

## Editorial



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser!

Mit Beginn des laufenden Wintersemesters 2008/09 habe ich das Amt des Dekans unserer Fakultät übernommen. Ich freue mich sehr, somit die Entwicklung des Fachbereichs in den nächsten Jahren maßgeblich

mitgestalten zu dürfen. Gleichzeitig ist es mir zu Beginn meiner Amtszeit ein Bedürfnis, meinem Vorgänger im Amt, Herrn Prof. Dr. A. Schumann, für seine hervorragende Arbeit in den vergangenen zwei Jahren im Interesse des Fachbereichs herzlich zu danken.

Unsere Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften befindet sich derzeit mitten in einem Generationenumbruch. Nach der mittlerweile erfolgten Neubesetzung der Arbeitsgruppe „Mechanik adaptiver Systeme“ durch Frau Prof. Dr. Nestorovic stoßen in Kürze unsere neuen Kollegen in den Lehrstühlen „Grundbau und Bodenmechanik“, „Massivbau“, „Siedlungswasserwirtschaft“ und „Technische Mechanik“ hinzu. Desweiteren laufen die Berufungsverfahren für die Wiederbesetzungen der Lehrstühle „Bauinformatik“ und „Verkehrswesen“ planmäßig voran. Wenn diese Nachbesetzungen auch ohne allzu großen Zeitverzug erfolgen, werden sich mit diesem Generationenwechsel im einen oder anderen Fach und damit auch in der Fakultät gewisse Veränderungen in den Forschungsausrichtungen ergeben. Nachdem in den vergangenen rd. 12 Jahren die Forschung in unserer Fakultät durch den kürzlich ausgelaufenen DFG-Sonderforschungsbereich 398 vor allem im Hinblick auf das Langzeitverhalten unserer Bauwerke, insbesondere durch lebensdauerorientierter Entwurfskonzepte unter Schädigungs- und Deteriorationsaspekten geprägt war, gehen unsere neuen Überlegungen mehr in Richtung der Erfassung und Modellierung von Interaktionen verschiedener Einwirkungen und Abläufe. Zunächst sollen dazu Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau entwickelt werden. Für die Einrichtung eines neuen DFG-Sonderforschungsbereichs zu diesem Themenkomplex haben wir im vergangenen Sommer bereits die Vorbegutachtung erfolgreich hinter uns gebracht. Nun

gilt es, mit aller Energie und Sorgfalt den Vollantrag entsprechend fertig zu stellen.

Auch in der Lehre zeigt sich in diesem Wintersemester Erfreuliches. Nach Jahren mit vergleichsweise wenig Studienanfängern haben sich in diesem Wintersemester 160 Studierende im ersten Semester im Fach Bauingenieurwesen eingeschrieben, was gegenüber dem Vorjahr einen Zuwachs von fast 30% bedeutet. Im Vergleich zur bundesweiten Tendenz können wir damit auf eine überaus positive Bilanz verweisen. Hinzu kommt sowohl im Studiengang „Umwelttechnik und Ressourcenmanagement“, den wir gemeinsam mit unserer Nachbarfakultät Maschinenbau betreiben, als auch im englischsprachigen Studiengang Computational Engineering jeweils ein nach wie vor erfreulich hoher Zuspruch. Wie Ihnen bereits in den letzten Newslettern mitgeteilt, haben wir unsere Ingenieurausbildung im vergangenen Jahr von unserer jahrzehntelang bewährten Diplomausbildung auf das Bachelorsystem umgestellt. Seit diesem Wintersemester 2008/09 bieten wir für Bauingenieure bereits den konsekutiven Masterstudiengang an. Wenn auch von unseren eigenen Bachelor-Studierenden naturgemäß noch keine Aspiranten für diese Masterkurse anstehen können, haben sich hierfür erfreulicherweise bereits 10 Studierende als Wechsler von anderen Hochschulen bei uns eingeschrieben. Die sich nun einstellende Entwicklung in den Studierendenzahlen ist aus meiner Sicht als insgesamt vernünftig zu werten. Auf der einen Seite kann damit mittelfristig der kontinuierliche Bedarf an Ingenieur Nachwuchs weitgehend gedeckt werden, andererseits führen die derzeitigen Anfängerzahlen in 5 bis 7 Jahren nicht erneut zu einem hohen Ingenieurüberschuss, wie er sich vor etwa 6 bis 8 Jahren nach den hohen Anfängerzahlen Mitte / Ende der 90er Jahre eingestellt hatte. Somit lassen sich für unsere jetzigen Studienanfänger nach Ihrem Abschluss in einigen Jahren auch vernünftige Perspektiven für ihren Berufseintritt erwarten.

Mit freundlichen Grüßen

Univ. Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher

Dekan der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften

# Neues aus der Fakultät

## Promotionen im Jahr 2007/2008

Dipl.-Ing. **Uta Stewering**: Schädigungsanalyse für Tragwerke anhand ihrer modalen Systemeigenschaften

Dipl.-Geophys. **Andreas Bertram**: Bruchenergie laufender Risse in Gestein

Dipl.-Ing. **Kay Smarsly**: Autonome Überwachung sicherheitsrelevanter Ingenieurbauwerke

Dipl.-Ing. **Sebastian Höhler**: Zur Modellierung von Stahlbetonkonstruktionen mittels spezieller Mehrkörpersysteme unter statischen und kollapsdynamischen Aspekten

## Neue Professur am Institut für Mechanik



Tamara Nestorović, Dr.-Ing., hat zum Wintersemester 2008/09 den Ruf für die W2 Professur „Mechanik adaptiver Systeme“ am Institut für Mechanik der Fakultät für Bau- und Um-

weltingenieurwissenschaften angenommen. Die mit dem übernommenen Amt verbundenen Aufgaben der Universitätsprofessorin umfassen unter anderem die Weiterentwicklung des Faches durch die Forschung und Lehre an den Fakultäten für Maschinenbau sowie Bau- und Umweltingenieurwissenschaften. Prof. Nestorović forscht auf den folgenden Gebieten: Regelungsmethoden für den Entwurf intelligenter Strukturen (Smart Adaptive Structures) und für die Schwingungsreduktion, Entwicklung und Anwendung robuster und stabiler Regleralgorithmen auf der Basis von FE- (finite Elemente) Modellen, adaptive Regelung, Optimale LQ Regelung mit zusätzlicher Dynamik, experimentale Identifikation der adaptiven Strukturen, Echtzeitregelung und Simulation von „Hardware-in-the-Loop“ Systemen. Geplant ist eine enge Kooperation mit den verwandten Forschungsgruppen der Ruhr-Universität Bochum und mit anderen Forschungseinrichtungen, sowie die Verknüpfung und Weiterentwicklung der Forschungsfelder und der Lehre. Tamara Nestorović ist 1970 in Jagodina (Serbien) geboren. Diplom- und Masterstudium hat sie an der Fakultät für Maschinenbau der Universität in Niš (Serbien) mit Auszeichnungen abgeschlossen. Nach der Promotion an der Otto-von-Guericke Universität in Magdeburg, unter Betreuung von Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Gabbert, hat sie weiterhin als Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität und am Fraunhofer Institut IFF Magdeburg sowie als Lehrkraft für besondere Aufgaben

und Projektleiterin gearbeitet. Seit 2001 lebt sie in Deutschland.

