sein. Solche dynamischen Stoßbelastungen können ausgehend von einer lokalen Schädigung zu einem Gesamtversagen der Betonstruktur führen. Dynamische Belastung verursacht hohe Dehngeschwindigkeiten, unter denen Trägheitseffekte und veränderte Materialeigenschaften auftreten. Die im Beton wirkenden Kräfte unterliegen einer starken zeitlichen und räumlichen Abhängigkeit. Dies macht die Bewertung von dynamischen im Vergleich zu statischen Lastfällen schwierig.

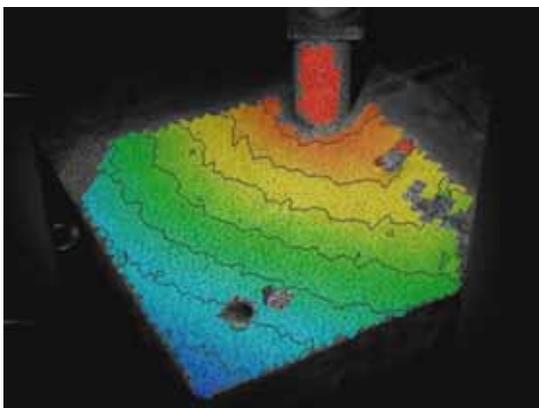
Ziel des Projektes ist es, Betone unterschiedlicher Festigkeit bezüglich ihrer Reaktion auf solche dynamischen Lastfälle zu untersuchen. Darüber hinaus sollen Möglichkeiten einer nachträglichen Verstärkung von vorhandenen Betonstrukturen bewertet werden können. Dabei ist von besonderem Interesse, sowohl das lokale Reaktionsverhalten an der Stelle, an der die Stoßbeanspruchung auftritt, als auch die globale Reaktion im Tragverhalten des gesamten Versuchskörpers zu untersuchen.

Dafür wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK)

der Technischen Universität Dresden in einem Fallturm Impact-Versuche an Betonplatten durchgeführt. Dabei wurden Platten in der Abmessung 1 m x 1 m aus Normalbeton (C20/25), hochfestem Beton (HPC) und ultrahochfestem Beton (UHPC) untersucht. Zusätzlich wurde ein Teil der Platten durch Carbonfaser- bzw. Stahlfasergelege verstärkt. In den Versuchen wurden sowohl das Fallgewicht als auch die Fallhöhe variiert. Beispielsweise wurde in einem Versuch ein circa 180 kg schwerer Stoßkörper mit Geschwindigkeiten von bis zu 47 km/h auf die Betonplatte fallen gelassen.

Die Messungen umfassten Materialdehnungen, Kräfte an den Auflagepunkten, Beschleunigung des Fallgewichts und unter anderem die Durchbiegung der Platten über photogrammetrische Messungen.

Für eine photogrammetrische Messung wird der gesamte Stoßvorgang durch Hochgeschwindigkeitskameras aufgezeichnet. Später werden die Änderungen zwischen den einzelnen Messbildern ausgewertet, um die Verformungen des Probekörpers zu bestimmen. Die Probe erhält dafür ein charakteristisches und zufälliges Schwarz-Weiß-Muster auf der Oberfläche.



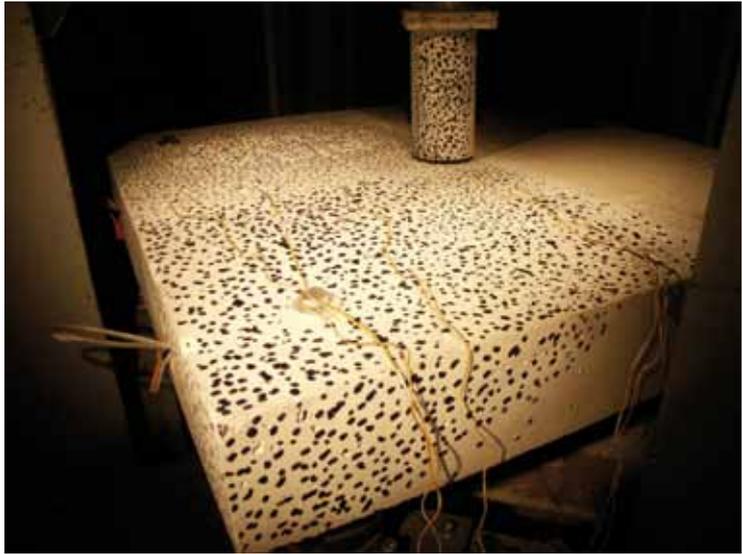
Ergebnisse: Plattendurchbiegung während und Zugzone nach der Stoßbelastung
 Results: Slab deflection during impact and the tension zone of a slab after impact

Concrete Under Impact Loading

Local damage resulting from an accidental impact situation to a structure, e. g., vehicle impact to a building, may lead to the global load-capacity failure of the structure. In contrast to static loading, the structural response to dynamic loading includes force dependencies with both time and location, material inertial effects, and changes to material properties from changing strain rates.

The goal of this project is to investigate the reaction of concrete slabs of varying levels of strength and to evaluate the reinforcement of existing concrete slabs. The interaction between the local material reaction at the point of impact and the global reaction of the slab is one of the primary underlying interests of this research.

Experiments were conducted on different slab configurations in a drop tower at the Institute of Lightweight Structures and Polymer Technology (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden). Different concrete strengths, ranging from normal strength concrete (C20/25) to ultra high performance concrete (UHPC), were tested. A number of slabs received a strengthening layer with carbon or steel fabric reinforcement. Both weight and height of the impactor were varied in this testing regime. For example, in one experi-



Versuchsplatte
Concrete slab

ment, an 180 kg impactor was dropped onto the concrete slab at a speed of up to 47 km/h.

Several methods were used to measure strains; forces acting at the support points; acceleration of the drop mass; and deflection of the slab. The entire sequence was documented by two high-speed cameras in order to take photogrammetric measurements. Later, differences between pictures were evaluated and interpreted as the deformation of the specimen. A sample surface with a random black-white pattern is necessary for this evaluation.

Titel | Title

Beton unter stoßartiger Belastung

Förderer | Funding

Institut für Massivbau, TU Dresden

Zeitraum | Period

fortlaufend seit 08.2009

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Birgit Beckmann ,
Dipl.-Ing. Anja Hummeltenberg

Betongelenke im Brückenbau

Betongelenke sind gekennzeichnet durch eine außerordentlich hohe Belastbarkeit und Verformungsfähigkeit. Sie sind vollkommen wartungsfrei und haben eine hohe Dauerhaftigkeit, wenn sie richtig bemessen und konstruiert sind. Betongelenke sind hervorragend geeignet, den Kraftfluss in Bauwerken zu steuern und Zwangsbeanspruchungen wirkungsvoll zu reduzieren.

Nachdem Klaus Köpcke 1880 die ersten Betonwälzgelenke für den Bau einer Gewölbebrücke in der Nähe von Dresden eingesetzt hat, haben sich die verschiedensten Gelenkformen (besonders in Frankreich) entwickelt. Während Augustin Mesnager bei seinen „semi-articulations“ die Gelenkkräfte durch Bewehrungsstähe übertrug, gelang es Eugène Freyssinet zu zeigen, dass die Normalkräfte infolge des mehraxialen Druckspannungszustandes und der starken Bewehrung der Gelenkanschlusskörper allein über den Beton abgetragen werden können. Prinzipiell entsteht bei

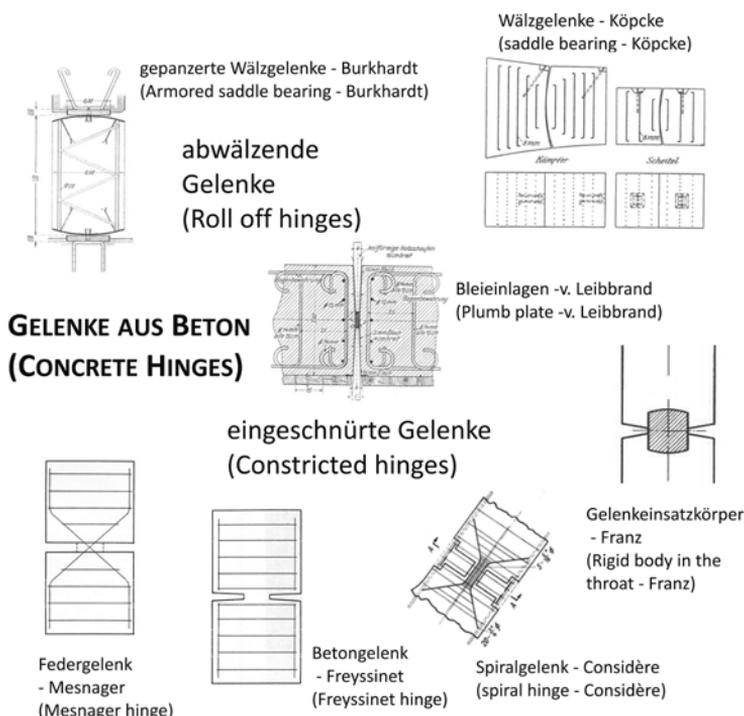
allen Gelenktypen die gelenkige Wirkung durch die Zentrierung der Druckspannungen im Gelenkhals.

Aber auch in Deutschland, in den USA und vor allem in der Schweiz wurden Betongelenke eingesetzt. Durch die Arbeiten von Fritz Leonhardt (Deutschland), E. O. Fessler (Schweiz) und G. D. Base (Großbritannien), welche bis heute international den Stand der Technik definieren, erlebten die Betongelenke in den sechziger Jahren eine Renaissance.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt und die geschichtliche Entwicklung der verschiedenen Gelenke dargestellt. Zusätzlich wurden die verschiedenen internationalen Bemessungsregeln für unbewehrte Betongelenke analysiert und verglichen. Die von Leonhardt angegebenen Bemessungsregeln, die in Deutschland die Bemessungsgrundlage für unbewehrte Betongelenke

darstellen, basieren auf dem alten globalen Sicherheitskonzept und wurden im Rahmen dieses Vorhabens auf die heutige Normengeneration übertragen. Damit wird eine Bemessung von Betongelenken auf Basis des heute bauaufsichtlich eingeführten Regelwerks ermöglicht.

Die erste mit Betongelenken ausgeführte Brücke wurde 1909 von Eugène Freyssinet gebaut und seitdem folgten zahlreiche Ausführungen von Brücken mit unbewehrten Betongelenken. Um die bewährte Funktionsweise dieser Gelenke zu belegen, wurden zahlreiche Ausführungen im Brückenbau recherchiert und zusammengetragen.



GELENKE AUS BETON (CONCRETE HINGES)

Klassifikation der verschiedenen Gelenkart
Classification of the different types of concrete hinges

Concrete Hinges in Bridge Building

Concrete hinges are characterized by an enormous load-bearing capacity and deformability. They are nearly maintenance-free and have a high durability if designed and constructed properly. Concrete hinges are perfectly suited to control the flow of forces and to efficiently reduce constraints.

Since Claus Köpcke first used concrete saddle bearings for an arched bridge near Dresden in 1880, several different types of hinges have been developed, especially

in France. While Augustin Mesnager used steel bars to transmit the hinge forces in his "semi-articulation", Eugène Freyssinet discovered that reinforcement in the throat is unnecessary and axial forces can be transmitted solely by the multi-axial state of compressive stress of concrete and the adequate confinement of adjacent member areas. The figure shows the classification of various types of concrete hinges. All hinges work on the same principle—concentrating compressive stresses in a very small zone (i.e., the throat of the hinge).

Concrete hinges have also been used in Germany, the U.S. and, in particular Switzerland. In



Die erste Brücke von Freyssinet mit unbewehrten Betongelenken:
Pont du Veurdre über den Allier in Frankreich

The first bridge with concrete hinges of Freyssinet:
Pont du Veurdre over the river Allier in France

the 1960's, the works of Fritz Leonhardt (Germany), E. O. Fessler (Switzerland), and G. D. Base (Great-Britain), which define the international state-of-the-art until today, led to a renaissance of concrete hinges.

In this project an intensive literature research has been carried out describing the historical development of several types of concrete hinges. Additionally, various existing international design-models for unreinforced concrete hinges were analyzed and compared. The design rules given by Fritz Leonhardt, which are the basis for the design of concrete hinges in Germany, are rooted in the outdated global safety factor concept, and, therefore, these rules were assigned to the current code to allow an appropriate design of unreinforced Freyssinet hinges.

The first bridge using unreinforced concrete hinges was built in 1909 by Eugène Freyssinet and since then many more bridges have followed. To demonstrate the functional effectiveness of unreinforced concrete hinges, information pertaining to numerous bridges has been researched and gathered. The figure shows the first bridge of Freyssinet with concrete hinges, the Pont du Veurdre over the Allier River in France.

Titel | Title

Betongelenke im Brückenbau

Förderer | Funding

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V.

Zeitraum | Period

01.2009 – 12.2009

Leiter | Project Manager

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

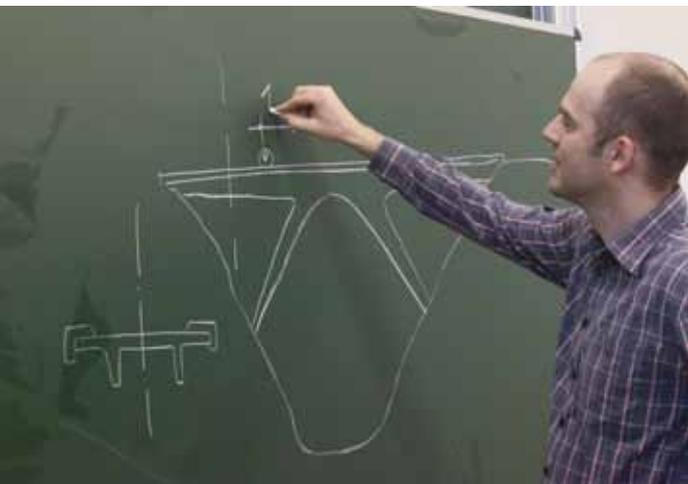
Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Gregor Schacht





LEHRE



LEHRE

LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTES FÜR MASSIVBAU

Die Lehre stellt den wichtigsten Auftrag einer Hochschule oder Universität dar. Auch am Institut für Massivbau an der Technischen Universität Dresden hat die Lehre Priorität. Für uns kommt es darauf an, zum Einen den Lehrauftrag bestmöglich zu erfüllen, aber auch mit dem Wissen die Begeisterung für unser Fach zu übertragen. 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 hinaus tragen oder durch eine Tätigkeit in der Forschung weiterentwickeln.

Wir verstehen die Lehre als einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Wir arbeiten daran, unsere Methoden zu verbessern und sehen das Urteil der Studenten als einen wichtigen Gradmesser für unseren Erfolg.

Dazu haben wir Ende 2009 ein Lehre-Team gebildet, welches sichtbar und ansprechbar kontinuierlich an der Erfüllung des Lehrauftrages arbeitet. Das Lehre-Team erarbeitet ein Konzept, setzt es in die Praxis um, bewertet die Ergebnisse und entwickelt das Konzept weiter. Ausdrücklich wollen wir hier mit den Studenten ins Gespräch kommen. Wir sind stolz darauf, dass sich die vier von Prof. Marx gehaltenen Vorlesungen im Stahlbeton- und Brückenbau unter den besten zehn der Fakultät befinden.

Das Institut beschäftigt mehr als 40 studentische Hilfskräfte. Durch die direkte Einbindung der Studentinnen und Studenten in die Forschungsarbeit wird ihre Motivation vergrößert und der direkte Kontakt gepflegt.

Wir können an Hand von Forschungsprojekten die Vielfalt der Themen zeigen. Ob es um das Bauen auf dem Mond, um leichtes und energieeffizientes Bauen oder um die Verwendung von neuen Materialien 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.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Institutes für Massivbau betreuen hauptsächlich Lehrveranstaltungen des Diplomstudienganges Bauingenieurwesen. Es werden aber auch Lehrveranstaltungen für den Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen und den Bachelorstudiengang Wasserwirtschaft angeboten.

Stahlbetonbau (BIW 2-05)

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx (Vorlesung)
Dipl.-Ing. Robert Ritter (Übung)

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 (Vorlesung + Übung)

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



Grundlagen des Stahlbetonbaus: Betonage

Inhalt des Moduls sind die Besonderheiten der Baustoffkunde des Massivbaus sowie des Tragverhaltens und der Konstruktionsweisen. Zusätzlich zu den vom Institut für Massivbau betreuten Lehrveranstaltungen werden im 5. Semester eine Vorlesung und eine Übung zur Werkstoffmechanik im Massivbau vom Institut für Baustoffe angeboten.

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

Aufbauend auf der 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.



Brückenbau: Scherkondetalbrücke

Entwurf von Massivbauwerken (BIW 4-11)

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx (Vorlesung)
Dipl.-Ing. Steffen Schröder (Seminar)

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

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

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

Die Studierenden können selbständig geeignete Systeme entwerfen, modellieren und berechnen. Sie sind in der Lage, die Entwürfe gemeinsam im Team zu entwickeln und diese vor einem Fachpublikum zu präsentieren.

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

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx (Vorlesung)
Dr.-Ing. Kerstin Speck (Übung)
Dipl.-Ing. Gregor Schacht (Übung)

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 wird vom Institut für Baustoffe betreut.

Im Rahmen der Vorlesung Mess- und Versuchstechnik lernen die Studierenden die grundlegenden Prinzipien und Techniken der Belastungserzeugung und Messgrößenerfassung kennen. Ein Schwerpunkt der Veranstaltung liegt auf der Planung und Auswertung von Versuchen im Labor und in situ. Die Anwendung messtechnischer Verfahren in der Bauwerksanalyse wird umfassend dargestellt. Begleitend werden Laborpraktika durchgeführt.

Brückenbau (BIW 4-16)

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx (Vorlesung)

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 auch Temperatur, Windwirkungen und Schiffsanprall beinhalten. Sie sind mit den verschiedenen Brückentypen, wie Balken-, Bogen-, Schrägkabel- und Hängebrücken vertraut und in der Lage, 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.

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

Computational Engineering im Massivbau (BIW 4-65)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
(Vorlesung und Übung)

7. Semester:
4 SWS Vorlesung / 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 Betonstahl im Hinblick auf Modellbildung und Diskretisierung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden geeignete Verfahren zur Lösung der nichtlinearen Problemstellungen sowie die speziellen Verfahrensmerkmale und die Anwendungsmöglichkeiten anhand von typischen Beispielen. Im Blickpunkt stehen ebenfalls auch außergewöhnliche Beanspruchungen wie Anprall und Explosionsdrücke.

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

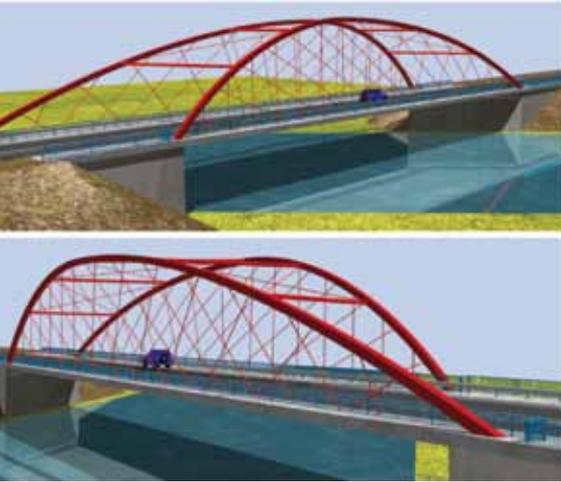
Ausgewählte Aspekte zu Diskretisierungsverfahren, CAE (BIW 4-68)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
(Vorlesung und Übung)

7. Semester:
4 SWS Vorlesung / 2 SWS Übung

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

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



PROJEKTARBEITEN

WINTERSEMESTER 08/09

Im 9. Semester wird im Diplomstudiengang Bauingenieurwesen von den Studenten eine Projektarbeit angefertigt. Durch die selbstständige Arbeit an einem Projekt soll die Fähigkeit zur Entwicklung, Durchsetzung und Präsentation von Konzepten nachgewiesen werden. Das Hauptaugenmerk dieser Projektarbeit liegt dabei auf dem Entwurf und der Konzeption eines Ingenieurbauwerkes, z. B. eines Stadions, eines Hochhauses oder einer

Brücke. Aber auch Projektarbeiten zu aktuellen oder neuen Forschungsvorhaben sind möglich.

In dieser Projektarbeit soll der Kandidat zeigen, dass er an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und -wege erarbeiten kann. Das Ergebnis der Projektarbeit ist in schriftlicher Form abzugeben und im Rahmen eines Kolloquiums zu präsentieren.

Gregor Schacht

**Betongelenke im Brückenbau
(Großer Beleg)**

Betongelenke sind gekennzeichnet durch eine außerordentlich hohe Belastbarkeit und Verformungsfähigkeit. Sie sind vollkommen wartungsfrei und haben eine hohe Dauerhaftigkeit. Ziel des großen Belegs war eine Übertragung der traditionellen Bemessungsregeln für Betongelenke auf die heutige Normengeneration, um die Anwendung dieser Baukonstruktionen im modernen Brückenbau auf Basis eines anerkannten Bemessungsmodells zu ermöglichen. Dazu wurden die Anwendungsformeln bezüglich der zu verwendenden Materialkennwerte, Belastungswerte und der Sicherheitsbeiwerte überarbeitet, so dass eine normenkonsistente Anwendung möglich wird. Es wurde eine Recherche und Auswertung der zu Betongelenken in der Literatur dokumentierten versuchstechnischen Untersuchungen sowie des internationalen Erfahrungsstandes von Betongelenken im Großbrückenbau durchgeführt.

Bastian Gerke

Entwurf einer Belastungseinrichtung für hochdynamische zweiaxiale Belastungen von Betonproben (Großer Beleg)

Die Festigkeitseigenschaften von Beton sind stark abhängig von Art und Dauer der Belastung. Es ist bekannt, dass Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchungen erhebliche Festigkeitssteigerungen gegenüber dem einaxialen Verhalten zeigt. Auch unter hohen Dehngeschwindigkeiten können gegenüber der statischen Belastung Festigkeitssteigerungen festgestellt werden, wobei hierfür bisher fast ausschließlich einaxiale Versuchsergebnisse vorliegen. Ziel des großen Belegs war es, die versuchstechnischen Grundlagen für hochdynamische Versuche an Beton aus publizierten Versuchsergebnissen zu recherchieren. Auf dieser Grundlage wurden erste Überlegungen zu einem Versuchsstand für zweiaxiale Belastungen angestellt. Insbesondere die zeitgleiche Einleitung der Belastungen in unterschiedlichen Richtungen war dabei von Interesse.