## Preise und Auszeichnungen

**Ruth u. Gert Massenberg Studienabschlussstipendium (1.500 €): Dipl.-Ing. Silvia Dircks**

**Preis an Studierende (ca. 500 €) durch die Universität: Ali Javili**

**Umweltpreis (1.000 €): Dipl.-Ing. Sebastian Dennis Beck**

**Professor-Zerna-Preis für  
bestes Vordiplom (500 €): Adrian Brylka  
bestes Diplom (1.000€): Dipl.-Ing. Sören Schnaubelt  
beste Promotion (1.500 €): Dr.-Ing. Kay Smarsly / Dr.-Ing. Tobias Rudolf Pfister**

## Ehrungen

**Verleihung des „Otto Graf Preises“ an Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher (Lehrstuhl für Baustofftechnik)**

Im Rahmen eines feierlichen Festaktes anlässlich des Deutschen Straßen- und Verkehrskongresses



2008 am 8.-10. Oktober 2008 in Düsseldorf wurde Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher mit dem „Otto Graf Preis“ geehrt. Die Otto-Graf-Stiftung, die anlässlich des 100.

Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. E.h. Graf im Jahr 1981 vom Bundesverband der Deutschen Zementindustrie bei der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen eingerichtet wurde, verleiht den "Otto-Graf-Preis" alle zwei Jahre an ausgesprochene Fachleute, die sich in hervorragender Weise um den Verkehrswegebau mit Beton verdient gemacht haben. Mit dem „Otto-Graf-Preis“ würdigte die Stiftung die wissenschaftlichen Arbeiten von Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher auf dem Gebiet der Dauerhaftigkeit im Betonfahrbahndeckenbau.

## Ehrennadel der FGSV für Professor Brilon

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) hat an Prof. Dr.-Ing. Werner Brilon als Anerkennung für seine Leistungen in ver-

schiedenen leitenden Aufgaben innerhalb der Gremien der FGSV die Ehrennadel verliehen. Die Ehrennadel wird alle zwei Jahre verliehen.

Die FGSV ist diejenige Stelle, die in Deutschland alle technischen Richtlinien und sonstige Regelwerke im Bereich des Straßenverkehrs erarbeitet und herausgibt. Diese Richtlinien haben die gleiche Bedeutung, die in anderen Bereichen den DIN-Normen zukommt. Somit entwickelt und dokumentiert die FGSV den Stand der Technik für den Straßenverkehr in Deutschland.

Prof. Dr.-Ing. Brilon (Lehrstuhl Verkehrswesen) hat während seiner Laufbahn mehrere der zentralen Gremien der FGSV (z.B. die Arbeitsgruppe, die alle Fragen des Straßenentwurfs koordiniert, oder den besonders hochrangig besetzten Forschungsbeirat, der über das Forschungsprogramm der FGSV entscheidet) geleitet und er hat in zahlreichen Arbeitsausschüssen (z. B. Querschnittsgestaltung von Straßen, Kapazität von Autobahnen und Knotenpunkten, Kreisverkehr) maßgeblich mitgewirkt.



Das Bild zeigt den Vorsitzenden der FGSV bei der Verleihung der Ehrennadel an Prof. Brilon.

## Bericht der Fachschaft

### Kurzmeldungen aus dem KOMM-Raum

Der Fachschaftsrat war auch im Sommersemester wieder nicht tatenlos. Neben der Vertretung studentischer Interessen in Gremien und Kommissionen gestaltete er ein attraktives Programm für einen abwechslungsreichen Uni-Alltag. Hier einige Auszüge: Im Mai durften sich die Professoren in mittlerweile alter Tradition an der Theke der **Bauing-Party** üben. In üblich angenehmer Atmosphäre tanzten und weilten die Gäste ausgelassen auf der Ebene 0 unserer Fakultät bis in die frühen Morgenstunden.

Heiß her ging es auf dem neuen Rasenplatz hinter den G-Gebäuden im Juli, wo Institute und Studenten mit- und gegeneinander um den Sieg beim diesjährigen **Fußballturnier** kämpften. Oberhand hatte schließlich das Team der Wasserlehrstühle. Herzlichen Glückwunsch!



Am 14. August fand zum zweiten Mal das **Fakultätssommerfest** statt, zu dem alle Studenten, Professoren sowie sämtliche Mitarbeiter eingeladen waren. In einem sommerlich geschmückten Komm-Raum gab es kalte Getränke und Würstchen vom Grill. Dazu wurde gekickert, Musik gehört und in lockerer Atmosphäre geplaudert. Die Besucherrate ist durchaus noch verbesserungsfähig, trotzdem war es eine schöne, wenn auch kurze Feier. Auch in Zukunft hofft der Fachschaftsrat auf großes Gefallen und rege Teilnahme an den Angeboten.

## Neues aus den Lehrstühlen und Arbeitsgruppen

### Baustofftechnik

#### Zerstörungsfreie Bestimmung des Stahlfasergehalts im Frisch- und Festbeton – Überprüfung eines Messgeräts

Wesentliches Element der Qualitätssicherung von Stahlfaserbeton ist die Überwachung des Stahlfasergehaltes. Dies erfolgt bislang an Frisch- und Festbetonproben dadurch, dass die Stahlfasern aus der Mörtelmatrix heraus gelöst und anschließend gewogen werden. Diese Prüfverfahren sind vergleichsweise aufwändig und die Durchführung zudem sehr zeitintensiv. Für die rasche Annahmeprüfung von Stahlfaserbetonlieferungen sind diese Verfahren nicht besonders zweckmäßig.



Bild 1: Messgerät BSM100

In der Zwischenzeit wurde von einem Prüfgerätehersteller (Hertz Systemtechnik GmbH) ein Messgerät (BSM100) zur zerstörungsfreien Bestimmung des Stahlfasergehaltes in Betonproben unter Nutzung der magnetischen Induktion entwickelt. Dieses Messgerät erlaubt eine schnelle Prüfung des Stahlfasergehaltes sowohl an Frisch- als auch an Festbetonproben sowie die quantitative Erfassung der Stahlfaserorientierung.

In einem Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. wurde am Lehrstuhl für Baustofftechnik die Praxistauglichkeit dieses Messgeräts untersucht und bewertet. Dazu wurden die Stahlfasergehalte an Frisch- und Festbetonproben sowohl nach den klassischen zerstörenden Auswasch- / Trennmethode als auch nach dem zerstörungsfreien BSM-Verfahren bestimmt. Hierzu müssen allerdings vorab die produktspezifischen induktiven Stahlfasereigenschaften in der Datenbank des Messgeräts eingespeichert werden. Schwerpunktmäßig wurde die Messgenauigkeit und die Reproduzierbarkeit von BSM100 untersucht. Um konkretere Aussagen zur Qualität der Messung und zu den Anwendungsgrenzen dieses Verfahrens machen zu können, wurden Versuchsparameter wie Stahlfasergehalt, Stahlfasertyp, Betonkonsistenz, Temperatur, eisenhaltige Gesteinskörnungen und Probekörpergeometrie innerhalb eines praxisrelevanten Spektrums variiert.