Karla Hornbostel

Einleitung von Hängerlasten in Betonplatten (Großer Beleg)

In dieser Arbeit wurden mittels einer Literaturrecherche Informationen zum Thema Einleitung von Hängerkräften in Betonplatten gesammelt und analysiert. Es wurden verschiedene Brückentypen untersucht, bei denen Hänger unterschiedlicher konstruktiver Ausbildung in eine Überbaukonstruktion aus Stahlbeton oder Spannbeton einbinden. Speziell wurde dabei auch herausgearbeitet, bei welchen Spannweiten und Belastungen der Einsatz von Betonplatten als Alternative zu orthotropen stählernen Fahrbahnquerschnitten möglich und sinnvoll ist. Es wurden die verschiedenen Hängerquerschnitte und deren spezielle Anwendungsgebiete dargestellt. Ausgehend von den Ergebnissen dieser Analyse wurden anschließend eigene Beispiele entwickelt und für spezifische Anwendungsfälle Bemessungen der Hängerkonstruktionen durchgeführt.

Dima Al Shamaa

Untersuchung und Verstärkung älterer Massivbrücken mit Hilfe externer Vorspannung am Beispiel der Talbrücke Denkendorf (Studienarbeit)

In dieser Arbeit wurden die typischen Schäden an Spannbetonbrücken in Deutschland qualitativ dargestellt. Bis in die siebziger Jahre schienen keine Probleme bei Spannbetonbrücken zu existieren und die technischen und wirtschaftlichen Vorteile dieser Bauweise führten zu zahlreichen Ausführungen. Doch zeigten sich in den folgenden Jahren immer mehr Brücken mit Schäden, besonders innerhalb der Koppelfugenbereiche, Schäden am Vorspannsystem oder korrodierende Bewehrung.

In der Studienarbeit wurden die aufgetretenen Schäden sowie die Untersuchungen und die Planung der erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen für die Talbrücke Denkendorf (Baujahr: 1978–1982) ausführlich dargestellt. Dabei wurde den Koppelfugen besondere Beachtung geschenkt.

Bernd Zwingmann

Unkonventionelle Gestaltungsmöglichkeiten mit Netzwerkbögen (Großer Beleg)

Im Großen Beleg wurden unkonventionelle Gestaltungsmöglichkeiten von Netzwerkbogenbrücken unter Berücksichtigung deren spezieller Tragwerkseigenschaften untersucht. Das Hängernetz von Netzwerkbogenbrücken kann unsymmetrische und konzentrierte Lasten derart auf den Bogen verteilen, dass in diesem keine bedeutenden Biegemomente entstehen. Das heißt, die Stützlinie folgt für jegliche Lasten der Bogengeometrie, wobei letztere im Prinzip frei gewählt werden kann. Im Hinblick auf dieses besondere Tragverhalten wurden verschiedene Brücken in ihren Grundzügen zeichnerisch entworfen und deren Machbarkeit anhand einer Vorstatik nachgewiesen. Zur Beurteilung der gestalterischen Qualität der neuartigen, als technisch und wirtschaftlich machbar eingestuften Entwürfe wurden 3D-Visualisierungen angefertigt. Diese Varianten wurden verglichen und bewertet.

Katrin Schwiteilo

Markus Dörre

Robert Schulz

Projekt Spielort (Großer Beleg)

Im Rahmen des universitätsweiten interdisziplinären Ideenwettbewerbs „SPIEL_ORT“ wurden in der ersten Phase der Bearbeitung zwei Entwürfe für einen Spielplatz entwickelt. Das Projekt sollte neben seiner Nutzung als Spielmöglichkeit gleichzeitig die Grundlagenforschung zum Textilbeton als Schwerpunktthema der Fakultät Bauingenieurwesen einem breiten Publikum erlebbar machen. In der zweiten Phase bestand die Aufgabe darin, basierend auf dem erstplatzierten Entwurf des Wettbewerbs das Projekt bis zur ausführungsfähigen Planung weiter zu entwickeln sowie die Organisation und die Dokumentation des gesamten Projektes zu erarbeiten. Dabei spielte die interdisziplinäre Zusammenarbeit im studentischen Planungsteam, bestehend aus Architekten, Landschaftsarchitekten und Bauingenieuren der Technischen Universität Dresden, eine Schlüsselrolle.



Ein Spiel_Ort für den Campus entsteht

Benjamin Walther

Entwurf einer Fußgängerbrücke aus Textilbeton (Großer Beleg)

Die Aufgabe des Großen Belegs bestand darin, eine Fußgängerbrücke von 18-25 m Stützweite zu entwerfen, die eine lichte Weite von 2,50 m aufweist. Ziel des Entwurfes war es, die Anwendungsmöglichkeiten von Textilbeton mit tragender und raumbildender Funktion in Kombination mit beliebigen anderen Materialien auszuloten. Dabei sollte der Textilbeton möglichst viele Teilfunktionen (Lastabtrag in Längs- u. Querrichtung) direkt übernehmen. Es wurden verschiedene Entwurfsvarianten entwickelt und schließlich die Variante „Streifenbrücke“ weiter bearbeitet. Die Streifenbrücke eignet sich bezüglich ihrer Schalenform als Tragsystem. Die aufgelöste Struktur ermöglicht eine hohe Transparenz und ein ansprechendes Design. Die Arbeit wurde vom Institut für Massivbau gemeinsam mit dem Lehrstuhl „Grundlagen des Entwerfens“ der Fakultät Architektur betreut.

Begüm Türer

Bridge Rehabilitation with External Post Tensioning (Studienarbeit)

In der Studienarbeit wurde die nachträgliche Verstärkung von Koppelfugen mit Hilfe von externen Spanngliedern am Beispiel einer bestehenden Straßenbrücke, der Lindenthal Brücke, untersucht. Dafür wurde zunächst das vorhandene Tragwerk entsprechend der Vorgaben des Eurocodes nachgerechnet und eine Analyse potentiell gefährdeter Bereiche durchgeführt. Es wurden verschiedene Vorspannkonzeppte entwickelt, um insbesondere die Koppelfugenbereiche, in denen unzulässige Spannungszustände auftraten, zu verstärken. Dabei wurden sowohl Exzentrizität und Intensität der Vorspannung als auch die feldweise Anordnung der Spannglieder variiert. Abschließend wurden die verschiedenen Konzepte miteinander verglichen und Maßnahmenempfehlungen für das Projekt abgeleitet.

Lin Jinwen

Comparison of various methods of strengthening of reinforced concrete slabs (Studienarbeit)

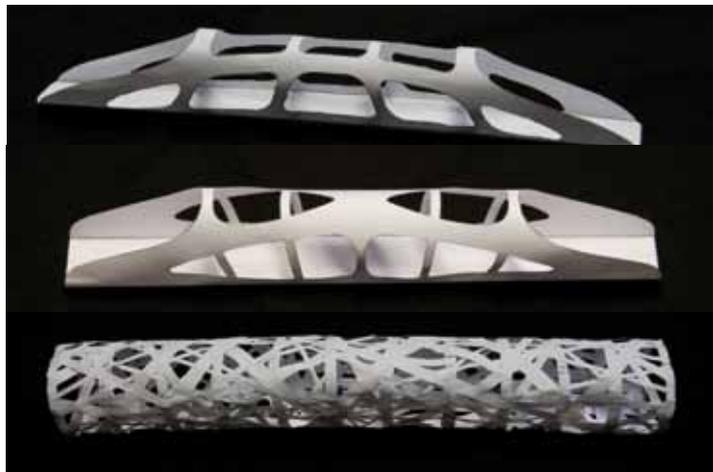
Ziel der Studienarbeit war der Vergleich von verschiedenen Verstärkungsmethoden bei bestehenden Stahlbetonplatten. Dabei sollten die Verstärkungen mit Spritzbeton, mit aufgeklebten bzw. eingeschlitzten Kohlefaserlamellen sowie mit textilbewehrtem Beton gegenüber gestellt und hinsichtlich der statisch-konstruktiven, ausführungstechnischen und wirtschaftlichen Vor- und Nachteile untersucht werden. Für die Untersuchungen wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt. Abschließend wurde die Biegeverstärkung mit aufgeklebten Kohlefaserlamellen an einem Praxisbeispiel berechnet und mit der realisierten Variante mit eingeschlitzten Lamellen verglichen.

Ives Mutzsch

Planung eines Versuchsstandes (Großer Beleg)

In dieser Arbeit wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zum Verbundverhalten von Spannbetonbauteilen durchgeführt, um

den Stand der Technik zusammenzutragen. Die Ergebnisse der Recherche wurden zusammenfassend dargelegt. Ausgehend von den gewonnenen Erfahrungen aus anderen Versuchen sollte ein Versuchsstand geplant werden, an dem Untersuchungen zum Verbundverhalten von Spanngliedern im nachträglichen Verbund unter Querkraft untersucht werden können. Grundlage für die Planung der Versuchskörper waren die Geometrie und die Bewehrungsführung in einem Spannbetoncontainments. In Anlehnung an dieses wurde die Schalung zur Herstellung der Stahlbeton- und Spannbetonprobekörper geplant. Weiterhin wurden auf der Grundlage der im Versuch herrschenden Spannungsverteilungen Variantenuntersuchungen für die Lasteintragungsmittel zur Gewährleistung eines zweidimensionalen Spannungsverhältnisses im Probekörper durchgeführt.



Drei Entwürfe: Fußgängerbrücke aus Textilbeton



DIPLOMARBEITEN UND MASTERARBEITEN

SOMMERSEMESTER 2009

Im 10. und letzten Semester des Diplom- oder Masterstudienganges wird die Diplom- bzw. Masterarbeit angefertigt. Die Aufgabenstellungen für die Diplomarbeiten können Praxis- oder Forschungsthemen oder auch Entwurfsarbeiten sein.

Diese Arbeit bildet nicht nur den Abschluss des Studiums, sondern ist Ausdruck dafür, dass der Student eigenständig eine Aufgabenstellung bearbeiten und lösen kann. Für die Anfertigung der Abschlussarbeit ist ein Zeitraum von 3 Monaten

vorgesehen und wird mit der Verteidigung vor der Prüfungskommission abgeschlossen. Die Verteidigung erfolgt in einer 20-minütigen Präsentation und einer 30-minütigen Befragung durch die Prüfungskommission.

Am Institut für Massivbau wurden im Sommersemester 2009 die folgenden Diplomarbeiten betreut. Für Studenten der Aufbaustudienganges Rehabilitation Engineering erfolgt der Studienabschluss durch die Masterarbeit.

Paolo Dapoz

Ermittlung der Tragsicherheit mit Hilfe von Belastungsversuchen (Diplomarbeit)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx,
Dr.-Ing. Jan-Uwe Sickert, Dr. Prof. Oreste Salvatore Bursi (Universität Trento)

Belastungsversuche werden angewendet, wenn der Nachweis der Tragfähigkeit bestehender Baukonstruktionen mit rechnerischen Nachweisen allein nicht erbracht werden kann. Die Tragwerksantworten (Verschiebungen, Dehnungen, Rissbreiten) der Konstruktion infolge einer Testbelastung bis über das Gebrauchslastniveau werden registriert und bewertet, so dass Aussagen zum aktuellen Tragwerkswiderstand möglich werden. Der Tragwerkswiderstand ist insbesondere bei bestehenden Bauwerken eine stark streuende Größe. Die Streuung muss bei der Festlegung der Testbelastung und dem anschließenden rechnerischen Nachweis der Tragfähigkeit berücksichtigt werden. Die aktuelle Vorgehensweise in der Ingenieurpraxis basiert auf dem Sicherheitskonzept der Teilsicherheitsbeiwerte.

In der Diplomarbeit wurde zunächst das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte gemäß EN 1990 Eurocode, Grundlagen der Tragwerksplanung, analysiert. Ausgehend von den Verteilungsfunktionen der Basisvariablen wurde herausgearbeitet, wie die Streuungen der Material-, Geometrie- und Belastungskenngrößen in entkoppelte Teilsicherheitsbeiwerte überführt werden und wie darin andere, nicht explizit genannte Einflüsse (z. B. Modellunsicherheiten), berücksichtigt werden können. Aufbauend darauf wurden Berechnungsmodelle aufgestellt, die eine Herleitung

modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte bei Belastungsversuchen ermöglichen. Es wurden Kovarianzanalysen und Zuverlässigkeitsanalysen auf der Basis im Stahlbetonbau standardmäßig angewendeter Nachweise der Tragfähigkeit durchgeführt. Weiterhin wurden umfangreiche Untersuchungen zur Bestimmung charakteristischer Werte bei bestehenden Baukonstruktionen unter Berücksichtigung von Vorinformationen und Ergebnissen von Materialtests durchgeführt und in MathCAD-Sheets umgesetzt. Die ermittelten Sensitivitätsbeiwerte und charakteristischen Werte fließen in die Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte ein. Die Anwendung der hergeleiteten Teilsicherheitsbeiwerte wurde an einem Beispiel demonstriert.



Semi-integrale Brücke aus Spannbeton (aus Arbeit Hornbostel)

Marcus Dörre

Biegetragfähigkeit von Rahmenecken aus Textilbeton (Diplomarbeit)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx,
Dr.-Ing. Frank Jesse

Textilbetonbauteile sind gekennzeichnet durch sehr geringe Wandstärken, eine freie Formgebung sowie eine hohe Zug- und Druckfestigkeit in Richtung der Stabachse bzw. der Mittelebene. Bei gekrümmten Bauelementen entstehen neben den Normalkräften bzw. den Scheibenbeanspruchungen in den meisten Fällen auch Biegemomente. Die textile Bewehrung wird in der Regel oberflächennah verlegt, wobei nur sehr geringe Betondeckungen erforderlich sind. Durch den laminaren Aufbau der Querschnitte entstehen bei gekrümmten Bauteilen Umlenkkräfte, die von der Textilbewehrung auf den Beton übertragen werden müssen. Auf der konkav gekrümmten Oberfläche stützen sich diese Umlenkkräfte nur gegen die sehr geringe Betonüberdeckung ab bzw. müssen über Haftzugspannungen in den Betonkern übertragen werden. Die geringe Zugfestigkeit des Betons bestimmt damit maßgeblich das Versagen von gekrümmten biegebeanspruchten Textilbetonbauteilen mit Zugkräften im Bereich der konkaven Oberfläche.

In der Diplomarbeit ist die Biegetragfähigkeit von Textilbetonrahmenecken rechnerisch und versuchstechnisch untersucht worden. Form und Gestalt der betrachteten Bauteile stammen aus dem Entwurf einer Landschaftsgestaltung des studentischen Planungsbüros „Spiel_Ort“. Die im Zuge der Planung entworfenen Bauteile sind im Rahmen dieser Diplomarbeit auf ihre Trag- und Gebrauchstauglichkeit geprüft worden. Mit Hilfe von ebenen Stabwerkmodellen, FEM-Modellierungen als Flächentragwerke sowie einer versuchstechnischen Prüfreihe wurde die Biegetragfähigkeit der Rahmenkonstruktion analysiert.

Die Ergebnisse der Versuche lieferten den geforderten Nachweis der Standsicherheit der Bauteile. Die Bauteile hielten einer Dauerbelastung von 2000 Zyklen auf Gebrauchslastniveau schadenfrei stand. Bei weiteren 2000 Zyklen auf Tragsicherheitsniveau deuteten zunehmende Rissbreiten auf das Versagen hin. Ein sprödes, plötzliches Versagen trat jedoch nicht ein.

Karla Hornbostel

Langzeitverhalten von semi-integralen Brückenbauwerken (Diplomarbeit)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx,

Dr.-Ing. Thomas Bösche (Curbach Bösche Ingenieurpartner)

In der Arbeit wurden besonders die Auswirkung der Relaxation des Betons auf die Zwangsbeanspruchung und die Bemessung der Brückenpfeiler analysiert. Dazu wurden zunächst die in der Fachliteratur verfügbaren Modelle zur Kriech- und Relaxationsberechnung ausgewertet und verglichen. Im ersten Schritt wurden an modellhaften unbewehrten Betonkörpern verschiedene Last-Zeitverläufe (konstante, stufenweise und stetig veränderliche Belastungen) untersucht. In einem weiteren Schritt wurde die Bewehrung in den Untersuchungen berücksichtigt. Insbesondere wurde dabei herausgearbeitet, wie sich die Zwangsbeanspruchungen und die Relaxation auf die Schnittgrößenanteile der verschiedenen Teilquerschnitte auswirken.

Aus diesen Vorüberlegungen wurde ein Verfahren für eine biegesteif an den Überbau angeschlossene Stütze einer semi-integralen Brücke entwickelt, die durch Überbauverschiebungen Zwangsbeanspruchungen erfährt. Den Schwerpunkt der Arbeit bildete die Entwicklung einer Methodik zur Erfassung der Relaxationseffekte für verschiedene Bauzustände und die damit verbundenen Belastungsszenarien. Durch eine Parameterstudie und die zuvor gewonnenen Erkenntnisse zu den Anwendungsgrenzen der erarbeiteten Relaxationstheorien konnte ein vereinfachtes Verfahren für Einwirkungen mit kriechnaffinem Verlauf beschrieben werden. Dieses erlaubt eine Abschätzung der relaxierten Spannungen mittels einer Handrechnung. Bei der Berechnung eines Prinzipbeispiels nahmen die Betonspannungen erwartungsgemäß mit der Zeit ab und beeinflussten damit erheblich die bemessungsrelevanten Momente, womit der Bewehrungsgrad um bis zu 30 % gesenkt werden konnte.

Zusammenfassend wurden die Modelle und Berechnungsansätze an einem realen Brückenbauwerk, der Scherkondetalbrücke auf der DB Neubaustrecke Erfurt – Leipzig/Halle, angewendet. Die Berechnungsergebnisse der verschiedenen Verfahren wurden verglichen und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bemessung der Pfeileranschlüsse bewertet.

Chiara Marchegiani

Entwurf und Analyse einer Fußgängerbrücke mit Anwendung von Hohlprofilen und Stahl höherer Festigkeit (Diplomarbeit)

Betreuer: Dr. Prof. Oreste Salvatore Bursi (Universität Trento), Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Der Entwurf einer Fußgängerbrücke ist ein interessanter Anwendungsbereich von HSS (High Strength Steel) und CHS (Circular Hollow Section). Diese Baustoffe und Bauelemente sind aber sehr teuer, wenn sie mit normalen Stahl- und gewöhnlicheren Baulösungen verglichen werden. Aus diesem ökonomischen Grund ist es wichtig zu verstehen, wann der Einsatz von HSS und CHS konkurrenzfähig sein kann. Dafür sollte aber nicht nur die Minimierung der Baukosten das entscheidende Kriterium sein. Schöner ästhetische Lösungen können eingesetzt werden, wenn eine Entwurfsphilosophie die die Bedeutung der symbolische Funktion eines Bauwerkes in Zusammenhang mit dem Entstehungsort betrachtet.

Ein anderes wichtiges Thema, das auch die Projektierung von Fußgängerbrücken betrifft, beschreibt den verantwortlichen Entwurf. Dies beinhaltet die Betrachtung von Umweltproblemen, zum Beispiel durch Energiesparen und Materialsparen. Diese Prinzipien können sich nur in einer effizienten Nutzung von innovativen Baulösungen konkretisieren. In der Diplomarbeit wird auf das Thema des Entwurfs einer Fußgängerbrücke mit Einsatz von HSS und CHS anhand zweier Beispiele eingegangen: die Fußgängerbrücke auf der Bayerstrasse in München und die Fußgän-

gerbrücke „Ponte del Mare“ in Pescara. Die erstgenannte ist ein exemplarisches Beispiel der Anwendung von HSS und CHS. Die Analyse der Eigenschaften dieser Fußgängerbrücke zeigen die Vorteile, die diese Baustoffe und Bauelemente in der Projektierung bringen können.

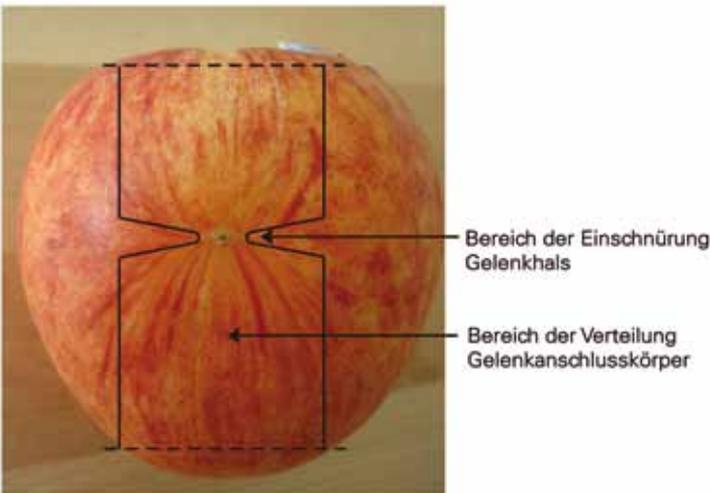
Die Fußgängerbrücke „Ponte del Mare“ wird als „Case study“ des Projekts HITUBES verwendet, um eine vergleichende Berechnung unter Einsatz von HSS und CHS durchzuführen.

Christian Rabe

Ertüchtigungskonzept für eine denkmalgeschützte Fischbauchträger-Brücke unter Nutzung von Textilbeton (Diplomarbeit)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Silvio Weiland

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden am Beispiels einer historischen Fußgängerbrücke über die Weißeritz am Emerich-Ambross-Ufer in Dresden die prinzipiellen Abläufe einer Sanierungsplanung herausgearbeitet. Das Stahlbetontragwerk wurde als Fischbauchträger im Jahre 1904 errichtet und ist heute eines der letzten noch existierenden Bauwerke dieses Konstruktions-typs. Das Bauwerk befindet sich in einem sehr schlechten Zustand und muss dringend saniert werden. Zu Beginn der Arbeit wurde eine Recherche und Auswertung der verfügbaren Bauwerksunterlagen sowie die Bewertung der vorliegenden Bauwerksuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurde versucht, die Ursachen des jeweiligen Schadens zu analysieren und die Relevanz



Apfel und Betongelenk:
Die Natur als Ideengeber?
(aus der Arbeit von Gregor Schacht)

des Schadens hinsichtlich der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit zu beurteilen. In weiteren statisch-konstruktiven Untersuchungen wurde das Bauwerk unter Annahme linear-elastischen Materialverhaltens untersucht. Dabei waren insbesondere die Sensivität der Eingangsgrößen zu überprüfen und die typischen Schwachstellen dieser speziellen Baukonstruktion zu analysieren.

Ausgehend von den vorliegenden Schäden sowie der aktuellen Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit wurden mögliche Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahmen abgeleitet, welche eine dauerhafte Nutzungsfähigkeit für das Bauwerk sicherstellen. Neben wirtschaftlichen Aspekten wurde dabei berücksichtigt, dass das Bauwerk ein Baudenkmal deutscher Ingenieurbaukunst darstellt. Als Ergebnis der Arbeit wurde der Erhalt und eine Ertüchtigung der Fischbauchbrücke empfohlen. Die Landeshauptstadt Dresden hat mit diesem Ziel daher erste Planungsarbeiten mit Materialuntersuchungen und im Variantenvergleich von Sanierungsmaßnahmen beauftragt.

Gregor Schacht

Berechnungsmodelle für Betongelenke (Diplomarbeit)

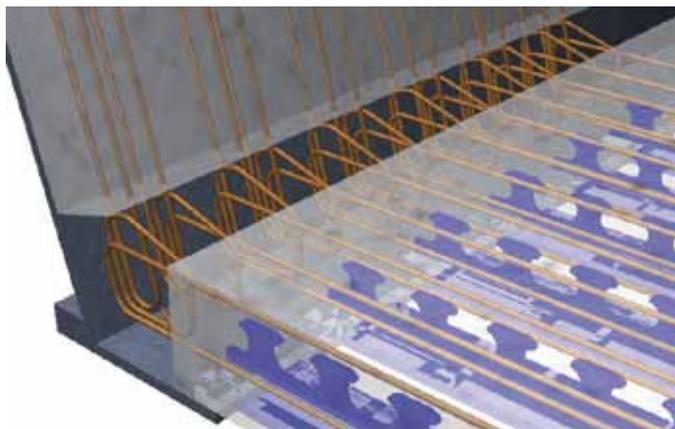
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx,
Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dr.-Ing. Ingolf Lepenies
(Dynamore GmbH)

Gelenkige Verbindungen existieren im Massivbau bereits seit 1880, als Claus Köpcke sogenannte Wälzgelenke für den Bau einer Naturstein-Gewölbebrücke entwarf. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts folgten in Frankreich weitere Entwicklungen

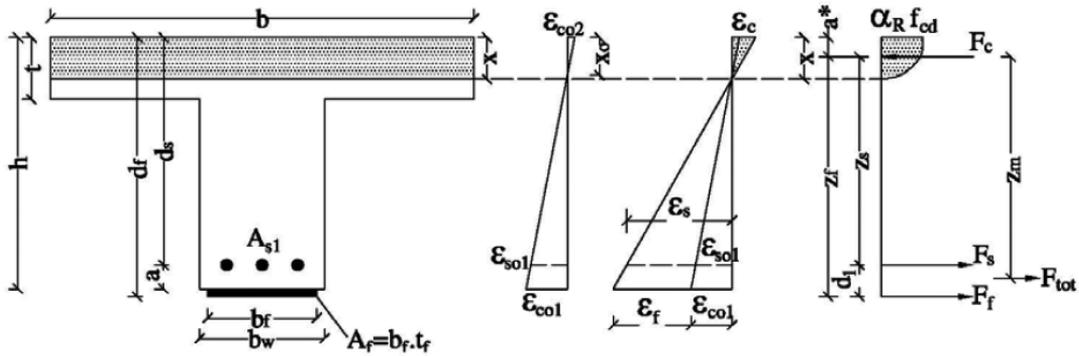
der Gelenke. Während Mesnager bei seinen Federgelenken noch der Bewehrung die Kraftübertragung zusprach, entwickelte Freyssinet ein unbewehrtes Gelenk, beim dem die Kraftübertragung allein über den Beton erfolgte. Auch in Deutschland, in den USA und vor allem in der Schweiz wurden Betongelenke verwendet. Durch die Arbeiten von Fritz Leonhardt (Deutschland), E.O. Fessler (Schweiz) und G.D. Base (Großbritannien), welche bis heute international den Stand der Technik definieren, erlebten die Betongelenke in den sechziger Jahren eine Renaissance.

Die von Leonhardt entwickelten Bemessungsregeln wurden im Rahmen dieser Arbeit normkonform übertragen und es wurde versucht, das Tragverhalten mit heute zur Verfügung stehenden Modellen zu beschreiben und ein normkonformes und wissenstandsgemäßes Bemessungsmodell abzuleiten. Grundlegend für die Beschreibung der Tragfähigkeit sind die Erfassung des dreiaxialen Betondruckspannungszustands im Gelenkhals sowie die Berücksichtigung der Spatzugkräfte im Betongelenkanschlusskörper. Um die aufgestellten Ingenieurmodelle zu überprüfen, wurde das Tragverhalten von Betongelenken mit Hilfe von FE-Berechnungen numerisch simuliert. Durch eine scriptgesteuerte Netzgenerierung wurden Betonkörper und Bewehrung automatisch generiert, so dass Parameterstudien leicht durchgeführt werden können. Somit konnten die geometrischen Parameter variiert und ihr Einfluss auf das Tragverhalten untersucht werden.

Um zu zeigen, dass Betongelenke eine anerkannte Bauweise darstellen, wurden ergänzend zahlreiche Ausführungen von Betongelenken recherchiert und die vorhandenen Erfahrungswerte zusammengetragen.



3-D-Modell einer Verbundtrogbücke (aus der Arbeit von Robert Schulz)



Kohlenfaserlamellenverstärkter Querschnitt (aus der Arbeit von Dima Al Shamaa)

Robert Schulz

Untersuchungen zum Tragverhalten der Bodenplatte einer Verbundtrogbrücke für den Eisenbahnverkehr (Diplomarbeit)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Günther Seidl (Ingenieurbüro SSF)

Beim Ersatzneubau von Eisenbahnbrücken im bestehenden Streckennetz ist häufig eine Vergrößerung der lichten Höhe unter der Brücke erforderlich. Außerdem müssen beim Neubau die heute erforderlichen höheren Schotterbettdicken hergestellt werden. Um besonders im innerstädtischen Bereich aufwendige Gradientenanpassungen der bestehenden Gleise und / oder der unterführten Straßen zu vermeiden, sind Überbauten mit minimaler Bauhöhe erforderlich.

Ziel dieser Arbeit bestand darin, eine alternative Konstruktion für Stahltrugbrücken der Eisenbahn zu entwickeln und zu berechnen. Dabei wird die Stahltrugplatte durch eine Verbundplatte mit externer Bewehrung gebildet (Entwicklung SSF-Ingenieure). Dazu wurden zunächst rechnerische Untersuchungen der gesamten Brückenkonstruktion durchgeführt, um die maßgebenden Beanspruchungszustände der in Längsrichtung im sofortigen Verbund vorgespannten Trogplatte zu ermitteln. Die externe Bewehrung der Platte besteht aus halbierten Stahlprofilträgern, die über eine aus dem Steg ausgeschnittene Dübelkonstruktion an den Betonplattenquerschnitt angeschlossen werden. Im Rahmen dieser Arbeit ist diese externe Bewehrung hinsichtlich der Geometrie (Profilwahl, Abstände, Dübelform) optimiert worden. Dazu wurden numerische Simulationen verwendet, in denen diese Parameter

variiert und so ein Optimum der geometrischen Ausbildung gefunden wurde. Maßgebend ist dabei die Ermüdungsbeanspruchung der Stahlprofile. Die optimierte Geometrie wurde dann planerisch in einen Probekörper umgesetzt, der hinsichtlich der Ermüdungsbeanspruchung experimentell untersucht werden soll. Die Versuchsplanung war ebenfalls Gegenstand der Diplomarbeit. Dazu wurde ein Versuchsstand entworfen, der für die Durchführung von Ermüdungsversuchen geeignet sein muss. Die Messgrößen und das Belastungsregime wurden definiert. Abschließend wurde eine Kostenschätzung für die Versuchsdurchführung vorgenommen.

Dima Al Shamaa

Flexural Strengthening of Concrete Bridges with CFRP Strips (Masterarbeit)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dr.-Ing. Kerstin Speck

CFRP strips have become a material of choice in the last two decades in Germany, after they had been already used in the U.S., Japan, Canada and Switzerland. Excessive research has been conducted on many aspects of this strengthening technique in Germany, more for non-prestressed than prestressed CFRP strips, for example at the universities of Braunschweig, Munich and Kaiserslautern. Yet, there exist at the moment, instead of standards, only few practical regulations in the national guidelines included in the technical approvals provided by the German Institute for Structural Engineering (Deutsches Institut für Bautechnik, Germany). Moreover, these regulations do not include all fields of use, e.g. strengthening of prestressed concrete elements, strengthe-

ning against fatigue failure or even strengthening with prestressed CFRPs.

In this study, the state of the art of different flexural strengthening methods using non-prestressed and prestressed CFRPs, the development of their guidelines and design methods, their applications for strengthening reinforced and prestressed concrete bridges, is shown. The structural design of flexural strengthening with non-prestressed CFRP strips is elaborated in light of the available, until 2010, and planned, after 2010, approvals in Germany described by the German Institute for Construction Technique (Deutsches Institut für Bautechnik, German<), whereas the design of strengthening with prestressed CFRP strips, due to the unavailability of corresponding guidelines, is introduced based on literature research and some available practical calculation examples from German engineering companies and producers. Two calculation examples are demonstrated and evaluated in the appendix for flexural strengthening of prestressed and reinforced concrete superstructures due to vehicle load increase and to fatigue-prone prestressing tendons at the coupling joints by means of prestressed and non-prestressed CFRP strips.

Begüm Türer

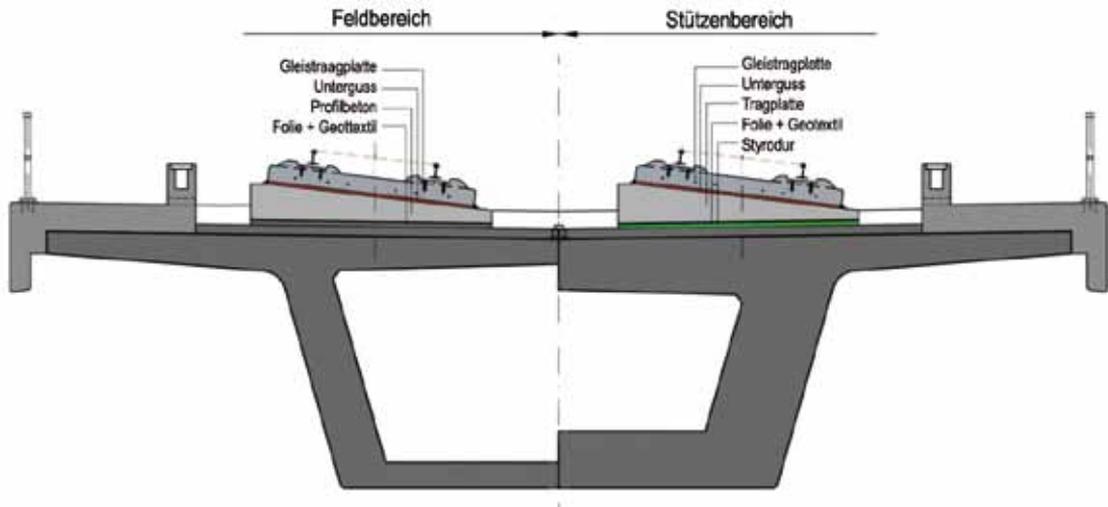
Design an application of textile reinforced concrete (Masterarbeit)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx,
Dr.-Ing. Frank Jesse

Textile Reinforced Concrete (TRC) is a new composite material using technical textiles made of high performance fibers from AR-glass and carbon to reinforce a cementitious matrix. As with all new materials in civil engineering, the more the material properties differ from traditional used materials, the less experience in form of design and application rules is available. The aim of this project is to contribute to the development of rules and best practice examples for application of this new composite material. Laboratory tests have been chosen as a method to evaluate influence of various parameters during production process of TRC in order to develop recommendations for processing and production of TRC. The following parameters have been examined in this study:

- ❑ *Casting: The fine concrete mixture for TRC is produced in batches. The low material consumption of the hand lay-up process leads to significant time between mixing and casting of fresh concrete. The influence of fresh concrete age on composite performance in terms of strength and cracking has been evaluated.*
- ❑ *Curing: TRC is produced by a hand lay up process using extremely thin concrete layers of only 2 to 4 mm. Adequate curing of the 2 to 4 mm thin concrete sections is essential for achieving high concrete quality and assuring composite performance in terms of strength, shrinkage, cracking and others. Main impacts for outside production have sun and wind. Both environmental parameters have been simulated in lab experiments.*

To answer these questions extensive laboratory tests have been designed and examined. From test results specific recommendations for casting and curing of TRC in practical application have been developed.



Querschnitt einer Eisenbahnbrücke mit längsverschieblicher Fester Fahrbahn
(aus der Arbeit von Marc Wenner)

Marc Wenner

Nichtlineare Schienenspannungsberechnung unter Berücksichtigung des Zeiteinflusses der Belastung (Diplomarbeit)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx,
Dipl.-Ing. Steffen Schröder

Auf den Eisenbahnhochgeschwindigkeitsstrecken der DB AG wird in der Regel eine Feste Fahrbahn verwendet. Dabei werden die Schienenstützpunkte statt auf schottergebeteten Schwellen in durchlaufenden Betonplatten verankert. Diese Konstruktion ist wesentlich steifer und außerdem nahezu wartungsfrei.

Auf Eisenbahnbrücken wird die durchlaufende Betonplatte der Fester Fahrbahn jedoch infolge der Dilatationsfugen der Überbauten unterbrochen. In der durchlaufenden Schiene entstehen durch Temperatur, Kriechen und Schwinden sowie verkehrsbedingte Überbauverformungen erhebliche Schienenspannungen. In Abhängigkeit von der Dehnlänge, der Überbaukonstruktionsart, der Herstellungsbedingungen sowie weiterer Einflussgrößen werden Schienenauszüge erforderlich, wenn die Schienenspannungen bestimmte Grenzwerte überschreiten.

Die Berechnung der Schienenspannungen erfolgt unter Annahme von nichtlinearen belastungsabhängigen Kopplungsbedingungen zwischen

Schiene und Brückensystem. Häufig werden dabei die verschiedenen Lastfälle getrennt voneinander berechnet und anschließend linear überlagert.

Im ersten Teil der Diplomarbeit konnte gezeigt werden, dass eine Berechnung, die den zeitlichen Einfluss, also das Aufeinanderfolgen der verschiedenen Lastfälle mit den jeweiligen Schlupferscheinungen zwischen Schiene und Brückenbauwerk berücksichtigt, wesentlich realitätsnähere und günstigere Ergebnisse liefert. Im zweiten Teil der Arbeit wurde eine Neuentwicklung untersucht, die eine Längsverschieblichkeit der Fester Fahrbahn auf der Brücke ermöglicht. Dadurch können wartungsaufwendige Schienenauszüge vermieden und das Brückensystem unabhängig von der Schienenspannungsthematik geplant werden.

Die in der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse wurden beispielhaft an einem fiktiven Einfeldträger sowie an einer realen Sprengwerkrahmenbrücke angewendet.



AUSSERHALB DER WISSENSCHAFT

Alle zuvor dargestellten Ergebnisse in Lehre und Forschung sind letztlich auf die Expertise und das hohe persönliche Engagement der gesamten Belegschaft des Instituts für Massivbau zurückzuführen. Ob es darum geht, im Otto-Mohr-Labor termintreu und gewissenhaft Proben herzustellen und hochpräzise Messungen durchzuführen, auch wenn parallel dazu Erweiterungsmaßnahmen das Arbeiten z. T. erheblich erschweren und zu einer logistischen Meisterleistung werden lassen, oder ob es auf die exzellente Leistung der Wissenschaftler ankommt oder die Verwaltungsangestellten zuverlässig und zum Nutzen jedes Einzelnen die organisatorischen Grundlagen für einen reibungslosen Projektablauf gewährleisten, alles zusammen garantiert erst den Erfolg.

Aus diesem Grunde haben wir uns auf die Fahnen geschrieben, das Miteinander in der

täglichen Arbeit zu fördern, Strukturen und Prozesse aufzubauen, die ein solches Miteinander ermöglichen und die das gemeinsame Interesse entwickeln, voneinander und auch aus Fehlern zu lernen.

Unsere Begeisterung für das Fach versuchen wir zu transportieren. Bei der Kinderuniversität zu den Kleinsten, bei Schülerprojektwochen zu der Jugend, bei Exkursionen und in den Lehrveranstaltungen zu den Studenten und bei Abendgymnasien, Science TV und der Langen Nacht der Wissenschaften so weit es geht.

Die Begeisterung für das Fach und die gemeinsame Arbeit lässt uns stärker zusammenrücken. Jedes Jahr gibt es verschiedene gemeinsame Freizeitveranstaltungen, vom Ski laufen über einen Projekttag bis zur Weihnachtsfeier.



Schülerpraktikum

Das Schülerpraktikum ist eine gemeinsame Aktion des Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums Dresden und der TU Dresden, an der sich auch die Fakultät Bauingenieurwesen beteiligt. Die Schüler der 7. und 8. Klasse des Gymnasiums mit vertieftem mathematisch-naturwissenschaftlichen Profil konnten eine Woche lang einen Blick auf den Alltag an der Universität werfen.

Insgesamt zehn Schüler waren eingeladen, den Wissenschaftlern bei ihrer Arbeit in den Laboratorien über die Schulter zu sehen. Im Otto-Mohr-Laboratorium kamen sie direkt mit dem Werkstoff Stahlbeton in Berührung. Durch eigene kleinere Versuchsreihen konnten die Schüler selbstständig herausfinden, welche Eigenschaften Beton besitzt und warum vor mehr als 150 Jahren die Idee entstanden ist, Beton mit Stahleinlagen zu bewehren.

Wie sich Balken durchbiegen und was man dagegen tun kann, dass diese Durchbiegungen zu groß werden, fanden die Schüler zuerst theoretisch heraus und konnten dann diese Erkenntnisse an Biegeversuchen mit Balken aus verschiedenen Materialien und Querschnittsabmessungen im Labor überprüfen. An Versuchen in der Triaxial-Prüfmaschine konnten die Schüler entdecken, dass Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung enorm tragfähig ist.

Betreuer: Steffen Schröder, Silke Scheerer, Doreen Sonntag, Daniela Bayer (IfM)

Der diesjährige **Institutsausflug** führte nach Görlitz. Die Besichtigung der zahlreichen Sehenswürdigkeiten der Stadt begann bereits in der im Jugendstil gestalteten Bahnhofshalle. Auf einer grenzüberschreitenden Stadtführung gab es viel Wissenswertes aus der Geschichte und der Gegenwart der deutsch-polnischen Grenzstadt zu erfahren. Die gut erhaltene Bausubstanz der Innenstadt, aufgrund derer Görlitz schon oft als Filmkulisse gewählt wurde, beeindruckte alle Teilnehmer.

Institut intern

Die **Weihnachtsfeier** des Institutes führte 2009 in die Vergangenheit von Dresden. Der Besuch im Gasometer gewährte einen Eindruck von Dresden im Jahre 1756. Die Führung durch die Ausstellung wurde durch den 3D-Panoramablick auf Dresden an einem sonnigen Augusttag des Jahres 1756 gekrönt. Der Architekt und Künstler Yadegar Asisi, der von 1973 bis 1978 an der TU Dresden Architektur studiert hat, ließ sich für seine „Architekt der Illusionen“ (so einer seiner Buchtitel) für das 105 m lange und 27 m hohe Panoramagemälde durch die Arbeiten des Malers Canaletto inspirieren.

Anschließend wurde der Abend im Schillergarten zu Dresden fortgesetzt. Bei gutem Essen und dem ein oder anderen Bier wurde fröhlich geplaudert, gefachsimpelt und die Arbeit auch mal kurz vergessen...

Brückenexkursion

Die alljährliche Exkursion im Rahmen der Vorlesung Massivbrücken führte 2009 über Tschechien nach Österreich. Die Exkursion wurde zusammen mit den Studenten organisiert und zum Teil vom DAAD gefördert.

Über Prag, Brno und Bratislava ging es nach **Wien**, wo auch ein Besuch des Institutes für Tragkonstruktionen unter der Leitung von Prof. **Johann Kollegger** der TU Wien auf dem Programm stand. Die Fahrten waren so geplant, dass möglichst viele Brücken und andere Baustellen ohne große Umwege besichtigt werden konnten.

In **Amstetten** wurde das **DOKA Infocenter** besichtigt und an einem kleinen Schalungsbaukurs teilgenommen. Dann ging es weiter Richtung **Linz**, wo der bekannte österreichische **Brückeningenieur Erhard Kargel** sich bereitwillig den neugierigen Fragen der Studenten stellte und einen Einblick in seinen Ingenieuralltag gab.



Bevor es zurück nach Deutschland ging, gab Herr Kargel eine interessante Führung zu seiner preisgekrönten **Fußgängerbrücke in Wernstein**. Die Rückreise nach Dresden führte über München und zahlreiche Brücken der **Neubaustrecke Ebensfeld-Erfurt-Halle/Leipzig** der Deutschen Bahn. Insgesamt wurde eine Strecke von 2000 km in von Studenten gefahrenen geliehenen Minibussen zurückgelegt. Übernachtet wurde auf Zeltplätzen. (*Betreuer: Steffen Marx*)

Textilbeton – Star der TV-Serie „Einfach genial“



Im September 2009 kam das Team der mdr-Reihe „Einfach genial“ in den Beyer-Bau. Unter dem Motto „Neue Baumaterialien“ stellte Silvio Weiland die Arbeit des Lehrstuhles zum Sonderforschungsbereich 528 „Textilbeton“ vor.

Die Moderatorin Ulrike Nitzschke begleitete Silvio Weiland und bekam verschiedenste Eindrücke über diesen neuen Baustoff und vor allem auch über die Forschungsarbeit des Instituts. Auch wurde das Otto-Mohr-Laboratorium besucht und dem Fernseheteam gezeigt, wie und wo die Versuche zu Textilbeton geplant und durchgeführt werden.

Lange Nacht der Wissenschaften 2009

Jedes Jahr im Juni findet an der Technischen Universität Dresden die „Lange Nacht der Wissenschaften“ statt – eine gute Gelegenheit für die Universität, der Öffentlichkeit einen Einblick in ihre Arbeit zu geben und mit interessanten Ständen über ihre Projekte zu informieren.

Auch das Institut für Massivbau nutzte die Möglichkeit, sich den Interessierten zu präsentieren. In der erstmals angebotenen Veranstaltung „Offene Universität“ hielten einige Professoren der Fakultät Vorlesungen auf der Wiese hinter dem Beyer-Bau. Prof. Manfred Curbach begeisterte mit seinem anschaulichen Vortrag zum Hochhausbau. Das aus Legosteinen aufgetürmte Bauwerk wuchs und die Augen der Kinder wurden größer und größer.