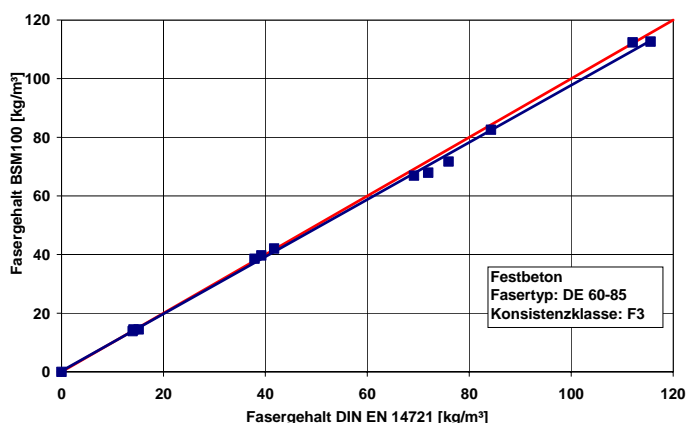


Bild 2: Vergleich eines idealen Messergebnisses (rot) mit den Messwerten von BSM100 (blau) bei variierten Stahlfasergehalten

Die Untersuchungen belegten, dass das Gerät unabhängig von den variierten Versuchsparametern keine oder nur vernachlässigbare Abweichungen vom tatsächlichen Stahlfasergehalt lieferte. Einzig nicht ausreichend korrekte Produktdaten, die bei der Auswertung maßgeblichen Einfluss haben, führten zu auffallenden Abweichungen der Messgenauigkeit von der Herstellerangabe ( $\pm 5\%$ ).

Insgesamt konnte der praktische Einsatz des Messgeräts BSM100 empfohlen werden.

## Einfluss einzelner Fasercharakteristiken auf die erreichbaren Leistungsklassen von Stahlfaser-spritzbeton

Seit Jahrzehnten wird Spritzbeton zum Ausbau und zur Sicherung von Hängen, Tunneln oder Bergwerksstollen eingesetzt. Seit langem hat sich hierbei Spritzbeton vorrangig in Kombination mit Draht- bzw. Betonstahlmatten bewährt. Seit den 90er-Jahren werden alternativ dem Spritzbeton zunehmend auch Stahlfasern beigegeben. Dadurch werden die Arbeitsvorgänge (Bewehrungsarbeiten) vereinfacht, die Bauzeiten z. T. erheblich verkürzt und die Duktilität des Betons deutlich erhöht. Allerdings wird der Grad der Verbesserung, der durch die Stahlfasern erzielt werden kann, maßgeblich von der Form, Schlankheit und Stahlgüte der Fasern, sowie vom Stahlfasergehalt beeinflusst.

Nach dem aktuellen Entwurf der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb werden Stahlfaserbetone in Leistungsklassen eingeteilt. Der Hersteller des Bereitstellungsgemisches, i. d. R. das Transportbetonwerk, hat damit durch gezielte Auswahl der Fasern und Festlegen des Stahlfasergehaltes die Leistungsklassen, die vom Planer gefordert werden, sicherzustellen.



Bild 1: Durchführung der Spritzversuche

Von einzelnen Faserbeton- und Faserherstellern liegen bereits Anwendungsempfehlungen für Rüttelbetone vor, mit denen sich jedoch lediglich für spezielle Fasertypen bestimmte Leistungsfähigkeiten von Stahlfaserbetonen ableiten lassen. Sie erlauben keine allgemeingültige Zuordnung von verschiedenen Fasern zur erreichbaren Leistungsfähigkeit, erst recht nicht bei Stahlfaserspritzbeton, bei dem sich die Besonderheiten der Verfahrenstechnik auch maßgeblich auf die Betonstruktur und damit auf die Betoneigenschaften auswirken.

In einem umfangreichen Forschungsprojekt, gefördert durch den Deutschen Beton- und Bautechnik Verein (DBV) und durch die Arbeitsgemeinschaft

industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), wurden am Lehrstuhl für Baustofftechnik verschiedene Fasertypen und unterschiedliche Fasergehalte auf ihre Leistungsfähigkeit im Spritzbeton untersucht. Hierzu wurden im Nassspritzverfahren im Spritzstand der Ruhr-Universität Spritzbetonplatten erstellt (Bild 1). Nach einer Erhärtungszeit von 28 Tagen wurden daraus balkenförmige Proben herausgesägt, an denen anschließend in Biegezugversuchen das fasertypische Nachbruchverhalten ermittelt wurde. Dieses Nachbruchverhalten ist entscheidend für die Einteilung in Leistungsklassen. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Schlankheit, d. h. das Verhältnis Länge zu Durchmesser der jeweiligen Faser, den deutlichsten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Faserspritzbetons hat (Bild 2). Des Weiteren zeigten gewellte Drahtfasern in der Regel ein ungünstigeres Verhalten als Fasern mit Endaufbiegung.



Bild 1: Scherversagen in Felsformation

Hinter Stützwänden bilden sich im Boden unter bestimmten Voraussetzungen ähnliche Muster von Scherfugen aus. Über die Neigung solcher Scherfugen im Verhältnis zu den Hauptspannungsrichtungen ist uns viel bekannt und wir nutzen diese Kenntnisse zur Bemessung von Stützkonstruktionen. Völlig unklar ist aber, welche Faktoren die Abstände der Scherfugen bestimmen.

Seit einigen Jahren beschäftigt sich der Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik im Rahmen eines erfolgreichen Teilprojektes des SFB 526 Rheologie der Erde mit dieser Fragestellung. Hierzu wurde zunächst ein Versuchsgerät entwickelt (Bild 2), welches das Erzeugen von Scherfugenmustern unter definierten Randbedingungen in granularen Medien erlaubt. Dabei wird an der Unterseite der Probe eine konstante Dehnung eingeleitet.

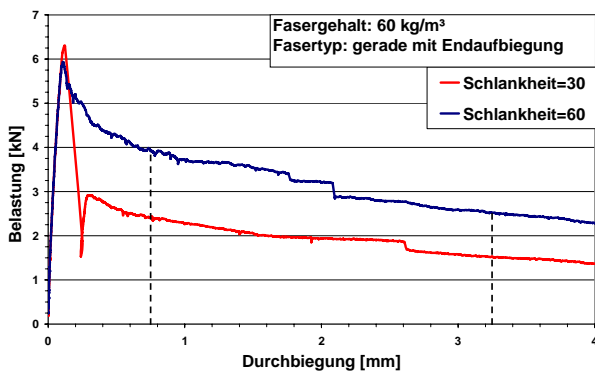


Bild 2: Last-Durchbiegungs-Diagramm

Demgegenüber führten Variationen im Stahlfasergehalt in den untersuchten Bereichen (30 bzw. 60 kg/m<sup>3</sup>) entgegen den Erwartungen nur zu untergeordneten Änderungen in den Nachrissbiegezugfestigkeiten.

Mit diesen Erkenntnissen wird es somit künftig dem Hersteller des Spritzbetons erleichtert, Fasern für einen leistungsfähigen Spritzbeton im Vorfeld auszuwählen und seine Rezeptur entsprechen der jeweils geforderten Leistungsklasse festzulegen.

## Grundbau und Bodenmechanik

### Der Scherfugenbänderung auf der Spur

Wir alle kennen die auffällige Musterung von Gesteinen und Gesteinsformationen in unterschiedlichster Weise (Bild 1). Wie ein Netz mit regelmäßigen Abständen durchziehen Scherfugen die Strukturen.