Die gesamte Veranstaltung stand unter dem Motto „Faszination Bauen“, und genau diese Faszination war in den Gesichtern der Besucher zu sehen, als die vielen von Studenten gebauten Brückenmodelle getestet wurden oder ein Kletterroboter die Wände herauf und herunter lief. Alle Lehrstühle der Fakultät nutzten die Chance sich vorzustellen, und mit den über 1.000 Besuchern wurde es eine schöne und interessante Veranstaltung.

Betreuer: Steffen Marx, Gregor Schacht, Thoralf Schober, Thomas Wagner, Manfred Curbach, Silvio Weiland, Kerstin Schön, Ulrich van Stipriaan



Kinderuniversität

Im Sommersemester 2009 beteiligte sich das Institut für Massivbau an der Kinder-Universität Dresden. Die Kinder-Universität ist ein Projekt der



TU Dresden, des Deutschen Hygiene Museums und der Sächsischen Zeitung und richtet sich an Kinder im Alter zwischen acht und zwölf Jahren. Die Geschwister, Eltern oder Großeltern können die Vorlesungen über eine Videoleinwand in einem zweiten Hörsaal verfolgen.

Prof. Manfred Curbach hielt vor den vielen neugierigen Jungstudenten und -studentinnen einen Vortrag über „Bauen bis in den Himmel“. In seinem Vortrag zeigte er die Entwicklung von den Anfängen des Turmbaus bis hin zu den modernen Wolkenkratzern des 21. Jahrhunderts und erklärte, welchen Beanspruchungen so hohe Bauten hauptsächlich ausgesetzt sind.

OTTO-MOHR- LABORATORIUM



MOHREBAU





OTTO-MOHR- LABORATORIUM

Das Laboratorium des Instituts für Massivbau an der Technischen Universität ist nach dem bedeutenden deutschen Ingenieur und Baustatiker Christian Otto Mohr benannt, der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bedeutende Erkenntnisse auf dem Gebiet der technischen Mechanik und Festigkeitslehre veröffentlichte.

Das Otto-Mohr-Laboratorium verfügt über eine moderne und umfangreiche Ausstattung, die immer auf technischem Stand gehalten und ständig ergänzt wird.

Mit der vorhandenen Ausstattung können fast alle Untersuchungen, die im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus auftreten, abgedeckt werden. Das Leistungsspektrum reicht dabei von Untersuchungen, die im Laboratorium selbst durchgeführt werden, bis hin zu Tragwerksuntersuchungen direkt an bestehenden Bauwerken. Als zu untersuchende Materialien kommen dabei praktisch alle im Bauwesen auftretenden Materialien in Frage. Es ist dabei bei Versuchen innerhalb des Labors nahezu unerheblich, welchen Umfang die geplanten Versuche haben, die Festigkeitsermittlung an Drähten mit wenigen Millimetern Durchmesser ist ebenso möglich wie großformatige Versuche an kompletten Bauteilen. Flexible Versuchsstände und ein breitgefächertes Bestands an stationären Prüfmaschinen machen das möglich. Ein weiteres Spezialgebiet bilden die

in-situ Untersuchungen direkt am Bauwerk. Es ist dabei unerheblich, ob es sich um die experimentelle Ermittlung von Tragsicherheiten von Brücken, Decken oder Unterzügen handelt oder die Feststellung von Baubeständen, wie Bewehrungsanalyse, Ermittlung von Bauteildicken und Abmessungen, oder Bauwerksmonitoring, wie z.B. Rissmonitoring, Temperaturerfassung oder Verformungsmonitoring.

Um diese weiten Arbeitsfelder abzudecken, steht im Otto-Mohr-Laboratorium hoch qualifiziertes, motiviertes und erfahrenes Personal zur Verfügung, dessen Kenntnisse durch die Arbeit in der Versuchsmaterie und durch Schulungen ständig erweitert werden. Unser Personal arbeitet dabei aktiv an der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Versuche mit. Treten dabei Probleme auf, werden diese in Arbeitsgruppen mit verschiedenen Spezialisten und direkt in Verbindung mit dem Auftraggeber gelöst.

Genau so unterschiedlich wie die Versuchsmöglichkeiten sind auch die Auftraggeber des Otto-Mohr-Laboratoriums. Diese reichen von renommierten Forschungseinrichtungen, wie z.B. der Deutschen Forschungsgemeinschaft, über öffentliche Auftraggeber des Bundes, der Länder und Kommunen bis hin zu wissenschaftlichen Aufgaben, die von kleinen mittelständischen Unternehmen erteilt werden.

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 ein Auszug aus unserem Leistungsangebot.

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 unterschiedlichster Geometrie und Beschaffenheit

I.2 Zerstörungsfreie Materialprüfungen

- Ultraschalluntersuchung
- Rückprallwerte
- Bewehrungssuche
- Endoskopie
- Kraft- und Verschiebungsmessungen
- Kriech- und Schwindversuche

I.3 Experimentelle Tragsicherheitsanalyse von bestehenden Bauwerken



Prüffeld des Otto-Mohr-Laboratoriums

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

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

II.1 Betonherstellung

Formen

- Standardformen für Würfel (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 (Beton-Zugfestigkeit)

Mischer

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

Verdichtung

- Flaschenrüttler
- Rütteltisch
- Schocktisch (VEB Bezirksbaumechanik, Typ SBH 2)
- Nadelpfänger
- Porenvolumen-Messgerät

Sonstige Ausstattung

- Diverse Waagen, Laborheizplatten, Vibratoren
- Mörtelausbreittisch und Betonausbreittisch, jeweils mit Metallform
- Grundplatte und Metallform für Slump-Prüfung
- Zwei Klimakammern und diverse Trockenschränke
- Temperatur- und Feuchtigkeitsschreiber
- Betonsäge



Biegeversuch an einem Spannbetonbalken

II.2 Aufspannfelder und Portale

- Aufspannfeld in der Mohr-Halle (Fläche: 21,0 x 6,0 m, Raster: 1,50 m, Lastkapazität bis 1 MN, Prüfung von Einzelelementen 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)
- Geplant: Aufspannfeld im Erweiterungsbau des Technikums (Fläche: ca. 15,0 x 10,5 m, Raster: 1,50 m, Lastkapazität bis 1 MN)

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 Kräften von 10, 50, 100, 200, 250, 400, 650 und 1.000 kN)
- ❑ Pulsatoranlage (Lastwechselfrequenzen 4–12 Hz möglich)
- ❑ 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 5000 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)
- ❑ Fallwerk ($H_{\max} = 7,10$ m)
- ❑ Derzeit im Bau: vertikale 10-MN-Pressen (Prüfkörper bis $B \times L \times H = 2,0 \times 15,0 \times 3,0$ m möglich)

Sonstige Ausstattung

- ❑ Vorrichtungen für 3- und 4-Punkt-Biegeversuche für Normprüfungen
- ❑ Modellstatik-Prüfstände zur Untersuchung von Stabwerks- und Flächenmodellen
- ❑ Pendelschlagwerk PSd 300/150
- ❑ Kriechstände
- ❑ 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
- ❑ Endoskopie-Vorrichtung
- ❑ Rückprallhammer
- ❑ Ausrüstung zur Entnahme von Bohrkernen



Montage der 10-MN-Säulenprüfmaschine

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
- Transientenrekorder

Sensorik

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

Vermessung

- Nivelliergerät
- Theodolit
- Verschiedene Entfernungsmessgeräte

Sonstiges

- Neigungsmessgerät (Winkelbestimmung bis +/- 30°)
- Inclinomater LSOC-0120 (Winkelbestimmung bis +/-3°)
- Verschiedenste mechanische Längenmessgeräte (u. a. Messuhren, Setzdehnmessmesser (Bauart Pfender, Messschraube bzw. Mikrometerschraube)
- Hand-held Shaker
- Magnet-Messstativ
- Martens'sches Spiegelmessgerät
- Federzugkraftmesser
- Kraftmessbügel verschiedener Kräftemessbereiche und Bauart
- Drahtauslenkungsmesser



Zulassungsversuch an einem Prototyp einer Brücke aus Textilbeton

II.6 Metallwerkstatt

- Umfangreiche, gut sortierte Auswahl an Standard-Werkzeugen
- Drehmomentenschlüssel

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
- Gabelstapler (Tragkraft 3 t)
- Schweißerausrüstung
- Mobile Druckölaggregate
- Aggregat zum Sandstrahlen
- Schwerlastwagen



Triaxialzelle



Zehn Elefanten auf Tour: (Bild-)Geschichte eines Umzugs

Maschinen haben keine Namen – und wenn, dann meist eher ganz merkwürdige. Sprachler würden dann auch nicht *Name* dazu sagen, sondern es eher *Bezeichnung* nennen. Weil aber „walter+bai 20-MN-Belastungsrahmen“ nicht so gut klingt wie beispielsweise „Jumbo“, wollen wir den 60-Tonner fortan *Jumbo* nennen. Das passt auch ganz gut, weil sich ja kein normaler Mensch vorstellen kann, wie schwer 60 Tonnen wirklich sind – und da bietet sich doch der Vergleich mit Elefanten an, die gut und gerne 6 Tonnen auf die Waage bringen, wenn man eine passende Waage zur Hand hat. Zehn Elefanten auf Tour – darum geht es jetzt. (Wer mangels Erfahrung mit dem Elefantenvergleich nicht klar kommt, kann gerne weiter herunter rechnen: 60 Tonnen entsprechen 60.000 Kilo-Paketen Zucker. Oder 20.000 Kilo-Paketen Zucker plus 20.000 Kilo-Paketen Mehl plus 80.000 Päckchen handelsüblicher Butter, aus denen man reichlich 40.000 Kuchen nach dem Rezept „Pfund auf Pfund“ backen könnte – aber ich schweife ab.)

Zurück zu Jumbo! Der 20-MN-Belastungsrahmen ist eine Prüfmaschine, die im Otto-Mohr-Laboratorium (was hier alle kurz OML nennen) steht. Mit diesem Rahmen kann man Stahlkabel und Spannglieder prüfen, aber auch Platten, Balken oder Stützen mit einer Länge von bis zu 7 Metern. So weit, so gut. Das Problem war nur, dass Jumbo auf einem Platz stand, den man für andere Dinge benötigte. Und nun bewege mal einer in einer geschlossenen vollgestellten Halle einen Jumbo oder zehn afrikanische Elefanten oder 40.000 „Pfund-auf-Pfund“-Kuchen!

Dr.-Ing. Torsten Hampel, Leiter des OML, hatte zur Lösung des Problems eine Antwort parat: „Die erste Variante hätte eine Demontage des Rahmens bedeutet. Aber die Umsetzung und die erneute Montage des Rahmens am neuen Standort hätten einen Zeitraum von etwa sechs Wochen in Anspruch genommen!“ Das war dann doch ein bisschen viel, also dachte man nach, beseß sich auf vorhandene Kenntnisse und bereits



praktizierte Kooperationen und entwickelte im Team diese Idee: „Wir heben den Spanngliederahmen an, setzen ihn auf Schwerlastwagen und fahren ihn dann durch das OML!“ Klingt leicht, ist es aber nicht. Zwar war das Ausheben durch die im OML vorhandene Prüftechnik möglich, und sowohl Schwerlastwagen als auch das Verschieben des Rahmens sind für den Kooperationspartner, die Firma Ratschaisenträger, nichts Neues. Aber wie immer steckt der Teufel im Detail: Die Schwierigkeit bestand darin, dass nicht alle Bereiche des OML-Fußbodens ausreichend tragfähig für den 60-t-Rahmen waren: Kanäle für allerlei Technik führen durch die Halle und sind mit Blechen abgedeckt, die gut und gerne eine Horde Studenten aushält, aber keinen Jumbo. An einer Stelle auf dem Weg zum neuen Standort für den 20-MN-Belastungsrahmen ist die Abdeckung des Kellerzugangs nicht ausreichend tragfähig.

Was tun? Eine ganz spezielle Transport-Technik entwickeln! Mit einer vorab ausgetüftelten und

in der aktuellen Situation verfeinerten Hebe- und Schiebetechnologie konnten die entsprechenden Bereiche überwunden werden. Der Techniker sagt: „Dafür wurden mehrere Pressenpunkte am Rahmen vorgesehen. Wir haben in mehreren Phasen den Rahmen hochgehoben und die Schwerlastwagen umgesetzt!“ Wobei die Schwerlastwagen eher aussahen wie so kleine niedliche Möbelverschiebehilfen. Aber die Kleinen haben es in sich und können eine Menge Druck vertragen! Imposant, imposant – und auf die Gefahr der Wiederholung: Klingt alles leicht, ist es aber nicht. Wie angespannt die Leute zugange waren, merkte man am Geräuschpegel: Nichts, aber auch gar nichts außer dem leichten Surren der Zugmaschine war zu hören. Volle Konzentration, wenn es drauf ankam. Und dann, als es geschafft war, ein beherztes und lautes: Färdsch!

*Ulrich van Stipriaan
für den BauBlog der Dresdner Bauingenieure:
<http://baublog.tu-dresden.de>*

Probelastung von Stahlbetondecken

Das Löbtauer Volksbad war als Wannen- und Reinigungsbad von 1902 an 92 Jahre lang als „öffentliche Brauseanstalt“ in Betrieb. Als letztes seiner Art in Dresden wurde das Bad 1994 geschlossen. Seit 2003 steht das Gebäude unter Denkmalschutz und wird seit dem Sommer 2009 zu Dresdens erster Theater-Kindertagesstätte umgebaut. Nur in den seltensten Fällen sind bei solch alten Bauwerken noch Bewehrungspläne erhalten. Dies und Unsicherheiten bzgl. der Baustoffeigenschaften machen einen alleinigen rechnerischen Tragfähigkeitsnachweis oft unmöglich. Mit Probelastungen kann hingegen häufig die Tragfähigkeit unter den heute vorgeschriebenen Lasten nachgewiesen werden.



Widerlagerkonstruktion im Kellergeschoss
Abutment construction in the basement

Versuchs auch die Rissbildung dokumentiert, um Aussagen über die Gebrauchstauglichkeit treffen zu können.

Vorgehensweise

Zuerst wurden Abbruchkriterien hinsichtlich der maximal erzielten Rissweite und der Weite von verbleibenden Rissen, des Anwachsens von nichtlinearen Verformungen oder der Größe irreversibler Verformungen festgelegt.

Traglastversuche wurden im Erdgeschoss und im Obergeschoss bis zu einer vorgeschriebenen Grenzlaster durchgeführt. In beiden Geschossen wurden vier nebeneinander liegende Deckenfelder einzeln oder gemeinsam belastet. Mit zwei hydraulischen Pressen je Feld wurden die Kräfte über Zugstangen in ein Trägerrost im Kellergeschoss eingetragen, welches an Außenmauern und Stahlbetonstützen verankert worden war. Die Kräfte aus den Zugstangen wurden über Traversen in jeweils vier Einzellasten pro Feld aufgeteilt, die hinreichend genau eine äquivalente Flächenlast simulierten.

Während der Versuche wurden die Kräfte mit Kraftmessdosen überprüft. Außer den Lasten wurden die Durchbiegungen von Deckenplatten und Unterzügen jeweils in Bauteilmitte an der Oberseite gemessen. Zudem wurde während des

Ergebnisse

Bei keinem Versuch wurden die Abbruchkriterien erreicht, die u. U. ein vorzeitiges Versuchsende bedeutet hätten. Weiterhin wurden bei keinem Bauteil erkennbare Schädigungen nach den Versuchen festgestellt. Nur an einer Stelle bildete sich ein Riss kurz vor Erreichen der Höchstlast, der sich aber nach Entlastung wieder vollständig schloss. Die Tragfähigkeit der untersuchten Deckenfelder ist also ausreichend für die geplante Belastung nach der Umnutzung.

Titel | Title

Probelastung von Stahlbetondecken

Auftraggeber | Client

Landeshauptstadt Dresden, Hochbauamt

Zeitraum | Period

05.2009

Leiter | Project Manager

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

Partner

Jäger Ingenieure GmbH

Durchführung | Realisation

Ludwig Beier, Jens Hohensee, Tino Jänke, Maik Patricny, Dipl.-Ing. Thomas Popp, Andreas Thieme, Bernd Wehner, Hans-Peter Werneke

Static Load Test of RC Slabs

The "Löbtauer Volksbad", which was opened in 1902, remained in operation as a public institution with showers and bathtubs for 92 years. This bath, the last of its kind in Dresden, was closed in 1994. The building has been listed as a heritage site since 2003 and was converted into the first theatre-kindergarden in Dresden in Summer 2009.

Original drawings that show reinforcement used in such old structures are rarely available. This situation, together with the uncertainties of the structure's material properties, make the sole reliance on mathematical modelling in determining the load capacity often impossible. Load-bearing capacity can often, however, be demonstrated by means of in situ load tests conducted under currently prescribed loading scenarios.

Load Test Performance

First, parameters were established relative to the following: maximum crack widths during the load test, maximum widths of remaining cracks after load removal, non-linear deformation propagation and the size of irreversible deformations so as to determine early experimental termination. Load capacity tests on both the ground floor and first floor were then conducted up to a prescribed load limit. Four adjoined ceiling panels were individu-

ally or jointly loaded on both floors. Two hydraulic jacks were used at each ceiling panel to apply the loads, which were transferred into tie rods to the ground floor and then into a support grid anchored to exterior walls and reinforced concrete columns in the basement. Forces from the tie rods were distributed to four point loads per panel using transversals to simulate a distributed load.

During testing forces were measured by load cells, slab and beam deflections were measured mid-span on the top face of each building element. Crack propagation was documented in order to rate the future serviceability of the building.

Results

All experiments were carried out as planned since the pre-defined termination criteria were never reached. No noticeable post-experimental damage was detected in any of the slabs or beams tested. One new crack did form, however, shortly before reaching the maximum load, but this crack closed completely once the load was removed.

The load-bearing capacity of the ceiling panels tested is, therefore, sufficient for planned post-renovation activities and a change in use of the structure.



Zugstangen im Erdgeschoss
Tie rods in the ground floor

Belastungstest eines Geländers

Eine Balustrade im Festspielhaus Hellerau soll für öffentliche Veranstaltungen genutzt werden. Die vorhandene Absturzsicherung konnte aber nicht für die in DIN 1055-3 vorgeschriebene Belastung statisch nachgewiesen werden. Durch eine Probebelastung sollte der Tragfähigkeitsnachweis für die Konstruktion erbracht werden.

Versuchsaufbau

Anstelle einer konstanten Linienlast, wie sie in der Norm vorgeschrieben ist, wurden mehrere äquivalente Einzellasten in das Geländer eingeleitet. Es wurden drei benachbarte Felder belastet, wodurch die Durchlaufwirkung der Geländerkonstruktion berücksichtigt werden konnte. Anhand einer Überschlagsrechnung wurden sowohl die Messmittel dimensioniert als auch das Belastungsregime festgelegt.

Die Last wurde mittels synchronisierter hydraulischer Pressen in den drei Belastungspunkten eingeleitet. Die Lasthöhe wurde mit Kraftmessdosen kontrolliert. Parallel dazu wurden die Verformungen an drei Geländerpfosten jeweils am Fußpunkt und gegenüber dem Lasteinleitungspunkt überwacht. Da die mechanischen Eigenschaften von Geländer und Geländerbefestigung nicht bekannt waren, wurde als Abbruchkriterium für den Belastungsversuch der Punkt des Übergangs von einer elastischen zu einer plastischen Verformung an einem beliebigen Pfosten definiert. Durch die Echtzeit-Darstellung der entsprechenden Größen am Messcomputer

Titel | Title

Belastungstest eines Geländers zur Freigabe eines Gebäudeteils für öffentliche Veranstaltungen

Auftraggeber | Client

Festspielhaus Hellerau, Liegenschaftsamt Dresden

Zeitraum | Period

08.2009

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Torsten Hampel

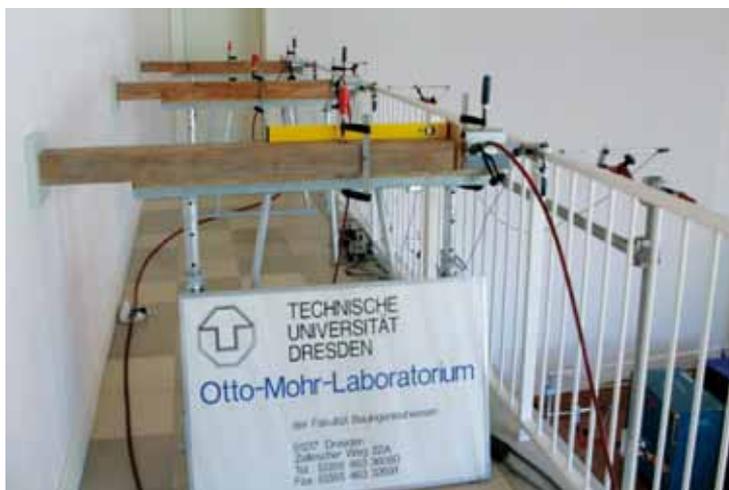
Durchführung | Realisation

Ludwig Beier, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Tilo Jänke, Dr.-Ing. Silke Scheerer, Heiko Wachtel, Hans-Peter Werneke

konnte der Zeitpunkt der Änderung des Materialverhaltens während des Versuches ausreichend genau bestimmt werden.

Ergebnisse

Bei einer Belastung von ca. $3 \times 1,6$ kN zeigten sich erste Anzeichen für nichtlineare plastische Verformungen, woraufhin der Versuch abgebrochen wurde. Die Auslenkung lag zu diesem Zeitpunkt etwas über dem prognostizierten Wert. Allerdings hatte das Geländer selbst während und nach dem Versuch keine Anzeichen für plastische Verformungen gezeigt. Eine nähere Untersuchung der Fußpunkte der Pfosten ergab, dass sich an den in den Fußboden eingelassenen Hülsen geringe Plastizierungen eingestellt hatten. Dadurch war der Einspanngrad der Pfosten deutlich gesunken, was ein überproportionales Ansteigen der Verformungen in Höhe des Handlaufs zur Folge hatte. Daraufhin wurden verschiedene Möglichkeiten der Ertüchtigung für die Geländerkonstruktion aufgezeigt, die nun in das Umbaukonzept einfließen.



Versuchsaufbau während des Belastungsversuchs
Experimental set-up during the load test

Static Load Test of a Balustrade

An elevated area surrounded by a balustrade at the Festspielhaus Hellerau in Dresden is to be used for public events. The current level of protection provided against falls by the existing balustrade does not meet the static load requirements specified in the German code, DIN 1055-3. Evidence that the balustrade meets the required load-bearing capacity will be provided from the results of a static in situ load test.

Test Set-up

According to national standards, a balustrade must be able to resist a specific constant line load. In this experiment, the railing was charged with a number of equivalent point loads since a uniformly distributed line load is difficult to simulate. Three contiguous fields were loaded in such a manner so that the continuous effect of the entire balustrade construction could be taken into consideration. The measuring equipment was dimensioned and the stress regime was established based on a rough calculation.

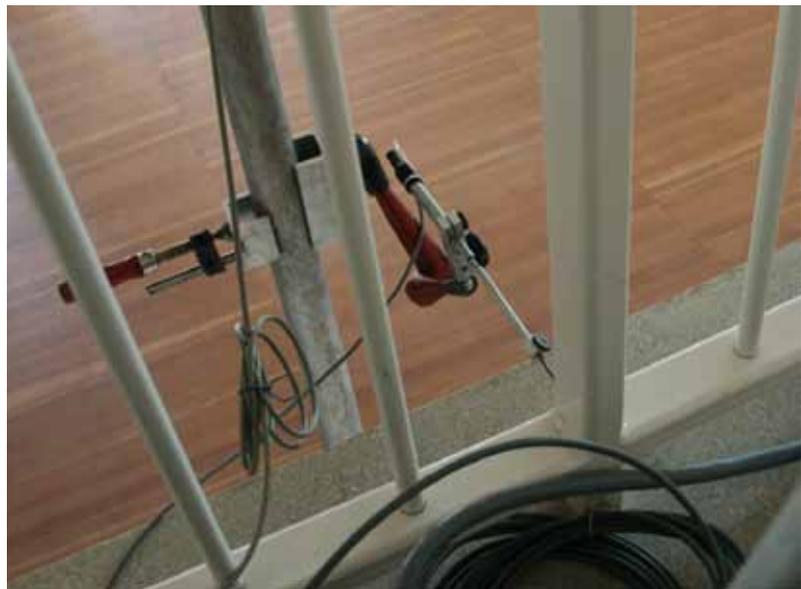
The load was set using synchronised hydraulic jacks located at three load points, and the load level was monitored by load cells. At the same time, deformations of the three loaded balusters were each monitored at two specific locations:

at the base and at the point of load application. Since the mechanical properties of railings and balustrade fixings were unknown, the point of transition from elastic to plastic deformation of any of the posts was defined as criterion for terminating the stress test. The real-time computer display of precisely obtained experimental variable measurements made it possible to identify the change from elastic to plastic material behavior.

Results

Initial signs of plastic deformation appeared at a load of approximately 3×1.6 kN; and the experiment was then stopped. At this point, the deflection of the balustrade was slightly higher than the predicted value. The railing, however, did not show any signs of plastic deformation either during or after the experiment. Closer examination of the bases revealed the plasticization of the small anchors embedded in the floor. The degree of restraint of the posts had fallen significantly, and the deformation of the handrail increased disproportionately.

Based on this finding, several possibilities to strengthen the balustrade were identified that are now included in the structure's renovation concept.



Messstelle am
Fußpunkt eines Pfostens
Measuring point
at the base of a banister

Tragfähigkeit von Natursteinplatten

Die nominelle Tragfähigkeit einer 1,00 x 1,00 m großen und 3 cm dicken Granitplatte sollte ermittelt werden, um ein Versagen unter der realen Beanspruchungskombination am Einbauort ausschließen zu können.

Vorgehensweise

Entsprechend der Einbausituation im Bauwerk wurde die Platte beim Versuch punktförmig an den Ecken gelagert. Da diese Platten im realen Bauwerk einer dauerhaften, wechselnden Beanspruchung ausgesetzt sind, sollte der Prüfkörper insgesamt viermal mit einer zentrischen Einzellast von 4.000 N (ca. 400 kg) beaufschlagt werden. Mit diesen ersten vier Zyklen wurde eine wiederholte Belastung simuliert. Mit dem fünften Lastzyklus sollte die Tragfähigkeit bis 10.000 N (ca. 1000 kg) nachgewiesen werden.

Alle Messgrößen wurden während des Versuchs kontinuierlich protokolliert. Die eingetragene Last wurde durch die maschineninterne Kraftmess-

dose erfasst. Die Mittenerformung wurde über den im Zylinder eingebauten Wegaufnehmer gemessen. Zusätzlich wurden die Verformungen an zwei gegenüberliegenden Plattenrändern mit externen induktiven Wegaufnehmern (IWA) gemessen.

Ergebnisse

Weder bei wiederholter noch bei der vorgesehenen Maximallast wurde der Bruch der Platte herbeigeführt. Nach dem Versuch wurden die Oberflächen der Ober- und Unterseite der Platte auf Risse untersucht. Es wurden keine Schäden festgestellt. Außerdem wurde auch bewiesen, dass die Unterkonstruktion die simulierte Belastung ebenfalls ohne Schäden ertragen hat.



Granitplatte während des Tests
Granite slab during the load test

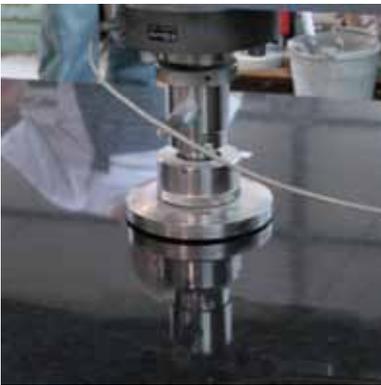
Load-Bearing Capacity of a Granite Slab

The nominal capacity of a 1.00 x 1.00 m x 3 cm (thick) granite slab needed to be determined in order to exclude failure under the actual load combination at the time of installation and current use.

Test Set-up and Procedure

In the actual structure, such granite slabs are exposed to permanent and changing loads. Therefore, it was necessary to apply a central point load of 4.000 N (400 kg) to the specimen four times in succession. Permanent changing stress was simulated by these first four load cycles. In a fifth cycle, the load-carrying capacity was demonstrated to be 10.000 N (1.000 kg). During all load cycles, the slab was punctually supported in accordance with the building situation.

Measurements were taken and recorded continuously during the experiment. The load applied was recorded by the machine's load cell. The deflection at the load point was measured using



Lasteintragungspunkt (oben)
und externer induktiver
Wegaufnehmer (unten)
Point of load application (top)
and external inductive
displacement transducer (bottom)

Titel | Title

Tragfähigkeit von Natursteinplatten

Auftraggeber | Client

KEK GmbH Laußnitz

Zeitraum | Period

09.2009

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Durchführung | Realisation

Christian Dittrich, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Tilo Jänke

a transducer that was installed inside the cylinder. In addition, deflections were measured on two opposite edges of the slab with external linear variable displacement transducers (LVDT).

Results

The figure shows measured load and deflection during the final load cycle. The slab was neither destroyed by repetitive loading nor by maximum load application. Surfaces of the upper and lower sides of the slab were examined after termination of the experiment. There were no cracks or any other visible damage noted. Tests results indicate that the substructure has the ability to bear a load of 10.000 N without damage.

Spannungsrissskorrosion bei Brücken

Seit der Einführung der Spannbetonbauweise gab es immer wieder Bauschäden durch Spannungsrissskorrosion (SpRK). Speziell bei Brücken handelt es sich um die wasserstoffinduzierte SpRK. Sie kann nur bei bestimmten, anfälligen Spannstählen und bei gleichzeitigem Vorhandensein eines Elektrolyten und einer Zugspannung auftreten. Besonders kritisch ist diese Art der Korrosion, da ein Versagen schlagartig und ohne Vorankündigung durch Risse eintreten könnte. Diese anfälligen Stähle werden schon seit vielen Jahren nicht mehr produziert, sie sind aber noch in vielen Bestandsbauwerken anzutreffen. Im Projekt sollten das Gefährdungspotenzial allgemein festgestellt und Maßnahmen zum Umgang mit kritischen Bauwerken erarbeitet werden.

Vorgehensweise

Zunächst wurde der Brückenbestand des Landes Mecklenburg-Vorpommern, der bei diesem Projekt untersucht werden sollte, in Kategorien bzw. Bauwerksgruppen eingeteilt. Dazu wurde für jede Brücke eine SpRK-Note ermittelt, die abhängig vom Herstellungsverfahren, von bestehenden Umlagerungsmöglichkeiten und vom Bauwerkszustand allgemein war. Aufgrund dieser Beurteilung wurden 16 charakteristische Brücken genauer rechnerisch untersucht.

Das Prinzip der analytischen Untersuchung besteht darin, dass in einem Bauteil virtuell sukzessive die vorhandenen Spannstähle ausfallen, bis unter einer vorgeschriebenen Lastkombination am maßgebenden Querschnittsrand die Beton-

zugfestigkeit erreicht wird. Anschließend wird überprüft, ob mit der (virtuell) noch intakten Bewehrung der Bruchsicherheitsnachweis erbracht werden kann. Das Ziel der statischen Berechnungen ist also nachzuweisen, ob sich im Falle von Spannstahlbrüchen ein Versagen durch sichtbare Risse im Tragwerk ankündigen könnte (Riss-vor-Bruch-Kriterium). Durch die statische Analyse wird also nicht das Gefährdungspotenzial durch Spannungsrissskorrosion beseitigt, man kann aber beurteilen, ob durch verdichtete Bauwerkskontrollen eine Tragwerksschädigung rechtzeitig erkannt werden kann bzw. entsprechende Ertüchtigungsmaßnahmen ergreifen. Die Erkenntnisse aus der Untersuchung dieser speziellen Brücken wurden anschließend auf den gesamten Bauwerksbestand übertragen und eine Prioritätenliste erstellt. Außerdem fanden Beprobungen erster ausgewählter Bauwerke statt. In Materialuntersuchungen wurden Beton, Hüllrohre, Verpressmörtel und Spannstahl näher untersucht. Derzeit werden weiterführende theoretische Untersuchungen für spezielle Bauwerke durchgeführt.

Bisherige Ergebnisse

Insgesamt hat sich die Einteilung der Brücken anhand einer Spannungsrissskorrosionsnote bewährt, denn sie spiegelte das tatsächliche Risiko gut wider. Die Bauwerke mit geringem Risiko werden nun verdichtet inspiziert. Bei den stark gefährdeten wurden kurzfristige Materialuntersuchungen durchgeführt, um den Zustand der Bauwerke abzuklären, bevor mit der Ertüchtigung oder auch mit Abbruch und Neubau begonnen wurde.



Punktuelle Rostspuren am Verpressmörtel an der Außenseite
Selective rust on the outside of the grouting mortar
Foto/picture: Saxotest

Stress Corrosion Cracking in Bridges

Since the invention of pre-stressed concrete construction, there has been structural damage from stress corrosion cracking (SCC) from time to time. Hydrogen-SCC is one form of stress corrosion cracking that is typical for pre-stressed components. This only occurs in certain susceptible tendons where there is the simultaneous presence of an electrolyte and tensile stress. This type of corrosion is especially critical, since failure from cracking can occur suddenly and without warning due to crack formation. Steels susceptible to this behaviour are no longer produced and have not been produced for many years; however, they are still found in many existing structures. The potential risks have generally been identified in this project along with the development of relative guidelines for dealing with critical structures of this kind.

Approach

Initially, all bridges were subdivided into specific classes or groups of structures based on the SCC-grade criterion. This grade, determined for each bridge, is dependent on the production process and the present condition of the structure. The existence or lack of stress redistribution ability was also taken into consideration during this process. Based on this evaluation, 16 characteristic bridges were analyzed in detail.

The underlying principle of this analytical study is that prestressing steels virtually fail one by one

Titel | Title

Spannungsrissskorrosion bei Brücken. Untersuchung des Brückenbestandes in Mecklenburg-Vorpommern

Auftraggeber | Client

Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern

Zeitraum | Period

seit 2005

Partner

Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern, Curbach Bösche Ingenieurpartner, Saxotest GmbH Dresden, Baustoffprüflabor Neustrelitz

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Durchführung | Realisation

Dr.-Ing. Thomas Bösche (cbing), Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dr.-Ing. Silke Scheerer (beide TU Dresden)



Rissdetektion mittels Fluoreszenzanalyse

Crack detection by fluorescence analysis

Foto/picture: Saxotest

until a specific point in time when the concrete tensile strength is reached under a required load combination at one edge of the beam or component. The (virtual) intact reinforcement is then double checked to determine if it is sufficient for support of the ultimate limit state (of bending). The goal of these static calculations is to verify whether the potential danger of failure of pre-stressed steel reinforcement is indicated by visible cracking (crack-before-failure criterion). A successful static analysis, in this case, does not translate into the actual elimination of a potential SCC danger, but rather, the ability to assess whether or not structural damage can be detected early enough through frequent inspection or to take appropriate strengthening measures to prevent failure.

Findings from the investigation of 16 specific bridges were then applied to the entire bridge stock which were then prioritized according to the need of rehabilitation measures. Sampling took place at selected structures. Currently, additional theoretical investigations of specific static and structural issues for particular bridges are underway.

Previous Results

Generally, bridge classification based on SCC-grade was successful as this grade accurately reflects the realistic level of risk present. In those cases where bridges were identified at high-risk for failure, material investigations were conducted in the short-term to clarify the condition of the structure before strengthening or demolition and replacement were begun. Structures with low risk are inspected more frequently.

Ein- und zwei-axiale Festigkeit von Hochleistungsbeton

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens an der Leibniz Universität Hannover wurde die Beschreibung des Materialverhaltens von Hochleistungsbeton unter zwei-axialer Druckbeanspruchung benötigt.

Versuchsaufbau

Die Versuche wurden in einer Mehraxialprüfmaschine durchgeführt. Diese besteht aus einem einteiligen Rahmen, der alle drei Belastungsachsen umschließt. Je Belastungsachse ist ein Prüfzylinder vorhanden. Die Lasteinleitung erfolgte mit Belastungsbürsten aus 20 x 20 Einzelborsten mit einem Abstand von 0,2 mm und einer freien Länge von 70 mm. Die Kraftmessung erfolgte über Kraftmessdosen in der jeweiligen Belastungsachse. Die Dehnungsmessung erfolgte über Dehnmessstreifen auf den freien Oberflächen und über einen Messbügel in der freien Rich-

tung 3. Die Versuche wurden mit einer kombinierten Weg-Kraft-Steuerung durchgeführt. Die Hauptbelastung wurde weggesteuert gesteigert. In Abhängigkeit von der dafür erforderlichen Kraft wurde bei den zwei-axialen Versuchen die Belastung 2 kraftgesteuert nachgeregelt. Da diese Nachregelung in weniger als einer Sekunde abgeschlossen war, wurde der Probekörper mit proportionaler Laststeigerung ($Kraft\ 1 = Kraft\ 2$) bis zum Bruch belastet. Die Versuche wurden im Alter von 28 Tagen durchgeführt.

Ergebnisse

Die Probekörper versagten sowohl unter ein-axialer als auch unter zwei-axialer Beanspruchung ohne Vorankündigung und sehr spröde. Erst unmittelbar vor dem Bruch (bei ca. 95 % der Bruchlast) kam es zu lokalen Abplatzungen an den lastfreien Oberflächen. Die einaxial beanspruchten

Probekörper zerfielen beim Bruch in säulen- und scheibenartige Bruchstücke parallel zur Kraft-richtung. Die zwei-axial beanspruchten Probekörper wurden in Scheiben gespalten, parallel zur Ebene der beiden Kräfte. Die Bruchflächen verlaufen näherungsweise parallel zur Last-richtung, was auf die in Querrichtung nahezu zwangungsfreie Lasteinleitung durch die Belastungsbürsten zurückzuführen ist. Die zwei-axiale Festigkeit lag 6% über der ein-axialen Festigkeit und damit in dem für Hochleistungsbeton üblichen Bereich.



Triaxial-Prüfmaschine im Otto-Mohr-Laboratorium
Tri axial testing machine at the Otto-Mohr-Laboratorium

Uniaxial and Biaxial Failure Behaviour of HPC

Researchers at the Leibniz Universität Hannover required data to describe the mechanical behaviour of high performance concrete under biaxial compressive stresses.

Test Set-up

A servo-controlled, one-piece triaxial machine, consisting of one hydraulic jack in each of three directions, was used for all tests. This testing machine allows for the application of compressive and tensile loads of up to 5,000 kN and 500 kN, respectively. Each axis can be independently controlled. Loads were observed by load cells located in each axis. Steel brushes were used to eliminate restraints at the load surface. The steel brushes consist of 20×20 single brush rods with a gap of 0.2 mm between rods. Each rod has a 5×5 mm cross-section and a free length of 70 mm.

Deformation was measured by strain gauges located on the unloaded specimen surface, as well as by displacement transducers located on the steel brushes.

Loading in the primary axis was controlled by the LVDT of the testing machine, while loads in the remaining secondary direction was controlled by force measurement to insure a proportional stress ratio in both directions. Concrete specimens were 28 days old at the time of multiaxial testing.

Titel | Title

Ein- und zweiaxiale Festigkeit von Hochleistungsbeton

Auftraggeber | Client

Institut für Massivbau, Leibniz Universität Hannover

Zeitraum | Period

10.2009 – 12.2009

Partner

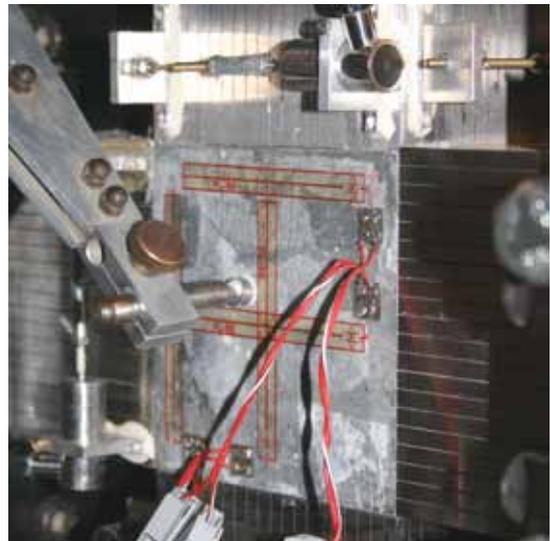
Institut für Massivbau, Leibniz Universität Hannover

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Kerstin Speck

Durchführung | Realisation

Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Kathrin Dietz, Rainer Belger, Jens Hohensee



Versuchsaufbau bei einem zweiaxialen Druckversuch

Bi-axial test set-up

Results

Failure was very brittle, without any premature indication of rupture, during uniaxial and biaxial testing. Deformations increased nearly linearly up to 95 % of the ultimate load at which point spalling of small pieces of concrete from the unloaded specimen surface began to occur. The specimen failed suddenly once the maximum load was reached.

Typical crack patterns of the samples are shown in the picture. During uniaxial testing the sample specimens broke into several columnar or discoidal pieces. The fracture surfaces were orientated nearly parallel to the primary load direction. The biaxial loaded specimens also broke into slice-like pieces. The biaxial strength was about 6 % higher than the uniaxial strength.

Langzeitmessung im Dresdner Zwinger

In der Langgalerie „O“ des Dresdner Zwingers wurden im Frühjahr Veränderungen an bestehenden Rissen festgestellt. Das Otto-Mohr-Laboratorium wurde daraufhin beauftragt, in einem Zeitraum von sechs Monaten ausgewählte Risse an Stützenfüßen und Stützenköpfen und die Veränderungen der Temperaturen an mehreren Messpunkten zu überwachen, um feststellen zu können, ob ein Zusammenhang zwischen beiden Größen besteht. Außerdem sollte die vorhandene Spannung in den horizontalen Zugstangen nachgewiesen werden.

Vorgehensweise

Die Rissweiten werden an fünf ausgewählten Rissen mit induktiven Wegaufnehmern (IWA) überwacht. Der erforderliche Messbereich wurde anhand der vorgefundenen Rissweite ausgewählt. Zur Befestigung der Messböckchen musste die vorhandene Farbschicht auf den Säulen punktuell vorsichtig entfernt werden. Der verwendete Klebstoff besitzt eine hohe Haftzugfestigkeit und sehr geringe Scherfestigkeit und kann steinverträglich und rückstandslos entfernt werden. Seit Messbeginn wird alle sechs Minuten ein Datensatz abgefragt und gespeichert.

Parallel zur Rissüberwachung werden die Innen- und Außentemperatur sowie die Bauteiltemperatur im Scheitelbereich der oberhalb des Gewölbes liegenden Stahlbetonplatte und im Gewölbekämpfer gemessen. Die Temperaturentnehmer zur Erfassung der Bauteiltemperatur wurden über Stirnkontakt in Bohrungen direkt im Innern der Bauteile befestigt. Die Öffnungen wurden mit einem isolierenden Material verschlossen.

Exemplarisch für alle horizontalen Gewölbeanker in der Langgalerie werden die temperaturabhängigen Verformungen eines Ankers ebenfalls sechs Monaten lang aufgenommen. Aus diesen Werten können Rückschlüsse auf Spannungsänderungen im Anker gezogen werden. Die Ankerspannung zu Beginn der Messung wurde an ausgewählten sechs Ankern mit Schwingungsaufnehmern über die Ermittlung der Eigenfrequenzen bestimmt.



Frequenzanalyse an einem vorgespannten Anker
Frequency Analysis of a Pre-stressed Anchor

Ergebnisse

Die Messdaten der Langzeitüberwachung werden je Kalenderwoche aufbereitet. Die endgültige Auswertung liegt zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor. Die Ermittlung der Ankerkräfte hat sehr unterschiedliche Resultate ergeben. Einer der sechs Anker besaß keine Vorspannung mehr. Drei der getesteten Bauteile wiesen hingegen eine Vorspannkraft von ca. 55 kN auf. Diese Ergebnisse fließen nun in die statische Berechnung ein.

Long-term Measurement in the Dresdner Zwinger

Changes were observed in existing cracks in the Eastern Gallery of the Dresden Zwinger in Spring 2009. The Otto-Mohr-Laboratory was, therefore, appointed to monitor selected cracks at the base and head of selected columns for a period of several months. Temperature changes were also monitored at several points in order to determine whether or not there is a link between these two variables. In addition, actual tensile stresses in horizontal tie rods also needed to be determined.

Measurement Procedure

Cracks were monitored at five selected points using linear variable displacement transducers (LVDT). The required measurement range was selected based on the initial crack width. Existing paint on the columns had to be carefully and selectively removed in order to properly affix transducers. The adhesive used has a high adhesive strength and very low shear resistance allowing for easy removal without leaving a residue on the stone. Data were retrieved and saved every six minutes after initial measurement.

Simultaneous with crack width monitoring, temperatures were measured inside and outside the gallery, as well as at the member temperature of the reinforced concrete slab close to the peak of the arch and in the arch abutment. Sensors for the latter two measurements were inserted directly into holes drilled into the components specifically for this purpose. The openings were then sealed with an insulating material.