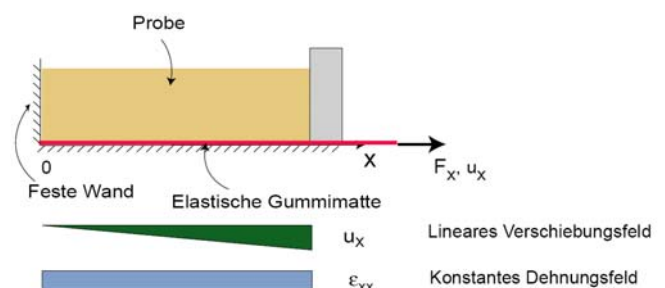
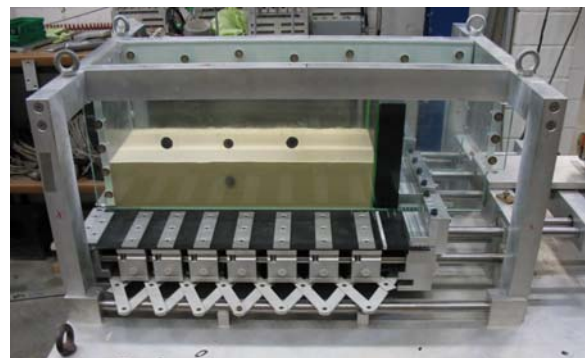


Bild 2: Extensionsversuch im Zustand ebener Dehnung durch homogene Dehnung der Gummimatte

Unter dieser Extensionsbeanspruchung bilden sich Muster paralleler und ggf. zusätzlich konjugierter Scherfugen aus. Die Scherfugenabstände werden

durch Röntgen oder durch Auswertung digitaler Filme mit der DIC (digital image correlation) – Methode identifiziert (Bild 3).

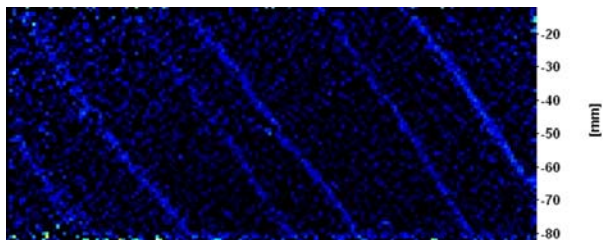


Bild 3: Mittels DIC berechnete Scherdehnung

Durch gezielte Variation der Eigenschaften der Probenmaterialien sowie der Randbedingungen wurden verschiedene Einflussfaktoren herausgearbeitet bzw. ausgeschlossen. So zeigt sich, dass die Höhe der Probe oder die Mächtigkeit der unter der Extensionsbeanspruchung stehenden Schicht maßgeblich den Scherfugenabstand beeinflusst, der Spannungszustand – variiert in Zentrifugen-Modellversuchen – aber nicht. Auch die Höhe der Kohäsion des Materials dominiert den Scherfugenabstand offensichtlich nicht entscheidend. Diese Frage ist für die Übertragung der Ergebnisse von den kleinmaßstäblichen Experimenten auf reale Dimensionen bis zu geologischen Formationen von großer Bedeutung. Viel mehr Einfluss hat aber das Entfestigungsverhalten des Probenmaterials. Diesem Einfluss wird nun in den kommenden 3 Jahren im Rahmen eines jüngst von der DFG bewilligten Forschungsprojektes nachgegangen. Neben Modellversuchen im einfachen und erhöhten Schwerfeld werden dazu umfangreiche Elementversuche durchgeführt. Dabei wird erstmalig im ebenen Dehnungszustand das Entfestigungsverhalten von granularen Materialien unter Extensionsbeanspruchung in einem speziell entwickelten Biaxialversuchsstand erfasst.

## Geodäsie

### 3D-Modellierung

Die Visualisierung der Umwelt gewinnt in den verschiedensten Bereichen zunehmend an Bedeutung. Zahlreiche Forschungsgruppen arbeiten daran Methoden zu entwickeln, die die Erfassung, Darstellung und Auswertung umweltbezogener Daten einfacher, schneller und vielseitiger machen.

In der Arbeitsgruppe Geodäsie wird ein von der DFG gefördertes Forschungsprojekt bearbeitet, das zum Ziel hat, eine neue innovative Methode zu untersuchen, mit der 3D Modelle erstellt werden können. Zur Datenerfassung dient eine 3D-Kamera (auch als Time of Flight (ToF) -Kamera bezeichnet). Eine solche Kamera liefert pro Pixel neben der

Helligkeit auch die Entfernung zum aufgenommenen Objekt. Es stehen somit die Polarkoordinaten eines jeden Punktes unmittelbar zur Verfügung.



Bild 1: ToF-Kamera und 2D Kamera

Die eingesetzte Kamera der Firma PMD besitzt 3072 Pixel. Die innovative Technik ermöglicht es, 3D Punktwolken mit einer Framerate von bis zu 25fps zu erzeugen.

Bei der ToF-Kamera wird mit dem Bildarray simultan die gesamte Szene aufgenommen. Im Vergleich hierzu rastern die heutzutage verwendeten Laserscanner zur Erzeugung einer Punktwolke die Umgebung sequenziell punktförmig ab. Somit ist es nicht möglich, bewegte Szenen mit dem Laserscanner aufzunehmen. Für die ToF-Kamera ist dies kein Problem. Laserscanner müssen zur Aufnahme stationiert werden; die 3D-Kamera kann hingegen frei bewegt und die Bewegungstrajektorie als zusätzliches Element bestimmt werden. Punktwolken werden schnell und einfach sowie vergleichsweise preiswert erzeugt.

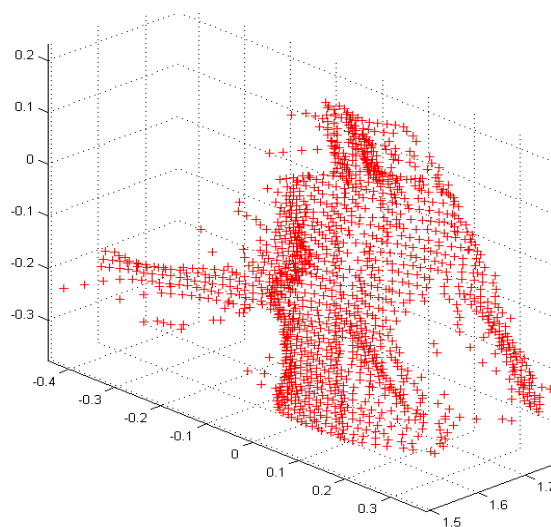


Bild. 2: Punktwolke im Selbstversuch

Die vollautomatische Generierung von 3D-Modellen aus den gewonnenen Daten stellt eine große

Herausforderung dar. Derzeit ist die Erarbeitung effektiver Kalibrierungsmethoden innerhalb des komplexen Zusammenspiels von elektronischer Distanzmessung und photogrammetrischer Bildbewertung Gegenstand der Forschungsarbeit.

## Stahlbeton- und Spannbetonbau

### Digitale Erfassung von Rissbreiten an Stahlbetonversuchsbalken

Von der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde am Lehrstuhl unter anderem das Projekt „*Experimentelle und numerische Untersuchungen an Stahlbetonträgern mit zweiachsigen Querkraftbeanspruchungen*“ gefördert. Hier wurden Bauteilversuche an großformatigen Stahlbetonbalken durchgeführt. Neben der üblichen messtechnischen Erfassung von Bauteilverformungen und Stahldehnungen mittels induktiver Wegaufnehmer und DMS wurde für die Rissbreitenmessung erstmals das digitale Rissbreitenmesssystem DRS experimentell eingesetzt.

Es nutzt eine konventionelle Digitalkamera mit spezifischem Aufsatztubus für die eigentliche fotografische Aufnahme der Messstelle. Auf Basis einer Graustufenanalyse mit mehreren Dutzend Auswertestellen je Zentimeter Risslänge werden die Risse am Computer ausgewertet und in ihren Kenndaten, wie mittlere Rissbreite, Streubreiten oder Rauigkeitsprofil analysiert.

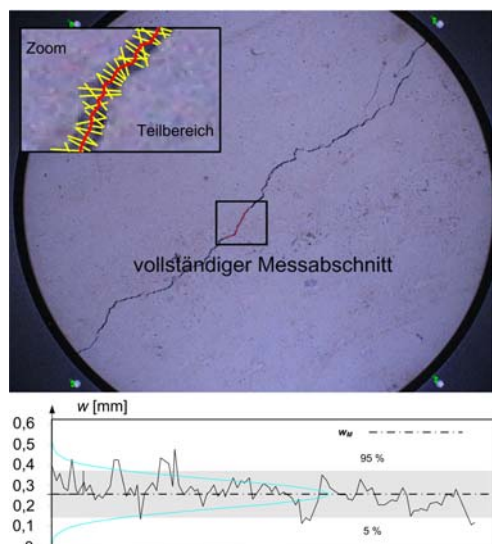


Bild 1: Ergebnis einer Rissbreitenanalyse mit statistischer Auswertung der Rissbreite

Zur Beurteilung der Risse am Bauteil kann auf einen gegenüber Einzelwertmessungen herkömmlicher Systeme, z. B. von Risssschablone oder Risslupe, vergleichmäßigten Mittelwert zurückgegriffen werden. Auch ein geeigneter 95, 90 bzw. 80%-Quantilwert kann gebildet werden, wie es das DBV-Merkblatt: „*Begrenzung der Rissbreiten im Stahlbeton- und Spannbetonbau*“ vorschlägt.

Im Experiment ist eine eindeutige Zuordnung der aufgetretenen Rissbreite zur aufgetragenen Belastung oder auch eine zeitabhängige Dokumentation möglich. Neben den qualitativen Aussagen zum Rissbild können nun anhand der präzisen Mess- und Auswertedaten die Aussagen objektiv quantifiziert werden.

## Stahl- und Verbundbau

Im Rahmen der Konferenz EUROSTEEL 2008 in Graz war der Lehrstuhl mit mehreren Beiträgen beteiligt. Im Folgenden werden einige Beiträge kurz vorgestellt:

### Zum Nachweis der Tragfähigkeit von Hohlprofilknoten

Hohlprofile werden bei Fachwerkkonstruktionen häufig eingesetzt, da sie bzgl. der Druckbeanspruchungen ein besseres statisches Verhalten als I-Profile aufweisen. Der Nachweis der Verbindungen bei der Verwendung von Hohlprofilen (Gestaltfestigkeitsnachweis) ist jedoch sehr aufwändig. Aus diesem Grund ist in Zusammenarbeit mit Vallourec & Mannesmann Tubes, Düsseldorf eine Bemessungshilfe erarbeitet worden, die eine einfache Bestimmung der Grenztragfähigkeit von Hohlprofilknoten zulässt. In diesem Zusammenhang werden in diesem Aufsatz die möglichen Versagensarten sowie entsprechende Bemessungshilfen und eine vereinfachte Bestimmung geeigneter Profile vorgestellt.

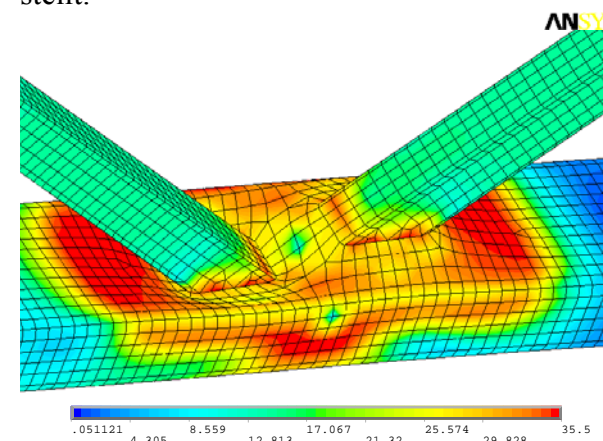


Bild 1: Vergleichsspannungen (in  $\text{kN/cm}^2$ ) eines K-Knotens im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### Zur Idealisierung gewalzter I-Profile

Für die Bemessung im Stahlbau ist es häufig hilfreich und zweckmäßig, Querschnitte durch ein Aufteilen in rechteckige Teilquerschnitte zu idealisieren. Dies gilt insbesondere für die Modellierung von Querschnitten bei Berechnungen auf Grundlage der Finite-Elemente-Methode sowie beim Nachweis der Querschnittstragfähigkeit mit dem Teilschnittgrößenverfahren (TSV). In diesem Aufsatz wird gezeigt, wie sich gewalzte I-, U- und L-Profile

zweckmäßig idealisieren lassen, um eine möglichst gute Übereinstimmung zur genauen Querschnittsgeometrie im Sinne der Querschnittskennwerte und -tragfähigkeit zu erzielen.

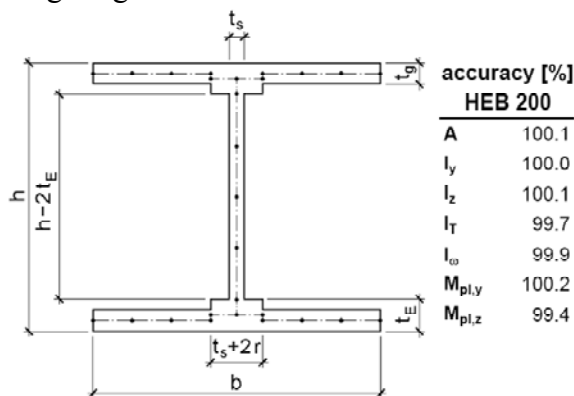


Bild 2: Modell mit ideeller Blechdicke  $t_E$  im Bereich der Walzausrundungen und Genauigkeit für ein Profil HEB 200

### Grenztragfähigkeit gewalzter I-Profile

Das Teilschnittgrößenverfahren (TSV) zum Nachweis der Querschnittstragfähigkeit berücksichtigt die zweiachsige Biegung mit Wölbkrafttorsion und Normkraftbeanspruchungen. Die Nachweisbedingungen für die im Stahlbau verbreiteten I-Profile sind für Querschnitte entwickelt worden, die sich aus drei rechteckigen Teilquerschnitten zusammensetzen. Damit wird die plastische Querschnittstragfähigkeit für geschweißte Querschnitte sehr gut erfasst. In diesem Aufsatz werden zwei Ansätze vorgestellt und gezeigt, wie mit Hilfe des TSV die Grenztragfähigkeit gewalzter Profile, d. h. mit der Berücksichtigung von Ausrundungsbereichen, möglichst genau bestimmt werden kann.

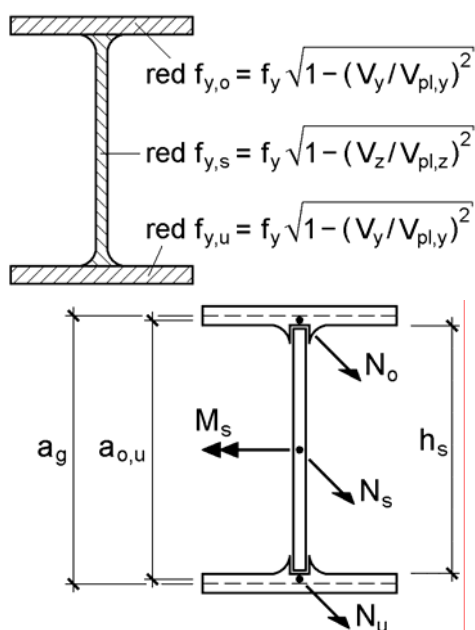


Bild 3: Zur Erweiterung der Nachweisbedingungen des TSV für gewalzte I-Profile

Weitere Informationen finden Sie unter [www.rub.de/stahlbau](http://www.rub.de/stahlbau).