The temperature-dependent deformation of one representative anchor was also recorded. From these values, conclusions can be drawn about the tensile force changes within the tie rods. The tensile force at the beginning of the measurement was determined at six selected ties with vibration sensor to determine the eigenfrequency.

Titel | Title

Langzeitmessung im Dresdner Zwinger

Auftraggeber | Client

Freistaat Sachsen, vertreten durch Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Dresden

Zeitraum | Period

06.2009 – 01.2010

Partner

Professur für Stahlbau am Institut für Stahl- und Holzbau, Fakultät Bauingenieurwesen, TU Dresden

Leiter | Project Manager

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Durchführung | Realisation

Christian Ditttrich, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dr.-Ing. Silke Scheerer, Dr.-Ing. Thoralf Schober, Thomas Wagner

Results

The measured data of the long-term monitoring were collected each week. Since the monitoring is not yet complete, final results are unavailable at present.

The determination of the anchor forces has revealed very different results. One of the six ties had no tension force. Three of the tie rods tested, however, had a permanent force of about 55 kN. These results are now included in static analysis.



Temperaturmessstelle für den Kämpfer
Temperature Measurement at the Arch Abutment





INSTITUT

Das Institut für Massivbau in Zahlen und Fakten

1 Organisationsstruktur

Im Jahre 2009 wurde am Lehrstuhl für Massivbau eine umfassende Analyse der Organisationsstruktur sowie aller Kommunikations-, Arbeits- und Entscheidungs-Prozesse durchgeführt. Es ging darum, der gewachsenen Größe des Instituts, dem stetig wachsenden Umfang an Forschungs-, Kooperations- und Industrie-Projekten sowie den daraus resultierenden Anforderungen an das Instituts-, Projekt-, Ressourcen- und Wissensmanagement Rechnung zu tragen. Im Ergebnis der Analyse, welche zu großen Teilen auf Hinweisen aus einer Vielzahl von Mitarbeitergesprächen beruht, entstand ein Aktionsplan mit konkreten Vorhaben, an deren Umsetzung seitdem kontinuierlich gearbeitet wird.

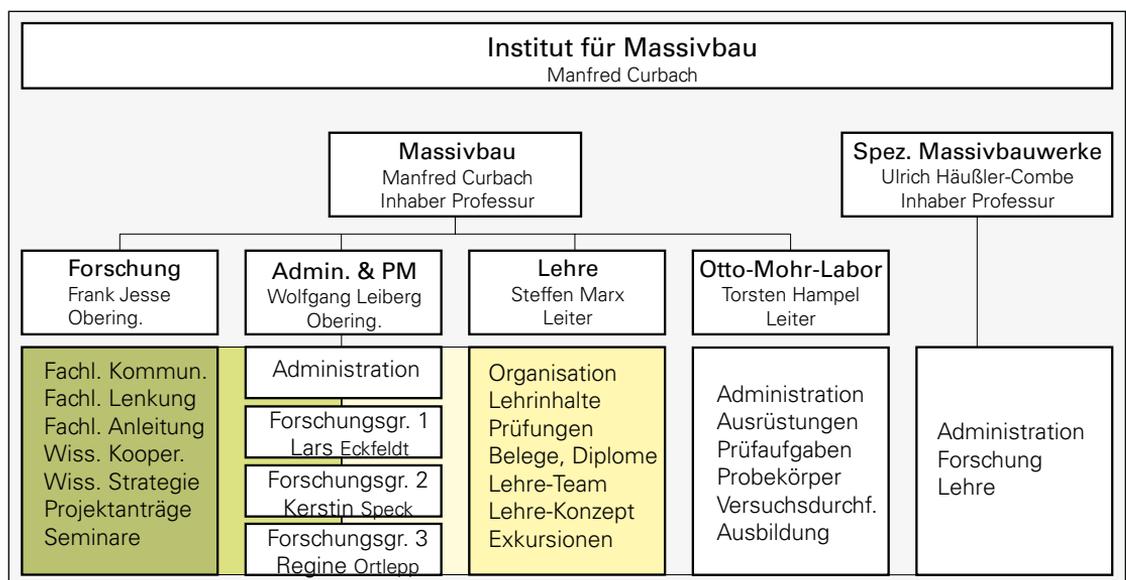
So wurde mit Wirkung vom 01.12.2009 eine Matrixstruktur aus fachlichen und personellen Verantwortlichkeiten eingeführt, welche zu einer stärkeren Teilung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten in der Institutsleitung sowie zu einer klareren Trennung von Organisations- und Wissenschaftsprozessen führte. Der Institutsleiter kann nun auf eine Leitungsebene zurück-

greifen, welche, unter seiner Führung, eigenverantwortlich sämtliche Prozesse des Instituts steuern kann. Alle fachlichen Kompetenzen zu den Bereichen Wissenschaft und Lehre werden von jeweils einem Mitglied der Institutsleitung wahrgenommen, während die Verantwortung für Personalführung, Ressourcen und Organisation den anderen Teil der Matrix bildet. Um eine stärkere Kommunikation und fachliche Betreuung zu erreichen, wurden projektübergreifende Forschungsgruppen gebildet.

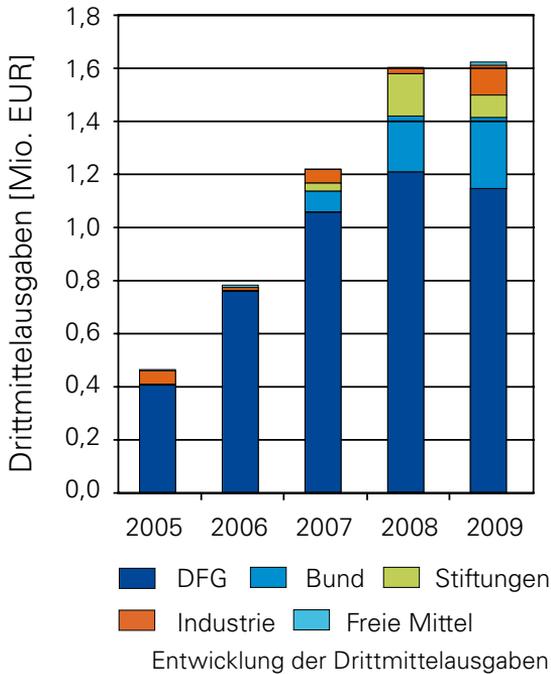
Innerhalb dieser Gruppen werden monatlich fachlich orientierte Projektmeetings durchgeführt. Im Quartalsabstand erfolgt ein Projekt-Review mit der Institutsleitung, den wissenschaftlichen Mitarbeitern und interessierten Kolleginnen und Kollegen.

2 Grundausrüstung und Drittmittel

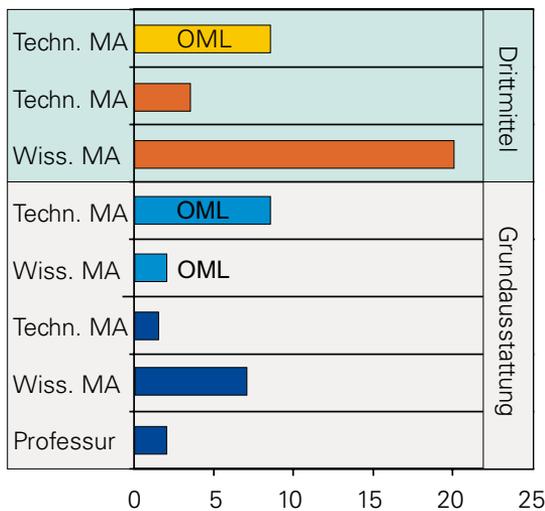
Die Grundausrüstung des Instituts für Massivbau bestand im Jahr 2009 aus 48.796 € Sachmittel, einer Bürofläche von 588 m² und einer Laborfläche von 2.050 m².



Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand: 30. 04. 2010)



Durch die Bewilligung einer Reihe von Forschungsprojekten konnte die Forschungskapazität des Instituts auf hohem Niveau gehalten werden. 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.



Planstellen und Drittmittelstellen im Jahr 2009

3 Leistungen in der Forschung

Der Sonderforschungsbereich 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert und befindet sich in der 4. Förderphase (1.7.2008 – 30.6.2011). Heute, nach elf Jahren intensiver Grundlagenforschung und ersten ernstzunehmenden Anwendungen in der Praxis haben Begriffe wie „Textilbewehrter Beton“ oder „textile Bewehrung“ einen gewissen Bekanntheitsgrad erlangt und Architekten, Ingenieure und Baufirmen interessieren sich für das Bauen und Verstärken mit textilbewehrtem Beton. Die Koordination der Forschungsarbeiten erfolgt durch den Direktor des Instituts für Massivbau und Sprecher des SFB 528, Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach, sowie den Geschäftsführer des SFB 528, Dr.-Ing. Frank Jesse. Im Folgenden sind die Teilprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau bearbeitet werden.

Experimentelle Ermittlung des Tragverhaltens von textilbewehrtem Beton

Anteilige Fördersumme 96.570 €

Numerische Untersuchungen zum Tragmechanismus von Filamentgarnen in einer Betonmatrix

Anteilige Fördersumme 59.970 €

Grundlagen konstruktiver Bewehrungsdetails

Anteilige Fördersumme 107.670 €

Untersuchungen zum Verbundtragverhalten zwischen Altbeton und textilbewehrtem Beton

Anteilige Fördersumme 55.470 €

Verstärkung von normalkraft- und torsionsbeanspruchten Bauteilen mit textilbewehrtem Beton

Anteilige Fördersumme 98.370 €

Brandbeständigkeit von Verstärkungen aus textilbewehrtem Beton

Anteilige Fördersumme 125.570 €

Verfahren zur Biegeverstärkung von bestehenden Bauteilen mit textilbewehrtem Beton

Anteilige Fördersumme 186.270 €

Parallel zu den grundlegenden Arbeiten im SFB 528 werden insbesondere in der 4. Förderphase vermehrt Transfer-Projekte mit Industriepartnern durchgeführt. Mittlerweile gibt es eine Reihe von Objekten, wie Fußgängerbrücken, Fassadenverkleidungen u. ä., die ein sichtbarer Beleg für die ausgezeichneten und praxisnahen Forschungsleistungen des Instituts sind. Neben dem SFB 528 werden am Institut eine Reihe weiterer Forschungsthemen bearbeitet. Das Projekt „Versuchstechnische Ermittlung und mathematische Beschreibung der mehraxialen Festigkeit von Ultra-Hochfestem Beton“ ist Bestandteil des DFG-Schwerpunktprogramms 1182 „Nachhaltiges Bauen mit Ultra-Hochfestem Beton (UHPC) zur Leistungssteigerung, Umweltentlastung und Kostensenkung im Betonbau“. Die folgende Aufstellung führt Projekte mit einer anteiligen Fördersumme von mehr als 10.000 € an.

Beseitigung des Gefährdungspotentials infolge von Spannungsrisskorrosion in Mecklenburg-Vorpommern

Förderer: SBV-MV

01.09.2005 – 31.12.2010

Anteilige Fördersumme: 27.000 €

Die TU-Austauschplattform für Sonderforschungsbereiche (SFB) und Exzellenzcluster

Förderer: Stifterverband für die Dt. Wissenschaft

01.06.2007 – 31.10.2009

Anteilige Fördersumme: 103.448 €

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

Förderer: DFG

01.04.2007 – 31.10.2011

Anteilige Fördersumme: 47.508 €

Versuchstechnische Ermittlung und mathematische Beschreibung der mehraxialen Festigkeit von Ultra-Hochfestem Beton

Förderer: DFG

01.11.2005 – 31.10.2011

Anteilige Fördersumme: 122.188 €

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

Förderer: DFG

01.04.2007 – 31.03.2009

Anteilige Fördersumme: 24.112 €

Der Einfluss von Querzug auf die Rissbildung und den Verbund zwischen Beton und Bewehrung in Stahlbeton- und Spannbetoncontainments

Förderer: GRS

01.04.2007 – 31.12.2010

Anteilige Fördersumme: 190.652 €

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

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

01.06.2009 – 28.02.2011

Anteilige Fördersumme: 12.075 €

Entwurf, Bau und Betrieb eines zweiaxialen Split-Hopkinson-Bars und Bestimmung der zweiaxialen Festigkeit von Beton unter hohen Dehngeschwindigkeiten

Förderer: GRS

Kooperationspartner: Fraunhofer EMI, Freiburg

01.07.2009 – 31.12.2012

Anteilige Fördersumme: 34.000 €

Multifunktionale Baustoffverbunde

Förderer: AiF

01.09.2009 – 29.02.2012

Anteilige Fördersumme: 19.110 €

Betongelenke im Brückenbau

Förderer: DBV

01.01.2009 – 31.12.2009

Anteilige Fördersumme: 18.400 €

Dünne Betondecke auf Brücken mit Übergangskonstruktion

Förderer: Bundesanstalt für Straßenwesen

01.09.2007 – 31.07.2010

Anteilige Fördersumme: 40.000 €

Mehraxiale Stoffgesetze für Beton auf der Grundlage anisotroper Schädigung und Plastizität

Förderer: DFG

01.05.2007 – 30.04.2011

Anteilige Fördersumme: 18.300 €

Überprüfung des Risikos der Spannungsrisskorrosion von Hennigsdorfer Spannstahl für den Produktionszeitraum bis 1993

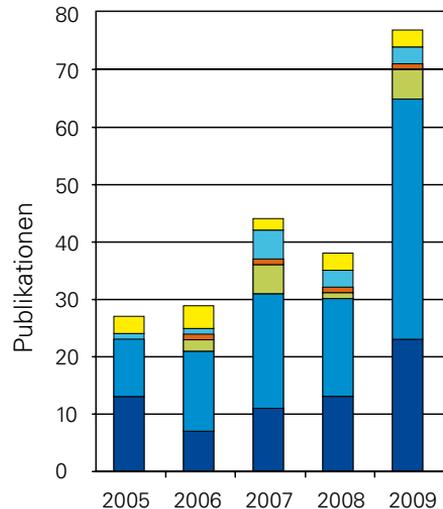
Förderer: SBV-MV

Laufzeit: 01.09.2009 – 31.12.2010

Anteilige Fördersumme: 56.000 €

4 Publikationen

Die Leistungen der Forschungstätigkeit innerhalb der aufgeführten Projekte manifestieren sich in der Verbreitung und Diskussion der Ergebnisse in Form von Publikationen in Büchern und Zeitschriften sowie in Beiträgen auf nationalen und internationalen Konferenzen. Damit ist die Publikationstätigkeit, neben dem Transfer der Forschungsergebnisse in die Industrie, ein wesentlicher Gradmesser für die Qualität der Forschung des Instituts, aber auch jedes einzelnen Wissenschaftlers. Erst die breite wissenschaftliche Diskussion der erzielten Ergebnisse schafft den vom Fördergeber beabsichtigten Nutzeffekt der Projekte.



Publikationstätigkeit in den Jahren 2005–2009

■ Zeitschriften ■ Konferenzen ■ Bücher
■ Buchbeiträge ■ Schriftenreihen ■ Sonstige

Die wichtigsten Zeitschriftenbeiträge aus den Jahren 2005–2009

- [1] **Ritter, R.; Curbach, M.; Trompeter, M.; Erman Tekkaya, A.:** Material Behavior of an UHPC Forming Die for Sheet Metal Hydroforming. *ACI Materials Journal* 106 (2009) 6, S. 515-522
- [2] **Hampel, T.; Speck, K.; Scheerer, S.; Ritter, R.; Curbach, M.:** High Performance Concrete under Biaxial and Triaxial Loads. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE* 135 (2009) S. 1274-1280
- [3] **Lindorf, A.; Lemnitzer, L.; Curbach, M.:** Experimental Investigations on Bond Behaviour of Reinforced Concrete Under Transverse Tension and Repeated Loading. *Engineering Structures* 31 (2009) 7, S. 1469-1476
- [4] **Brückner, A.; Ortlepp, R.; Curbach, M.:** Anchoring of Shear Strengthening for T-beams Made of TRC. *Materials and Structures* 41 (2008), No. 2, S. 407-418
- [5] **Curbach, M.; Hauptenbuchner, B.; Ortlepp, R.; Weiland, S.:** Textilbewehrter Beton zur Verstärkung eines Hyparschalentragwerks in Schweinfurt. *Beton- und Stahlbetonbau* 102 (2007) 6, S. 353-361
- [6] **Curbach, M.; Brückner, A.:** Einfluss der Elementfugen auf die Durchbiegung von Flachdecken. *Beton- und Stahlbetonbau* 101 (2006), S. 132-137
- [7] **Brückner, A.; Ortlepp, R.; Curbach, M.:** Textile Reinforced Concrete for Strengthening in Bending and Shear. *Materials and Structures* 39 (2006) 8, S. 741–748
- [8] **Ortlepp, R.; Hampel, U.; Curbach, M.:** A new Approach for Evaluating Bond Capacity of TRC Strengthening. In: *Cement and Concrete Composites* 28 (2006) 7, pp. 589–597
- [9] **Prose, D.; Curbach, M.:** Risk to Historical Bridges Due to Ship Impact on German Inland Waterways. *Reliability Engineering & System Safety* 90 (2005) 2-3, S. 261-270
- [10] **Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.:** Modeling of Concrete Behaviour Under High Strain Rates with Inertially Retarded Damage. *International Journal of Impact Engineering* 36 (2009), S. 1106-1115

5 Die wichtigsten Vorträge auf wissenschaftlichen Tagungen in den Jahren 2005–2009

- [1] **Schröder, S.:** Bond behaviour under transverse tension.
20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 20, Division TS2 3-1), Espoo, Finland, August 9-14, 2009,
- [2] **Curbach, M.:** Development Potentials of Concrete.
Building the 3rd Millennium, International Conference on Architecture and Engineering in Commemoration of the Cenenary of Fritz Leonhardt, ILEK Stuttgart, 16.7.2009 (Keynote Lecture)
- [3] **Curbach, M.:** Bauen in den Himmel.
Kinderuniversität Dresden, 19.5.2009 (Invited Lecture)
- [4] **Curbach, M.:** Lunar Concrete Construction – Herausforderungen für den Leichtbau mit Beton.
Lunarbase – bauen für eine leben auf dem mond, 12.-13.5.2009, TU Kaiserslautern
- [5] **Marx S.:** Experiences with new design concepts of railway bridges in Germany.
In: Jornada Tecnica Anual Y Asamblea Ordinaria: Puentes Para El Ferrocarril De Alta Velocidad, Madrid, Spain, May 06, 2009 (Invited Lecture)
- [6] **Speck, K.:** Ultra High Performance Concrete under Biaxial Compression.
Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel, Germany, March 05-07, 2008
- [7] **Ortlepp, R.:** Anchoring of TRC Shear Strengthening for T-Beams.
8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-8), Patras, Greece, 16.–18.7.2007
- [8] **Curbach, M.:** Shear Strengthening with Textile Reinforced Concrete.
In: 3rd International Conference Composites in Construction, Lyon, 11.-13.7.2005
- [9] **Eckfeldt, L.:** Application of biostatistics in the analysis of fatigue data.
7th International Probabilistic Workshop, TNO Delft, Netherlands, 25.-26.11.2009
- [10] **Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.:** A novel approach for concrete behaviour under high strain rates based on retarded damage.
6th International Congress of Croatian Society of Mechanics (ICCSM) Dubrovnik, Croatia, 29.9.-2.10.2009

6 Leistungen in der Lehre

Hauptaufgabe der Universität und damit auch des Instituts ist 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.

Lehrveranstaltungen Wintersemester 2008 / 2009

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragender	SWS	Fak.
Massivbrückenbau	V	7.	Marx	2	BIW
Spannbeton	V	7.	Marx	2	BIW
Stahlbetonbau	V	5.	Marx	1	BIW
Stahlbetonbau	Ü	5.	Ritter	1	BIW
Mess- und Versuchstechnik	V	7.	Marx	1	BIW
Ausgew. Kapitel Stahlbetonbau	V	9.	Marx	1	BIW
Mauerwerksbau	V	5.	Häußler-Combe	1	BIW
Beton im Wasserbau	V	9.	Häußler- Combe	2	BIW
Stahlbeton	V	7.	Häußler-Combe	2	BIW
Großer Beleg		9.	Marx		BIW

Lehrveranstaltungen Sommersemester 2009

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragender	SWS	Fak.
Stahlbetonbau	V	4.	Marx	2	BIW
Stahlbetonbau	V	6.	Marx	2	BIW
Stahlbetonbau	Ü	6.	Ritter	2	BIW
Massivbrückenbau	V	8.	Marx	2	BIW
Stahlbetonbau	V	6.	Jesse/Scheerer	2	FGH
Stahlbetonbau	Ü	6.	Jesse/Scheerer	2	FGH
Stahlbetonkonstruktionslehre	V	6.	Häußler-Combe	2	BIW
Stahlbetonkonstruktionslehre	Ü	6.	Häußler- Combe	1	BIW
Mauerwerksbau	V	8.	Häußler-Combe	2	BIW
Spezialbauwerke	V	8.	Häußler-Combe	2	BIW

Lehrveranstaltungen Wintersemester 2009 / 2010

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragender	SWS	Fak.
Massivbrückenbau	V	7.	Marx	2	BIW
Stahlbetonbau	V	5.	Marx	1	BIW
Stahlbetonbau	Ü	5.	Ritter	1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V	7.	Marx	2	BIW
Bauen im Bestand	V	7.	Marx	2	BIW
Ausgew. Kapitel Stahlbeton	V	9.	Marx	1	BIW
Computational Engineering im Massivbau	V	7.	Häußler-Combe	2	BIW
Computational Engineering im Massivbau	Ü	7.	Häußler-Combe	1	BIW
Mauerwerksbau	V	5.	Häußler-Combe	1	BIW
Schräggabelbrücken	V	7.	Svensson	1	BIW
Großer Beleg		9.	Marx		BIW

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 und Diplomarbeiten lernen die Studenten

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

Anzahl Diplomarbeiten in den Jahren 2005–2009

(maßgebend ist der Tag der Verteidigung)

	2005	2006	2007	2008	2009
Diplomarbeiten	3	5	1	3	9

7 Wissenschaftlicher Nachwuchs

Ebenso wie die Ausbildung von Studenten ist es die Aufgabe der Universität, wissenschaftlichen Nachwuchs heranzubilden. Die Begleitung und Entwicklung von Doktoranden auf höchstem wissenschaftlichen Niveau ist ein Aushängeschild für jedes Institut. Das selbstständige Erkennen und Lösen von komplexen wissenschaftlichen Fragestellungen, die Ana-

lyse, Präsentation und Diskussion der eigenen Ergebnisse sowie der zielorientierte Abschluss eines Themas sind Dinge, die jeder Promovend bei der Bearbeitung seines Promotionsthemas erlernt, anwendet und weiterentwickelt. Die schöpferische Atmosphäre im gesamten Institut hat hier erheblichen Einfluss auf die Qualität der individuellen Leistung.