## Verkehrswesen

### Netzübergreifende Steuerung von Zuflussregulierungsanlagen

In den letzten Jahren wurden viele Autobahnauffahrten in dicht besiedelten Ballungsgebieten mit sogenannten Zuflussregulierungsanlagen ausgestattet. Bei diesen Anlagen – wie sie beispielsweise auf der A40 und der A43 vorhanden sind - handelt es sich um Signalanlagen in einer Zufahrt, die die Anzahl der auf die Autobahn auffahrenden Fahrzeuge in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke regulieren. Die Gefahr eines Verkehrszusammenbruchs auf der Hauptfahrbahn durch einen Pulk von auffahrenden Fahrzeugen wird hierdurch verringert.



Bild 1: Zuflussregulierungsanlage (Quelle: Straßen.NRW)

Im Auftrag der University of Florida bearbeitet der Lehrstuhl für Verkehrswesen ein Projekt, mit dem eine netzweite Steuerung von Zuflussregulierungsanlagen für US-amerikanische Verhältnisse entwickelt werden soll.

Bei den meisten heutzutage installierten Zuflussregulierungsanlagen ist es üblich, dass die Anlage nur über die Verkehrsstärke der Hauptfahrbahn direkt an der Anschlussstelle gesteuert wird. Bei mehreren hintereinander liegenden regulierten Auffahrten kann es infolge dieser isolierten Steuerung geschehen, dass die Anlage der ersten Auffahrt sehr viele Fahrzeuge auffahren lässt. Dies hat zur Folge, dass an der nächsten Auffahrt die Autobahn mit diesen zusätzlichen Fahrzeugen so stark ausgelastet ist, dass der Verkehr schon bei wenigen auffahrenden Fahrzeugen zusammenbricht.

Sinnvoller kann es sein, wenn die Steuerung der ersten Anlage auch auf den Verkehrsablauf der stromabwärts liegenden Anschlussstellen abgestimmt werden kann. In diesem Fall könnte an der ersten Auffahrt die Anzahl der auffahrenden Fahrzeuge reduziert werden. Damit ist zwar die Fahrbahn an der

ersten Anschlussstelle nicht voll ausgelastet, jedoch können an den stromabwärts liegenden Auffahrten weitere Fahrzeuge auffahren, ohne dass sofort die Gefahr eines Verkehrszusammenbruchs besteht.

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages wird in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungseinrichtungen in den USA eine solche netzweite Steuerung von Zuflussregulierungsanlagen entwickelt.

In dem Projekt „Proactive Ramp Management Under the Threat of Freeway-Flow“ werden die bisherigen Verfahren für eine netzweite Steuerung von Zuflussregulierungsanlagen untersucht und ein geeigneter Algorithmus für die netzweite Steuerung entwickelt.

Der vom Lehrstuhl für Verkehrswesen durchgeführte Untersuchungsabschnitt ist die Bereitstellung eines mikroskopischen Simulationsprogramms, mit dem diese neu entwickelte netzweite Zuflussregulierung nachgebildet und analysiert werden kann. Hierzu werden die bekanntesten international verfügbaren mikroskopischen Simulationsprogramme auf ihre Eignung zur Nachbildung netzweiter Zuflussregulierungen untersucht. Mit den Daten verschiedener amerikanischer Untersuchungsstrecken werden die Simulationsprogramme kalibriert und anschließend verglichen. In das am besten geeignete Simulationsprogramm soll der zuvor entwickelte Algorithmus zur netzweiten Zuflussregulierung implementiert werden.

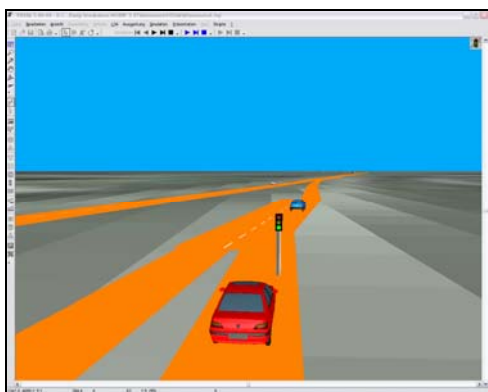


Bild 2: Zuflussregulierungsanlage in der mikroskopischen Simulation mit VISSIM

Die Entwicklung und Anwendung von mikroskopischen Simulationsprogrammen gehört zu einem der Kerngebiete des Lehrstuhls für Verkehrswesen.

Weitere Informationen: Dipl.-Ing. J. Lohoff, Lehrstuhl für Verkehrswesen, [www.rub.de/verkehrswesen](http://www.rub.de/verkehrswesen)

### Einsatzbereiche Grüner Wellen und verkehrsabhängiger Steuerungen

In Deutschland werden zur Steuerung von koordinierten Lichtsignalanlagen verschiedene Verfahren eingesetzt. Dies sind im Wesentlichen die festzeit-

gesteuerte Koordinierung, die verkehrsabhängige Steuerung mit Rahmenzeitplan und, als modernste Entwicklung, die adaptive Steuerung. In der Fachwelt herrscht die Meinung vor, dass die festzeitkoordinierte Steuerung (Grüne Welle) nicht mehr dem Stand der Technik entspricht, da sie zu starr ist und sich nicht flexibel an verschiedene Verkehrssituationen anpasst. Eine objektive Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen der Steuerungsverfahren wurde in Deutschland bisher nicht wissenschaftlich vorgenommen und wird auch in der Praxis in der Regel nicht durchgeführt.

Um die tatsächliche Wirkung der Steuerungsverfahren objektiv zu überprüfen, wurden zehn Straßenzüge durch empirische Messungen und Simulationen untersucht. Die Messungen wurden mit zehn Messfahrzeugen, die mit GPS-Messgeräten ausgestattet wurden, durchgeführt. Durch diesen Messaufbau konnten die Reisegeschwindigkeiten, die Anzahl der Halte und die Wartezeiten auf den Straßenzügen bestimmt werden.

In der Realität ist ein Vergleich verschiedener Steuerungsverfahren jedoch nicht möglich, da auf einem Straßenzug nur ein Verfahren geschaltet werden kann. Für diesen Vergleich wurde ein mikroskopisches Simulationsprogramm eingesetzt. In diesem Programm war es möglich, die Straßenzüge und die dazugehörigen Steuerungen der Lichtsignalanlagen exakt nachzubilden. In den Simulationen konnten somit auf einem Straßenzug verschiedene Steuerungsverfahren gegenübergestellt werden. Dadurch wurden umfangreiche Vergleiche zwischen vorhandenen und optimierten Steuerungen (siehe Bild 1) sowie zwischen verkehrsabhängigen und festzeitgesteuerten Koordinierungen möglich. Die Bewertung der Verfahren erfolgte nicht nur durch die konventionellen Verfahren allein über die Anzahl der Halte oder der Reisegeschwindigkeit in der koordinierten Hauptrichtung, sondern auch durch einen sogenannten Performance Index. Dieser berücksichtigt die Anzahl der Halte und die Wartezeiten in jeder Knotenpunktzufahrt des Straßenzuges und bewertet somit sämtliche Fahrtrichtungen.

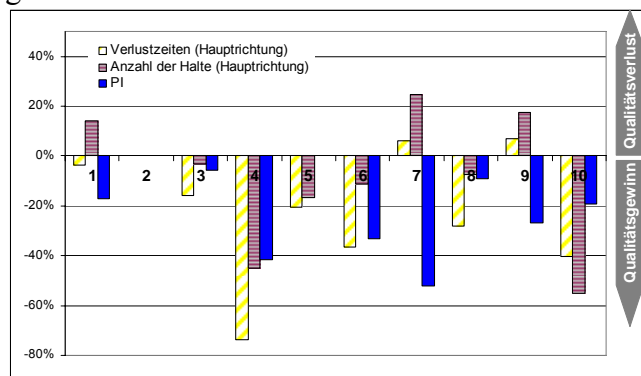


Bild 1: Auf 10 städtischen Hauptverkehrsstraßen wurden durch numerische Optimierung neue koor-

dinierte Signalpläne ermittelt. Das Bild zeigt die Verbesserung gegenüber der jeweils bisher vorhandenen Situation, die durch die Optimierung erreicht wurde. Die Bewertung erfolgte durch mikroskopische Simulation des Verkehrsablaufs. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Optimierung der Festzeitsteuerung erhebliche – teilweise dramatische – Verbesserungen des Verkehrsflusses erreicht hat.

Die Untersuchungen führten zu dem für viele Experten überraschendem Ergebnis, dass die verkehrsabhängige Steuerung keineswegs nur Vorteile gegenüber der Festzeitsteuerung hat. Es wurde deutlich, dass kein eindeutiger Trend zugunsten eines Steuerungsverfahrens festgestellt werden kann. Je nach Verkehrssituation ergaben sich sehr unterschiedliche Qualitäten der verkehrlichen Wirkung der Steuerungsverfahren.

Aus den so gewonnenen Untersuchungsergebnissen wurden schließlich Kriterien für die Einsatzbereiche der verschiedenen Steuerungsverfahren entwickelt, die eine Entscheidungsfindung für zukünftige Planungsvorhaben wesentlich erleichtern können. Es wurde jedoch auch deutlich, dass jeder Einzelfall unabhängig von den hier vorgeschlagenen Einsatzkriterien geprüft werden muss, um das geeignete Steuerungsverfahren zu ermitteln.

Weitere Informationen: Dipl.-Ing. Th. Wietholt, Lehrstuhl für Verkehrswesen, [www.rub.de/verkehrswesen](http://www.rub.de/verkehrswesen)

## Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb

### Verbundprojekt „SKRIBT“ – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, startete im März das Projekt „SKRIBT“, bei dem der Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb als einer von zehn Verbundpartnern während der 3-jährigen Bearbeitungszeit beteiligt ist. Im Rahmen eines „All-Hazard“-Ansatzes, sollen dabei neue Wege und Konzepte zum Schutz der neuralgischen Bauwerke der Straßeninfrastruktur ermittelt und umgesetzt werden. Zunächst steht dabei für Brücken- und Tunnelbauwerke, als eben solche neuralgischen Konstruktionen, die Identifizierung von Bedrohungsszenarien im Vordergrund, welche aus Großunfällen, Terrorismus und Naturkatastrophen für die Verkehrsteilnehmer und das Bauwerk resultieren. Die Entwicklung von angepassten Schutzmaßnahmen wird in der Folge durch Wirksamkeitsbetrachtungen und Kosten-Nutzen-Analysen komplettiert. Ziel ist die Entwicklung eines Maßnahmenkataloges, welcher Empfehlungen zur Anhebung des Sicherheitsniveaus sowohl für bestehende als auch für neu zu planende Brücken- und Tunnelbauwerke enthält.

Zielgruppe dieser Empfehlungen sind Bauwerksnutzer, Eigentümer, Betreiber und Rettungsdienste.



Abb. 1: Ein zentrales Ziel von SKRIBT: Sicherheit im Tunnel (Quelle BAST)

Die Mitarbeiter des Lehrstuhls für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb befassen sich mit der Entwicklung geeigneter Maßnahmen für Straßentunnel, wobei der Fokus hier auf bau- und betriebstechnischen Gesichtspunkten liegt. Die Anlage und Struktur des Verbundprojektes ist sehr interdisziplinär. So gehört, neben diesen typischen Ingenieuraufgaben, auch die Unterstützung des Lehrstuhls für Psychologie der Universität Würzburg beim Aufbau einer virtuellen Tunnelumgebung zu den Aufgaben der wissenschaftlichen Mitarbeiter des Lehrstuhls. Anhand dieser virtuellen Realität soll die menschliche Wahrnehmung im Hinblick auf bauliche und optische Gestaltung von Tunneln sowie die Reaktion des Bauwerksnutzers im Ernstfall untersucht werden. Zu den Aufgaben des Lehrstuhls gehört auch, die im Laufe des Projektes erlangten Erkenntnisse anwendungsorientiert aufzubereiten und der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, wie beispielsweise über die Projekthomepage [www.skribt.org](http://www.skribt.org).

### Studie im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Eingriffe in Natur und Landschaft sowie in die gebaute Umwelt erfordern zunehmend energie- und ressourcenschonende Verfahren. Nur so kann die Nachhaltigkeit des Eingriffs und seine Verträglichkeit im Bezug auf die ökologische Gesamtbilanz sichergestellt werden. Grundlegende Überlegungen hierzu, welche im Rahmen der Entwurfsplanung von unterirdischer Infrastruktur angestellt werden, können Ergebnisse liefern, die zur Bilanzierung



Bild 1: Nachhaltigkeit und Schutz der Umwelt beim Bau von Infrastrukturmaßnahmen

der Bau- und Betriebsweisen und somit für eine sinnvolle Verfahrensauswahl hilfreich und sogar notwendig sind.

Ein solches Vorgehen stellt für die Auftraggeber von Infrastrukturmaßnahmen eine in der Planungsphase schwierige Aufgabe dar, vor allem dann, wenn mehrere, gleichwertig erscheinende Bauverfahren miteinander konkurrieren. Grund hierfür ist die Vielfältigkeit der einzelnen Bauverfahren und das heterogene Zusammenspiel von Bau- bzw. Verfahrensweise und ihrem Einfluss auf die Ökologie. Zielsetzung einer Studie im Auftrag der DBU, welche derzeit vom Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb gemeinsam mit der GSTT Beratungsservice GmbH durchgeführt wird, ist daher die Erarbeitung einer Methodik für ein praktikables Bilanzierungsverfahren, mit dessen Hilfe es ermöglicht werden soll, in Abwägung von umweltrelevanten Einflüssen und auf Basis abgesicherter Erkenntnisse, eine adäquate Baumethode bzw. Verfahrensweise für das jeweilige Bauvorhaben wählen zu können. Die Studie hat derzeit ihre zweite Phase erreicht, in deren Rahmen vor allem der Lebenszyklusgedanke in die Überlegungen integriert wird und eine für die Praxis geeignete Umsetzung des theoretischen Unterbaus als Software-Tool erfolgen soll. Abschließend wird dann Methodik und Software an realen Projekten eingesetzt und optimiert.

### **Neue baubetriebliche Lehre im Masterstudiengang Bauingenieurwesen**

Zum Wintersemester 2008/09 startet der viersemestrige Masterstudiengang Bauingenieurwesen mit den fünf Ausrichtungen „KIB-Structural Engineering“, „KIB-Computational Mechanics“, „Geotechnik und Tunnelbau“, „Wasserwesen“ und „Umweltechnik und Verkehrswesen“. Bevor die vertiefte Fachausbildung im zweiten Semester beginnt, stehen eine allgemeine und eine den jeweiligen Vertiefungsrichtungen entsprechende Grundlagenausbildung von je 15 Credits im ersten Mastersemester auf dem Programm.