Anzahl der Promotionen als Erstgutachter in den Jahren 2005–2009

	2005	2006	2007	2008	2009
Promotionen	1	2	3	2	4

Promotionen als Erstgutachter 2009

Michler, Yen Le

Entwicklung eines Versuchsstandes zur mehraxialen Beanspruchung von textilbewehrtem Beton

Borer, Erich Karl

Externe Vorspannung – Theoretische und experimentelle Untersuchung von Feldumlenkstellen (Feldlisenen) bei Hohlkastenbrücken

Scheerer, Silke

Hochleistungsleichtbeton unter mehraxialer Druckbeanspruchung. Eine experimentelle Analyse.

Weiland, Silvio

Interaktion von Betonstahl und textiler Bewehrung bei Biegeverstärkung mit textilbewehrtem Beton

Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2005–2009

	2005	2006	2007	2008	2009
Promotionen	3	3	5	2	5

Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2009

Butler, Marko

Zur Dauerhaftigkeit von Verbundwerkstoffen aus zementgebundenen Matrices und alkaliresistenten Glasfaser-Multifilamentgarnen

Rüdiger, Lars

Tragverhalten von Stahlbetonplatten unter Berücksichtigung der Steifigkeitsänderung im gerissenen Zustand

Hartmann, Thomas

Zur mesomechanischen Modellierung von Beton und ihrer Anwendung zur makromechanischen Modellbildung

Vogt, Iris

Strukturelle Klebungen mit UV- und lichthärtenden Acrylaten

Wender, Roman

Modale Steifigkeitsidentifikation zur Zustandserfassung von Strukturen aus Konstruktionsbeton

8 Austausch und Zusammenarbeit

Hervorragende wissenschaftliche Resultate sind heute nur in den seltensten Fällen Einzelleistungen. Vielmehr ist der wissenschaftliche Austausch und die Zusammenarbeit von Wissenschaftlern im eigenen Institut, in der Fakultät und in der nationalen und internationalen Community die Grundlage von neuen Erkenntnissen. Aus diesem Grunde ist der Grad der Verflechtung der Wissenschaftler im fachspezifischen Netzwerk Ausdruck der Akzeptanz und Qualität der eigenen Forschungstätigkeit.

So arbeitete Herr Obering. Frank Jesse in den Monaten Juni/Juli 2009 als Gastdozent am Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil, Département Génie Civil, der Université de Cergy-Pontoise in Frankreich.

Der Institutsdirektor und Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach, ist *Chief Editor* der Schriftenreihe „Konstruktiver Ingenieurbau Dresden (KID)“ sowie Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der Zeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“.

Des Weiteren ist Prof. Dr.-Ing. Curbach Prorektor für Universitätsplanung der TU Dresden

und Sprecher des Sonderforschungsbereiches 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“.

Außerhalb der TU Dresden fungiert Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach als Vorsitzender des DAfStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton) sowie als Leiter der Deutschen Delegation (*Head of Delegation*) des Internationalen Beton-Verbandes fib (*federation internationale du beton*).

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. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe Mitglied im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, der *German Association for Computational Mechanics*, der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik sowie im Verein der Straßenbau- und Verkehrsingenieure.

Als Dienstleistung für andere Universitäten und Institute erstellt das Institut für Massivbau Gutachten im Rahmen von Berufungsverfahren und richtet Tagungen und Kongresse aus. So erstellte Prof. Dr.-Ing. habil. Häußler-Combe Anfang 2009 ein Gutachten für Dr.-Ing. Ioannis Retzepis, Professor für „Massivbau/Ingenieurbauwerke“ an der Fachhochschule Erfurt.

Ein vergleichendes Gutachten zum Berufungsvorschlag der Professur Betonbau der TU Graz wurde von Prof. Dr.-Ing. Curbach erstellt.



Manfred Curbach (links) im Gespräch mit Michael Fardis, Präsident der fib

9 Tagungen und Kongresse

Auch im Jahre 2009 richtete das Institut für Massivbau eine Reihe von Tagungen und Symposien aus.

19. Dresdner Brückenbausymposium „Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken“

09.–10.03.2009; 1.297 Teilnehmer;
Veranstalter: Institut für Massivbau unter Leitung von Univ.-Prof. i. R. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke in Zusammenarbeit mit dem Verein „Freunde des Bauingenieurwesens der TU Dresden e. V.“ und TUDIAS GmbH

Preisverleihung Architekturwettbewerb

03.06.2009; 50 Teilnehmer
Veranstalter: TUDIAS GmbH

CTRS4 – 4. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken

03.–05.06.2009; 168 Teilnehmer
Veranstalter: TUDIAS GmbH

5. Symposium „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen“

11.09.2009; 110 Teilnehmer
Veranstalter: Institut für Massivbau; TUDIAS GmbH

Abschlusskolloquium des Modellprojektes „Die TUD – Austauschplattform für SFBs und Excellenzcluster“

04.12.2009; 30 Teilnehmer
Veranstalter: DZT, TU Dresden

Manfred Curbach, Wissenschaftsministerin Eva-Maria Stange, Friedbert Damm (Deutsche Bank)

10 Anerkennungen

Auch im Jahr 2009 wurden einige der hervorragenden Leistungen des Instituts für Massivbau geehrt.

Kurt Beyer Preis

Dr.-Ing. Regine Ortlepp: Untersuchungen zur Verbundverankerung textilbewehrter Feinbetonverstärkungsschichten für Betonteile (Dissertation; 23.03.2009)

Gottfried-Brendel Preis

Bernd Zwingmann: Unkonventionelle Gestaltungsmöglichkeit mit Netzwerkbögen

Rüsch-Forschungspreis

Dr.-Ing. Kerstin Speck: Beton unter mehraxialer Beanspruchung – Ein Materialgesetz für Hochleistungsbetone unter Kurzzeitbelastung

Deutschland – Land der Ideen Ausgewählter Ort 2009

SFB 528: Textilbeton, Dresden





PROMOTIONEN

Die Promotion ist die Verleihung des höchsten akademischen Grades „Doktor“ bzw. „Doktorin“ in einem bestimmten Studienfach. Während in Diplom- bzw. Bachelor- / Masterstudiengängen die berufsqualifizierenden Kenntnisse und Fähigkeiten erworben werden, wird die Promotion als erste Phase eigenständiger wissenschaftlicher Berufstätigkeit verstanden.

Ein großer Teil der Forschungsleistungen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften in Deutschland wird von Promovierenden erbracht. Jede Promotion erschließt wissenschaftliches Neuland, ihre Besonderheit liegt in der Eigenverantwortung und Selbstständigkeit der Arbeit. Neben der Ausbildung von Studenten ist es eine wesentliche Aufgabe des Instituts, die Promovierenden bei der Erlangung von Fähigkeiten zur

selbständigen Planung und Durchführung wissenschaftlicher Forschung, der Präsentation und Verteidigung der gewonnenen Ergebnisse und der Weiterentwicklung eines Forschungsgebietes durch originäre, eigene wissenschaftliche Beiträge zu unterstützen.

Die Promovierenden am Institut für Massivbau arbeiten an eigenen Forschungsprojekten, diskutieren über ihre Ergebnisse in gemeinsamen Projekt-Meetings und präsentieren regelmäßig Ergebnisse und Konzepte in Projekt-Reviews und Doktoranden-Kolloquia. Darüber hinaus tragen sie als Multiplikatoren die gewonnenen Erkenntnisse durch die Betreuung von Schülerpraktika, Exkursionen, die Mitwirkung bei der „Langen Nacht der Wissenschaft“ oder durch vielfältige Kontakte zur Wirtschaft in die Gesellschaft.

Yen Le Michler (Tag der Verteidigung 20. 2. 2009)

Entwicklung eines Versuchsstandes zur mehraxialen Beanspruchung von textilbewehrtem Beton

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird das Versuchskonzept für zweiachiale Zug-Zug-Versuche an textilbewehrten Betonscheiben behandelt. Diese Arbeit soll einen Beitrag leisten, die Kenntnisse aus dem Maschinenbau, der Mechanik in den Bereich der Bauingenieure und Baustoffe umzusetzen, um alle Effekte, die vom Versuchsstand verursacht werden, öffentlich zu machen. Es ist ein Versuchskonzept zu erarbeiten, wie ein experimenteller Zug-Zug-Versuch optimal zu gestalten ist, um das Tragverhalten des textilbewehrten Betons genau zu ermitteln. Die Arbeit ist hauptsächlich in zwei Teile gegliedert.

Der erster Teil befasst sich mit dem Thema „Versuchsvorbereitung“. Es beinhaltet folgende Hauptpunkte:

- Der erste Punkt beschäftigt sich mit der Auswertung durchgeführter Versuche und deren Versuchsaufbauten. Hier werden Aspekte von der konstruktiven Auslegung der Rahmen bis zur Steuerung der Prüfmaschine behandelt. Es wird diskutiert, welche Effekte auf das Versuchsergebnis vom gewählten Hydrauliksystem bzw. von dem Hydraulikzylinder und der Steuerung des Öldrucks ausgehen können.
- Im zweiten Punkt wird eine Finite-Element-Simulationen durchgeführt, um die zweiachialen Zug-Zug-Versuchskörper zu konzipieren. Mit Hilfe von einem Finite-Element-Programm,

hier ATENA, wird die Probengeometrie mit den Randbedingungen des Versuchs nachgebildet und optimiert.

- Der dritte Punkt beschäftigt sich mit dem Thema „Lasteinleitung“. Ein Konzept für die Verbindung und Kraftübertragung von Stahlplatten (Stahllasche) zur Lasteinleitung in „Beton“ soll entwickelt werden.
- Der vierte Punkt beschreibt die gewählte Messmethode der Versuchsdurchführung, und wertet deren Potenzial und Möglichkeiten.

Der zweite Teil der vorliegenden Arbeit beschreibt detailliert die fünf durchgeführten zweiachialen Zug-Zug-Versuche an mit AR-Glas textilbewehrten Betonscheiben. Die textilbewehrten Betonscheiben werden am Rahmen der zweiachialen Prüfmaschine eingehängt und zweiachial mit jeweils konstantem Verhältnis der Beanspruchung in Zug-Zug Richtung belastet, um den Versuchsstand zu erproben und auszutesten. Die Gedanken, Ergänzungen und Erkenntnisse der Autorin im Zusammenhang mit dem textilbewehrten Beton und die hier auftretenden Effekte werden auch in diesem Kapitel behandelt.

Das Schlusskapitel der Arbeit beinhaltet die Zusammenfassung und den weiteren Ausblick. Aus diesem Anlass werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst.

Silke Scheerer (Tag der Verteidigung: 27.11.2009) Hochleistungsleichtbeton unter mehraxialer Druckbeanspruchung. Eine experimentelle Analyse.

Beton gibt es seit mehr als 2000 Jahren. Einfache 3-Stoff-Gemische aus Wasser, Zement und Zuschlag wie Sand und Kies kann fast jeder herstellen. Trotzdem ist das Zusammenwirken der einzelnen Bestandteile so komplex, dass trotz mehr als 100 Jahren Forschung noch viele Details ungeklärt sind. Die vorgelegte Arbeit soll dazu beitragen, eine Wissenslücke zu schließen.

In dieser Arbeit wird das Tragverhalten von Leichtbeton unter mehraxialer Druckbeanspruchung behandelt. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden insgesamt fast 500 mehraxiale Einzelversuche durchgeführt und ausgewertet. In begleitenden Untersuchungen wurden außerdem die maßgeblichen Festbetonkennwerte ermittelt.

Als Leichtzuschlag wurden künstlich hergestellte Blähtoner der Firma Liapor verwendet. Aus den Leichtkiesen F 6.5 und F 9.5 wurden zwei Leichtbetone mit Leichtsandmatrix und zwei Leichtbetone mit Natursandmatrix hergestellt. Bei den zweiaxialen Druckversuchen untersuchte die Autorin zusätzlich zwei Betone mit dem Leichtkies F 8 ebenfalls in Kombination mit zwei verschiedenen Matrizen. Die Hochleistungsleichtbetone konnten in Festigkeitsklassen zwischen LC 35/38 und LC 80/88 eingeordnet werden.

Die Hauptversuche fanden in einer einteiligen Triaxial-Prüfmaschine an Betonwürfeln mit den Abmessungen $10 \times 10 \times 10$ cm statt. Die Lasten

wurden über Stahlbürsten in die Proben eingeleitet. Die betragsmäßig größte Kraft wurde weggesteuert aufgebracht, die Lasten in der zweiten oder auch dritten Belastungsrichtung wurden kraftgesteuert nachgeregelt. Für jede Betoncharge wurde die einaxiale Bezugsfestigkeit in der Triaxial-Maschine ermittelt. Bei den sechs zweiaxialen und neun dreiaxialen Druckspannungskombinationen wurden ausschließlich proportionale Lastpfade verfolgt.

Bei den Versuchen in der Triaxial-Prüfmaschine wurden vor allem die Bruchbilder, die Bruchfestigkeiten und die Prüfkörperverformungen registriert und analysiert. Bei den ein- und zweiaxialen Versuchen wurden die Dehnungen mit Dehnmessstreifen DMS und induktiven Wegaufnehmern IWA aufgenommen. Bei den dreiaxialen Druckversuchen wurden infolge der fehlenden freien Prüfkörperoberflächen nur IWA für die Messwertfassung genutzt.

Im Rahmen der Auswertung der Versuche wurden verschiedene Parameter ermittelt und näher charakterisiert, die das mehraxiale Drucktragverhalten von Leichtbeton beeinflussen. Weiterhin diskutiert die Arbeit Parallelen und Unterschiede zu bekannten Forschungsergebnissen an Leichtbetonen und auch an Betonen mit Normalzuschlägen. Für die mathematische Beschreibung der Bruchwerte wurden Näherungsfunktionen für zweiaxiale und für dreiaxiale Druckspannungskombinationen vorgeschlagen.

Erich Karl Borer (Tag der Verteidigung: 27.11.2009)

Externe Vorspannung – Theoretische und experimentelle Untersuchung von Feldumlenkstellen (Feldlisenen) bei Hohlkastenbrücken

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag geleistet werden, die lokalen Tragmechanismen eines Brückenhohlkastens im Bereich der Feldumlenkstellen (Feldlisenen) zu untersuchen und zu optimieren.

Beim Entwurf einer Brücke gewinnt die Frage der Dauerhaftigkeit u. a. in Deutschland und der Schweiz eine immer zentralere und größere Bedeutung. Dadurch können die laufenden Kosten reduziert werden, während außerhalb dieser beiden Länder im Allgemeinen mehr Gewicht auf die rationelle Fertigung und die Kostenersparnis in der Bauphase gelegt werden. Die Dauerhaftigkeit von extern vorgespannten Brücken mit ihren relativ geringen Wartungs- und Unterhalts- bzw. Instandstellungskosten sind das Hauptargument für diese Bauweise.

Bei Vorspannung ohne Verbund sind für externe Spannglieder größere Verankerungskonstruktionen erforderlich. Dies, weil die Spannglieder nicht im Steg selbst, sondern mit einem Mindestabstand zum Steg in Lisenen vorgespannt werden müssen. Über diese Verankerungsstellen werden in Hohlkastenbrücken große Kräfte konzentriert in die Stege, Boden- und Fahrbahnplatten eingeleitet.

Im Sinne von Gewichtsreduktion des Brückenbauwerks sollen die Feldlisenen möglichst schlank und Platz sparend ausgeführt werden. Nur durch eine sorgfältige Bemessung und Konstruktion der Verankerungs- und Umlenkstellen kann die Voraussetzung für sichere und dauerhafte Brückenbauwerke gewährleistet werden. Die Bruchsicherheit ist dadurch nicht beeinträchtigt. Von größtem Interesse ist jedoch die Gebrauchs-

tauglichkeit, das heißt die Rissbreiten mit Rücksicht auf Korrosionsschäden in der Bewehrung.

Bei den ersten in Deutschland extern vorgespannten Brücken schlug Prof. Eibl für den Stahl III vor, die Spannungen von 240 N/mm² auf 220 N/mm² zu begrenzen. In der Richtlinie für externe Vorspannung von 1998 wurden die Spannungen weiter auf 180 N/mm² reduziert.

Um eine unkontrollierte Rissbildung in den hoch bewehrten Verankerungskonstruktionen zu verhindern, sind genaue Kenntnisse der Kraftflüsse und für die Praxis taugliche Bemessungsmodelle notwendig. Die Geometrie und die statische Berechnung der gewählten Umlenkstruktur müssen entsprechend gewichtet werden.

In dieser Arbeit werden an zwei Vergleichsmodellen die lokalen Tragmechanismen einer extern vorgespannten Hohlkastenbrücke im Bereich der Feldumlenkstelle (Feldlisenen) untersucht. Mit linear-elastischen und nichtlinearen numerischen Berechnungen wird abgeklärt, ob unter dem Ansatz einer Spannungserhöhung im Bewehrungsstahl auf 285 N/mm² die Gebrauchstauglichkeit noch gewährleistet werden kann. Den Berechnungen wird eine Krafteinleitung von 2 x 3 MN mit Umlenkkräften von 4 x 0,64 MN zu Grunde gelegt. Die Berechnungen zeigen, dass das Ziel, mit einer Bewehrung von $A_s = 3,35 \text{ \% cm}^2/\text{m}$ unter Gebrauchslasten Rissbreiten über 0,2 mm zu vermeiden, erreicht werden kann. Die Berechnungen wurden zudem an einem Brückenmodell im Maßstab 1:1 in einem Belastungsversuch an der Empa in Dübendorf auf ihre Aussagekraft und Richtigkeit überprüft und bestätigt.

Silvio Weiland (Tag der Verteidigung: 9.12.2009) Interaktion von Betonstahl und textiler Bewehrung bei der Biegeverstärkung mit textilbewehrtem Beton

Textilbewehrter Beton zur Verstärkung von Stahlbetonbauteilen ist neben den klassischen und etablierten Verfahren eine äußerst interessante Alternative, die die Vorteile der leichten Kohlenstofffaserverstärkungen mit denen von Spritzbeton mit Bewehrung verbindet. Offene Fragen zur Bemessung, zum Zusammenwirken von Betonstahl und textiler Bewehrung und vor allem das Fehlen bauaufsichtlicher Regelungen sind derzeit die größten Anwendungshemmnisse für Textilbetonverstärkungen. Aus den theoretischen und experimentellen Untersuchungen in dieser Arbeit können wichtige Erkenntnisse zum gemeinsamen Tragverhalten von Betonstahl und textiler Bewehrung sowie zu den Auswirkungen der verbundbedingten Unterschiede abgeleitet werden.

Mit den vorgestellten Versuchen kann die Wirksamkeit textilbewehrten Betons zur Verstärkung von Stahlbetonbauteilen erneut eindrucksvoll bestätigt und der Erfahrungsraum für die Biegeverstärkung experimentell bedeutend erweitert werden. So sind die bisher belegten positiven Ergebnisse an nicht vorgeschädigten Stahlbetonplatten grundsätzlich auch auf vorgeschädigte Biegebauteile übertragbar. Geöffnete Risse und eine vorhandene Vorverformung beeinflussen die Bruchlast der untersuchten biegeverstärkten Platten nicht negativ. Weiterhin konnte eine Erhöhung der Tragfähigkeit im Gebrauchs- und Bruchzustand auch für textile Bewehrungen aus anderen Fasermaterialien, mit verschiedenen Feinheiten der Multifilamentgarne sowie für Textilien mit Sekundärbeschichtungen gezeigt werden. Dabei wurde eine nahezu vierfach höhere Bruchtragfähigkeit erreicht, die nur durch ein Querkraftversagen begrenzt war, für den der Versuchskörper nicht ausgelegt wurde. Ebenso vielversprechend sind die Versuchsergebnisse aus den ersten Tastversuchen zum Langzeittragverhalten. Nach fast

einem Jahr Dauerbelastung mit bis zu 85 % der Kurzzeittragfähigkeit traten zwar deutliche Kriechverformungen, jedoch kein vorzeitiges Versagen auf. Nach der Dauerbelastung konnte immer noch die Bruchlast der Kurzzeittragfähigkeit nachgewiesen werden.

Mit den theoretischen Untersuchungen kann das gemeinsame Tragverhalten und der Einfluss des unterschiedlichen Verbundverhaltens auf die Zugkraftaufteilung gezeigt und qualifiziert werden. Die Behandlung der verbundbedingten Unterschiede bei gemischt mit Betonstahl und Textil bewehrten Zuggliedern ist analog dem Vorgehen bei gemischter Beton- und Spannstahlbewehrung bzw. Klebebewehrung mit Verbundbewehrungen darstellbar. Ebenso ist es grundsätzlich möglich beim Zusammenwirken von Textil und Bewehrungsstahl die klassische Stahlbetonbiegetheorie und vorhandene übliche Bemessungsverfahren anzuwenden, wobei allerdings die unterschiedlichen Hebelarme der Bewehrungen berücksichtigt werden sollten. Es besteht daher nicht mehr die Frage nach einem geeigneten Bemessungsmodell für die Biegeverstärkung mit textilbewehrtem Beton, sondern die Frage nach den zutreffenden Eingangsgrößen, Materialkennwerten und zulässigen Vereinfachungen. Zur Ableitung entsprechender Kennwerte wurden verschiedene Möglichkeiten diskutiert. Zudem wurde ein vereinfachtes Vorgehen vorgeschlagen.

Insgesamt sind die Ergebnisse ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zur baupraktischen Anwendung von Textilbetonverstärkungen und sollten bereits zum umsichtigen Einsatz unter Beachtung der Sicherheitsaspekte ermutigen. Noch offene Fragen und notwendiger Klärungsbedarf sollten die Wissbegier anregen und vertiefende Forschungsvorhaben und weitere experimentelle Untersuchungen ermöglichen.