Allgemeinverbindlich ist neben der Mathematik ein Modul „**Baubetrieb und Management**“ mit 6 Semesterwochenstunden. Im Vergleich zum bisherigen Diplomstudiengang wird damit die baubetriebliche Lehre deutlich ausgeweitet. Das Modul basiert auf drei Lehrveranstaltungen. Die Baubetriebswirtschaft beinhaltet im Wesentlichen das Rechnungswesen, das Controlling und die Unternehmensplanung im Bauwesen. Diese Lehrveranstaltung wird von Prof. Dr. Oepen vom BWI gelesen. Im Projektmanagement wird das Wissen um Projektsteuerungsmethoden, Bauüberwachung, Nachtragswesen und Controlling vermittelt. Die dritte Lehrveranstaltung hat im Wesentlichen neben Kalkulationsme-

thoden nationale und internationale Vergabe- und Vertragsformen sowie PPP-Projekte und Investment zum Inhalt. Alle Lehrveranstaltungen werden vom Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb betreut. Mit dieser erweiterten Ausbildung wird der Masterstudiengang den zunehmenden Anforderungen an Absolventen des Bauingenieurstudienganges auf diesem Gebiet angepasst.

## **Verkehrswegebau**

### **Neue Präzisionsprüfmaschine für dynamische Druck- und Zugversuche**

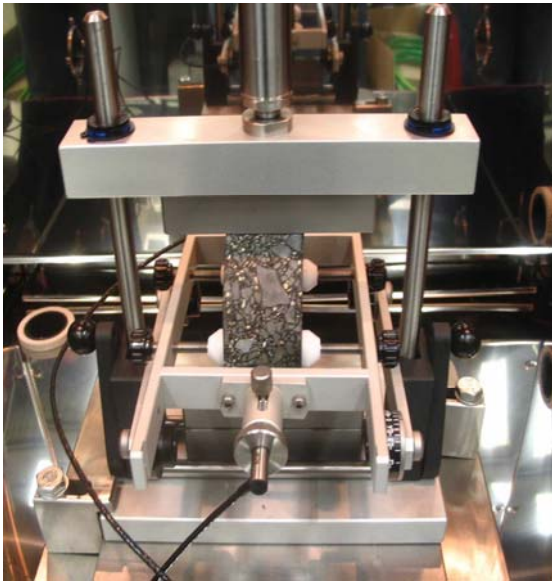
Die computerbasierte Dimensionierung von Straßenbefestigungen ermöglicht im Vergleich zu den empirischen Bemessungsmethoden die Berücksichtigung objektbezogener Randbedingungen wie Achslastverteilungen und besondere Baustoffeigenschaften. Dadurch können die Schichtdicken des Aufbaus exakt an die zu erwartenden Belastungen angepasst werden, was einen effizienten Umgang mit Ressourcen, wie den erdölbasierten Bindemitteln und natürlichen Gesteinskörnungen, erlaubt. Voraussetzung für die analytische Bemessung des Oberbaus sind Kenntnisse über die Materialsteifigkeit bei dynamischer Belastung und das

Ermüdungsverhalten. Im Februar 2008 wurde die Ausstattung des Laboratoriums des Lehrstuhls für Verkehrswegebau um eine Präzisionsprüfmaschine zur Ermittlung dieser Kennwerte er-



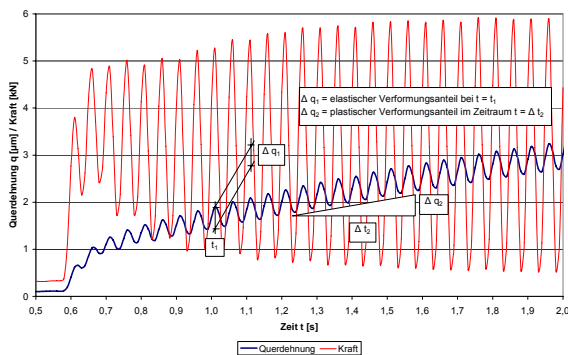
weitert.

Die Prüfmaschine ist für die Durchführung von Druck- und Zugversuchen mit statischer, insbesondere aber dynamischer Belastung ausgelegt. Der hydrostatisch gelagerte Servozyylinder erlaubt dynamische Prüfungen mit einer Belastungsfrequenz von bis zu 60 Hz bei einer Höchstlast von 50 kN. Dies entspricht der 60-fachen Aufbringung einer Masse von 5000 kg in einem Zeitraum von einer Sekunde. Derart hohe Belastungsfrequenzen werden zur Nachbildung der tatsächlichen Beanspruchung der Straßenbefestigung bei wiederholter Überfahrt durch Kraftfahrzeuge mit hoher Geschwindigkeit im Laboratorium benötigt.



Da das Verhalten des Bindemittels Bitumen stark von der Temperatur beeinflusst wird, verfügt die Prüfmaschine über eine integrierte Klimakammer. Die Probekörper können so in einem Bereich von  $-25\text{ °C}$  bis  $+80\text{ °C}$  temperiert werden.

Die Steifigkeit der geprüften Asphalte wird aus der bei vertikaler Druckbelastung entstehenden elastischen Querdehnung mit der indirekten Zugprüfung an zylindrischen Probekörpern ermittelt. Für das Ermüdungsverhalten sind die bei einer Oberlast gemessene Querdehnung und die Anzahl der Lastwechsel bis zum Versagen des Probekörpers maßgeblich. Die Steuerungssoftware ermöglicht darüber hinaus frei gestaltbare Versuchabläufe mit frei definierbaren Abbruch- und Steuerkriterien.



Damit ist der Lehrstuhl für Verkehrswegebau in der Lage, bemessungsrelevante Materialeigenschaften mit höchster Präzision auch für numerische Betrachtungen zu bestimmen.

## KIB-Gemeinschaftseinrichtung Konstruktionsprüfung (KIB-KON)

### Experimentelle Untersuchungen zum Schubtragverhalten bewehrter Elastomerlager unter Tieftemperaturbeanspruchung

Bewehrte Elastomerlager haben sich zur sicheren Lasteinleitung von Eigen- und Verkehrslasten eines

Bauwerkes in eine Unterkonstruktion bewährt. Durch die gummielastischen Eigenschaften des Materials kann ein Elastomerlager Verformungen und Verdrehungen realisieren, ohne dass Schäden am Lager oder Bauwerk entstehen. Die rückwirkenden Kräfte sind von besonderem Interesse, da sie Einfluss auf das gelagerte statische System sowie einzelne Elemente des Lagers und der Anschlusskonstruktionen haben.



Bild 1: Bewehrte Elastomerlager unter Druck- und Schubbeanspruchung

Rückwirkende Kräfte und andere Lagerkennwerte von bewehrten Elastomerlagern wie Schubmodul, Schubverbund, Drucksteifigkeit oder Verdrehwiderstand werden experimentell ermittelt. Dabei spielt die Umgebungstemperatur eine wesentliche Rolle. Durch die bei Kunststoffen vorhandene Glasübergangstemperatur und die damit einhergehende Reduzierung der Elastizität bzw. Versprödung des Werkstoffes ändert sich das Tragverhalten dieser Bauteile signifikant. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die angeschlossenen Bauteile um ein Vielfaches.

Versuche an