MITARBEITER

Institut für Massivbau

Professur für Massivbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Geschäftsführender Oberingenieur

Dr.-Ing. Frank Jesse

Oberingenieur Projektmanagement

Dipl.-Krist. Wolfgang Leiberg

Sekretariat

Silvia Haubold
Cornelia Dehne
Sabine Hofmann (Vertretung für Cornelia Dehne)

Professur für Spezielle Massivbauwerke

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

Sekretariat

Angela Heller

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Birgit Beckmann
Dipl.-Ing. Anett Brückner
Dr.-Ing. Lars Eckfeldt
Dipl.-Ing. (FH) Daniel Ehlig
M.Sc. Joachim Finzel
Dipl.-Ing. Anja Hummeltenberg
Dipl.-Ing. Jens Hartig
Dipl.-Ing. Dirk Jesse
Dipl.-Ing. Mirko Kitzig
Dipl.-Ing. Laura Lemnitzer
Dipl.-Ing. Alexander Lindorf
M.Sc. Enrico Lorenz
Dr.-Ing. Harald Michler
Dr.-Ing. Regine Ortlepp
Dipl.-Ing. Thomas Popp
Dipl.-Math. Dirk Reischl
Dipl.-Ing. Robert Ritter
Dipl.-Ing. Gregor Schacht
M.Sc. Henry Schäfer
M.Sc. Frank Schladitz
Dr.-Ing. Thoralf Schober
Dr.-Ing. Kerstin Speck
Dipl.-Ing. Steffen Schröder

Technische Mitarbeiter

Ulrich van Stipriaan M.A.
Martin Weller

Otto-Mohr-Labor

Leiter OML

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Stellvertreter OML

Dipl.-Ing. Kathrin Dietz

Sekretariat

Petra Kahle

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Dr.-Ing. Silke Scheerer

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
Tino Jänke
Andreas Thieme



PUBLIKATIONEN 2009

ZEITSCHRIFTEN & KONFERENZEN 2009

- Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 433-446 – ISBN 978-3-86780-122-5
- Curbach, M.: Brücken und die Aufgabe des Erhalts. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 3, S. 133 – doi:10.1002/best.200990030
- Curbach, M.; Anker, S.; Bösche, T.; Hampel, T.: Gefährdung älterer Spannbetonbrücken durch Spannungsrisskorrosion – Untersuchungen zum Gefährdungspotential. In: VSVI Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Seminartag Brückenbau, 5. März 2009
- Curbach, M.; Hauptenbuchner, B.; Ortlepp, R.; Weiland, S.: Sanierung von Stahlbetonschalen mit textiler Bewehrung. In: Beton im Denkmal. Ästhetik, Funktion, Technologie. Tagungsband 28. Mitteldeutsches Bau-Reko-Kolloquium am 29. April 2009 in Freiberg. Weimar: Verlag der Bauhaus Universität, 2009 – ISBN 978-3-86068-381-1
- Curbach, M.; Jesse, F.: Eigenschaften und Anwendung von Textilbeton. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 1, S. 9-16 – doi:10.1002/best.200800653
- Curbach, M.; Jesse, F.: Vom Wert und der Zukunft des Bauens. In: Avak, R.; Goris, A. (Hrsg.): Stahlbetonbau aktuell. Praxishandbuch 2009. Berlin: Bauwerk Verlag, S. A.1-A.25
- Curbach, M.; Jesse, F.; Ortlepp, R.; Brückner, A.; Weiland, S.: Textile Bewehrung im Betonbau. In: Baradiy, S. et al.: Tagungsband zum 8. Bau-technikforum am 20. März 2009. TU Chemnitz: Selbstverlag, 2009
- Curbach, M.; Ortlepp, R.: Verstärkung von Stützen mit textilbewehrtem Beton. BFT INTERNATIO-NAL Betonwerk + Fertigteiltechnik 75 (2009) 2, S. 176–177
- Curbach, M.; Scheerer, S.: Structural engineering. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Technology Guide. Principles – Applications – Trends. Berlin: Springer, 2009, S. 426-431 – doi:10.1007/978-3-540-88546-7_80
- Eckfeldt, L.: Explorative statistics and random effectsinside cracking data–comparison between expectation and test. In: Proceedings of the International CEOS.fr Workshop: „Control of cracking in R.C. Structures: a major step towards serviceability“, Paris, 10.12./11.12.2009. (CD-Rom)
- Eckfeldt, L.; Curbach, M.: Application of biostatistics in the analysis of fatigue data in bond research. In: Proceedings of the International CEOS.fr workshop: „Control of cracking in R.C. Structures: a major step towards serviceability“, Paris, 10.12./11.12.2009. (CD-Rom)
- Eckfeldt, L.; Curbach, M.: Application of biostatistics in the analysis of fatigue data in bond research. In: Vrijling, van Gelder & Proske (edt.): Proceedings of the 7th International Probabilistic Workshop, Delft, 25.11./26.11. Delft: TU Delft, 2009, p. 37-60
- Eckfeldt, L.; Lindorf, A.; Lemnitzer, L.: Gebrauchstauglichkeitsmodelle nach DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton. Forschungsbericht im Auftrage des DAfStb, Dresden: Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2009, 57 S.
- Eckfeldt, L.; Schröder, S.; Lemnitzer, L.; Hamdan, A.; Curbach, M.: Verbesserung der Vorhersagequalität von sehr kleinen Rissbreiten. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt). Dresden: Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2009, 315 S.
- Ehlig, D.; Jesse, F. & Curbach, M.: Textile Reinforced Concrete (TRC) under Fire Loading.

- Djausal, A.; Alami, F. & Naaman, A. E. (Hrsg.): 9th International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites (Ferro-9), 18-20 May 2009, Bali, Indonesia. S. 331-244
- Ehlig, D.; Jesse, F.; Curbach, M.: Stahlbetonplatten verstärkt mit Textilbeton unter Brandbelastung. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 433-446 – ISBN 978-3-86780-122-5 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244050720109-69672
- Geißler, K.; Knaack, H.-U.; Bolle, G.; Marx, S.: Messtechnische Konzepte in den Regelwerken von Infrastrukturbetreibern – neuer Modul 805.0104 der Richtlinie 805. In: Marx, S.; Opitz, H.; Curbach, M. (Hrsg.): 5. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, Technische Universität Dresden, 11. September 2009. Dresden: Institut für Massivbau, TU Dresden, S. 57-68
- Hampel, T.; Speck, K.; Scheerer, S.; Ritter, R.; Curbach, M.: High Performance Concrete under Biaxial and Triaxial Loads. *ASCE Journal of Engineering Mechanics* 135 (2009) 11, S. 1274-1280 – doi:10.1061/(ASCE)0733-9399(2009)135:11(1274)
- Hartig, J.; Häußler-Combe, U.: A model for Textile Reinforced Concrete exposed to uniaxial tensile loading. In: Kuczma, M. (Hrsg.); Wilmanski, K. (Hrsg.); Szajna, W. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Computer Methods in Mechanics – CMM2009, Zielona Góra, 18.-21.5.2009. Zielona Góra: The University of Zielona Góra Press, 2009, S. 203-204
- Hartig, J.; Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.: Effect of matrix tension softening on the uniaxial tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete. In: Smojver, I.; Soric, J. (Eds.): Proceedings of the 6th International Congress of Croatian Society of Mechanics (ICCSM), Dubrovnik, 30.9.-2.10.2009. Zagreb: Croatian Society of Mechanics, 2009, S. 46 (Book of Abstracts) & CD of full papers
- Hartig, J.; Jesse, F.; Häußler-Combe, U.: Influence of different mechanisms on the constitutive behaviour of textile reinforced concrete. In: Curbach, M. (Hrsg.); Jesse, F. (Hrsg.): Textilbeton – Theorie und Praxis: Tagungsband zum 4. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. Dresden: Technische Universität Dresden, 2009, S. 157-168 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244044908960-34481
- Hartig, J.; Lepenies, I.; Haller, P.; Zastrau, B.: Baukonstruktionen aus der Natur – neue Techniken im Umgang mit natürlichen Wuchsformen. In: Haller, P. (Hrsg.): Fertigung im Holzbau – Planung, Übermittlung, Umsetzung – Fachbeiträge zum 9. Holzbauforum in Leipzig, 15.05.2009. Berlin: Huss-Medien, 2009
- Hüper, A.-B.; Schlaich, J.; Marx S.: Der Leitfaden – Gestalten der Eisenbahnbrücken. In: Mehdorn, H., Schwinn, K. (Hrsg.): Eisenbahnbrücken – Ingenieurbaukunst und Baukultur. Hamburg: Eurailpress, 2009, S. 143 – ISBN 978-3-7771-0398-3
- Hüper, A.; Marx, S.: Gestaltung von Eisenbahnbrücken – veröffentlicht in einem Leitfaden durch den Brückenbeirat der DB AG – ein wichtiger Beitrag zur Förderung der Baukultur in Deutschland. Bauingenieur; VDI-Jahresausgabe 2009/2010. Düsseldorf: Springer VDI, 2009, S. 67-71
- Häußler-Combe, U.: Berechnung des Last-Verformungsverhaltens von Stahlbeton-Hohlkastenträgern unter Querkraftbiegung und Torsion mit FE-Verfahren. *Bauingenieur* 84 (2009) 6, S. 270-280
- Häußler-Combe, U.; Hartig, J.: Rissbildung von Stahlbeton bei Zwangbeanspruchungen. *Bauingenieur* 84 (2009) 12, S. 546-556
- Häußler-Combe, U.; Hartig, J.; Finzel, J.: Textilbeton-Sandwichbauteile – Tragverhalten unter Anpralllasten. In: Breit, W.; Schnell, J. & Grümman, R. (Hrsg.): Tagungsband zum Symposium: Lunar Base - Bauen für ein Leben auf dem Mond, 12.05. – 13.05.2009, Kaiserslautern. TU Kaiserslautern & DLR, S. 61
- Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.: Modeling of concrete behavior under high strain rates with inertially retarded damage. *International Journal of Impact Engineering* 36 (2009), S. 1106-1115 – doi:10.1016/j.ijimpeng.2009.02.004
- Häußler-Combe, U.; Kitzig, M.; Hartig, J.: A novel approach for concrete behavior under high strain rates based on retarded damage. In: Smojver, I.; Soric, J. (Eds.): Proceedings of the 6th International Congress of Croatian Society of Mechanics (ICCSM), Dubrovnik, 30.9.-2.10.2009. Zagreb: Croatian Society of Mechanics, 2009, S. 47 (Book of Abstracts) & CD of full papers
- Jesse, D.; Jesse, F.: Qualitative Bewertung des Versuchsstandes zur Untersuchung des zweiaxialen Tragverhaltens von textilbewehrtem Beton. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 115-128 – ISBN 978-3-86780-122-5 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244044382818-76589
- Jesse, D.; Jesse, F.: Tragverhalten von Textilbeton unter zweiaxialer Zugbeanspruchung. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 129-144 – ISBN 978-3-86780-122-5 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244044565376-12043
- Jesse, F.; Curbach, M.: Verstärken mit Textilbeton. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Hrsg.): Beton-Kalender 2010. Teil I, Berlin: Ernst & Sohn, 2009, S. 457-565
- Jesse, F.; Schick Tanz, K. & Curbach, M.: Obtaining Characteristic Material Strength of Textile Rein-

- forced Concrete (TRC) from Laboratory Tests. Djausal, A.; Alami, F. & Naaman, A. E. (Hrsg.): 9th International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites (Ferro-9), 18-20 May 2009, Bali, Indonesia. S. 305-318
- Kitzig, M.; Häußler-Combe, U.: A fracture energy-based anisotropic damage law for the simulation of plain concrete structures. In: Kuczma, M. (Hrsg.); Wilmanski, K. (Hrsg.); Szajna, W. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Computer Methods in Mechanics – CMM2009, Zielona Góra, 18.–21.5.2009. Zielona Góra: The University of Zielona Góra Press, 2009, S. 233-234
- Kitzig, M.; Häußler-Combe, U.; Hartig, J.: Damage Modeling of Plain Concrete Based on an Anisotropic Constitutive Law. In: Smojver, I.; Soric, J. (Eds.): Proceedings of the 6th International Congress of Croatian Society of Mechanics (ICCSM), Dubrovnik, 30.9.-2.10.2009. Zagreb: Croatian Society of Mechanics, 2009, S. 49 (Book of Abstracts) & CD of full papers
- Lemnitzer, L.; Schröder, S.; Lindorf, A.; Curbach, M.: Bond Behaviour Between Reinforcing Steel and Concrete Under Multiaxial Loading Conditions in Concrete Containments. In: 20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 20), Espoo (Helsinki), Finland, August 9-14, 2009. Finland: VTT Technical Research Center of Finland, 2009, Book of abstracts, Vol. 1, pp.93-94 – ISBN 978-951-38-6336-4
- Lindorf, A.; Lemnitzer, L.; Curbach, M.: Bond Behaviour Between Ribbed Bars and Concrete Under Transverse Tension and Repeated Loading. In: The 11th Annual International fib Symposium, Concrete: 21st Century Superhero – Building a Sustainable Future, 22.-24.6.2009, London. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib), 2009, D6-3 – Book of Abstracts and CD-Rom
- Lindorf, A.; Lemnitzer, L.; Curbach, M.: Experimental investigations on bond behaviour of reinforced concrete under transverse tension and repeated loading. In: Engineering Structures 31 (2009) 7, S. 1469-1476 – doi:10.1016/j.engstruct.2009.02.025
- Lorenz, E.; Ortlepp, R.: Basic research on the anchorage of textile reinforcement in cementitious matrix. In: 9th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-9), Sydney, 13.-15.07.2009. – Book of Abstracts, p. 136 and CD-ROM – ISBN 978-0-9806755-0-4
- Lorenz, E.; Ortlepp, R.: Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung der Verankerungslänge der textilen Bewehrung in der Feinbetonmatrix. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 491+502 – ISBN 978-3-86780-122-5 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244049857647-62309
- Marx, S.: Experiences with new design concepts of railway bridges in Germany. In: Jornada Tecnica Anual Y Asamblea Ordinaria: Puentes Para El Ferrocarril De Alta Velocidad, Madrid, Spain, May 06, 2009. S. 75-84 – ISBN: 978-84-89670-67-9
- Marx, S.: Betongelenke im Brückenbau. In: Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfm Ingenieure für Bautechnik e.V. (BVPI), Westerland / Sylt, 18.-19. Sept. 2009.
- Marx, S.: Concrete production under traffic vibration. In: The 11th Annual International fib Symposium, Concrete: 21st Century Superhero – Building a Sustainable Future, June 22-24, 2009, London. Book of Abstracts and CD-Rom
- Marx, S.: Die Spezifik der Eisenbahnbrücken. In: Mehdorn, H.; Schwinn, K. (Hrsg.): Eisenbahnbrücken – Ingenieurbaukunst und Baukultur. Hamburg: Eurailpress, 2009, S. 51-57 – ISBN: 978-3-7771-0398-3
- Marx, S.; Bösche, T.; Sonnabend, S.: Baubegleitendes Messprogramm zur Überprüfung der rechnerischen Last- und Systemannahmen beim Bau der Scherkondetalbrücke. In: Marx, S.; Opitz, H.; Curbach, M. (Hrsg.): 5. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, Technische Universität Dresden, 11. September 2009. Dresden: Institut für Massivbau, TU Dresden, S. 45-56
- Marx, S.; Bösche, T.; Sonnabend, S.: Entwurf und Realisierung der Scherkondetalbrücke – eine semi-integrale Eisenbahnbrücke für den Hochgeschwindigkeitsverkehr. In: Deutscher Bautechnik-Tag 2009, Dresden, 24. April 2009. Dresden: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein, S. 97-98
- Marx, S.; Schacht, G.: Betongelenke im Brückenbau. Zwischenbericht zum DBV-Forschungsvorhaben 279, Dresden, Juli 2009, 78 S.
- Marx, S.; Schacht, G.: Betongelenke im Brückenbau. Abschlussbericht zum DBV-Forschungsvorhaben 279, Dresden, Dezember 2009, 110 S.
- Marx, S.; Schlaich, J.: Fresh wind for German Railway Bridges. In: The 11th Annual International fib Symposium, Concrete: 21st Century Superhero – Building a Sustainable Future, June 22-24, 2009, London. Book of Abstracts and CD-Rom
- Marx, S.; Schlaich, J.: Gestalten der Eisenbahnbrücken. Stahlbau 78 (2009) 3, S. 197-202 – doi:10.1002/stab.200910013
- Marx, S.; Stein, R.: Monitoring-gestützte Bauzustandsbeurteilung am Beispiel historischer stählerner Eisenbahnbrücken. In: Freunde des Instituts für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt e.V. (Hrsg.): Tragwerksplanung in der Denkmalpflege, 33. Darmstädter Massivbauseminar, TU Darmstadt, 18. Juni 2009. Darmstadt, S. 60-80
- Michler, H.: Shear Lugs – model to calculate fixings with Shear Lugs Part 1 - 3. In: 34th Meeting of fib SAG4 "Fastenings to Concrete and Masonry

- Structures“ April 6/7, 2009 at Gainesville Florida. Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2009 – CD-Rom
- Michler, L.: Entwicklung eines Versuchsstandes zur zweiaxialen Beanspruchung von textilbewehrtem Beton. Dissertation, Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, 2009 – urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-25129
- N. N.: Verbesserung der Vorhersagequalität von Rissbreiten (Kurzbericht über das abgeschlossene Forschungsvorhaben im bauaufsichtlichen Bereich). DIBt-Mitteilungen 40 (2009), 5, S. 159-164 – doi:10.1002/dibt.200930032 und N. N.: Berichtigung zu „Verbesserung der Vorhersagequalität von Rissbreiten“ DIBt-Mitteilungen 40 (2009), 6, S. 221 – doi:10.1002/dibt.200990018
- Ortlepp, R.; Brückner, A.; Lorenz, E.: Verbundversagensmechanismen im Verankerungsbereich von textilbewehrten Feinbetonverstärkungsschichten. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 433-446 – ISBN 978-3-86780-122-5 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244049139702-05245
- Ortlepp, R.; Curbach, M.: Verstärken von Stahlbetonstützen mit textilbewehrtem Beton. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 10, S. 681-689 – doi:10.1002/best.200900034
- Ortlepp, R.; Lorenz, A.; Curbach, M.: Column Strengthening with TRC: Influences of the Column Geometry onto the Confinement Effect. Advances in Materials Science and Engineering 2009 (2009) Article ID 493097, 5 pp. – doi:10.1155/2009/493097
- Ortlepp, R.: The effective area of an adhesive bond of textile reinforced concrete. In: CEB-FIP (Hrsg.); jci (Hrsg.); Concrete Society (Hrsg.): Concrete: 21st Century Superhero – Building a sustainable future, London, 22.-24.6.2009. – London: emap networks, 2009 – Book of Abstracts and CD-ROM
- Ortlepp, R.; Lorenz, E.: Anchoring of textile reinforcements in a fine-grained concrete matrix. In: Kuczma, M. (Hrsg.); Wilmanski, K. (Hrsg.); Szajna, W. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Computer Methods in Mechanics – CMM2009, Zielona Góra, 18.-21.5.2009. Zielona Góra: The University of Zielona Góra Press, 2009, S. 347-348 – ISBN 978-83-7481-245-0
- Ortlepp, R.; Schladitz, F.; Curbach, M.: TRC-Strengthening for Normal and Torsion Loads. In: Kuczma, M. (Hrsg.); Wilmanski, K. (Hrsg.); Szajna, W. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Computer Methods in Mechanics – CMM2009, Zielona Góra, 18.-21.5.2009. Zielona Góra: The University of Zielona Góra Press, 2009, S. 345-346 – ISBN 978-83-7481-245-0
- Ritter, R.; Curbach, M.; Trompeter, M.; Erman Tekkaya, A.: Material Behavior of an UHPC Forming Die for Sheet Metal Hydroforming. ACI Materials Journal 106 (2009) 6, S. 515-522
- Scheerer, S.; Hampel, T.; Curbach, M.: Hochleistungsleichtbeton unter mehraxialer Druckbeanspruchung. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 10, S. 672-680 – doi:10.1002/best.200900026
- Schenkel, M.; Marx, S.; Krontal, L.: Innovative Großbrücken im Eisenbahn-Hochgeschwindigkeitsverkehr am Beispiel der Neubaustrecke Erfurt-Leipzig/Halle. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 11, S. 782-789 – doi:10.1002/best.200900046
- Schladitz, F.; Curbach, M.: Torsionsversuche an textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 12, S. 835-843 – doi:10.1002/best.200900043
- Schladitz, F.; Curbach, M.: Textilbewehrter Beton als Torsionsverstärkung. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 421-432 – ISBN 978-3-86780-122-5 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244048995744-78708
- Schladitz, F.; Lorenz, E.; Jesse, F.; Curbach, M.: Verstärkung einer denkmalgeschützten Tonnen-schale mit Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 7, S. 432-437 – doi:10.1002/best.200908241
- Schladitz, F.; Lorenz, E.; Jesse, F.; Curbach, M.: Strengthening of a Barrel-Shaped Roof using Textile Reinforced Concrete. In: 33rd Symposium of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Bangkok, 9.-11.09.2009. – Book of Abstracts, pp. 416-417 and CD-ROM – ISBN 978-3-85748-121-5
- Schladitz, F.; Strobelt, J.: Verstärkung eines Tonnen-daches – Ein Erfahrungsbericht. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 586-587 – ISBN 978-3-86780-122-5
- Stritzke, J.: 19. Dresdner Brückenbausymposium – von der Grünbrücke bis zu den am weitesten gespannten Eisenbahn-Betonbogenbrücken Europas. Beton 59 (2009) 9, S. 402-405
- Stritzke, J.: 19. Dresdner Brückenbausymposium. Bautechnik 86 (2009) 7, S. 437-446 – doi:10.1002/bate.200990089
- Stritzke, J.: 19. Dresdner Brückenbausymposium. Stahlbau 78 (2009) 7, S. 509-517 – doi:10.1002/stab.200990095
- Stritzke, J.: 19. Dresdner Brückenbausymposium. VSVI-Zeitschrift des Freistaates Sachsen (2009) S. 74-79
- Stritzke, J.; Beyer, P.: Die Göltzschtalbrücke. Bundesingenieurkammer (Hrsg.): Historische Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland. Band 2, 1. Auflage, Berlin: Bundesingenieurkammer, 2009, 75 S. – ISBN 978-3-941867-00-0

- Strobelt, J.; Schladitz, F.; Lorenz, E.: Textilbeton in der Praxis: Verstärkung eines Tonnendaches. *Beratende Ingenieure* 39 (2009) 9/10, S. 41-45
- Weiland, S.; Curbach, M.: Interaktion gemischter Bewehrungen bei der Verstärkung von Stahlbeton mit textilbewehrtem Beton. In: Curbach, M. (Hrsg.), Jesse, F. (Hrsg.): *Textile Reinforced Structures: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung*, Dresden, 3.-5.6.2009. SFB 528, Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden: Eigenverlag, 2009, S. 553-564 – ISBN 978-3-86780-122-5 URN: urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244051366655-25294
- Zwingmann, B.; Schanack, F.; Marx, S.: Asymmetrische Netzwerkbogenbrücken. *Stahlbau* 78 (2009) 7, S. 471-476 – doi:10.1002/stab.200990100

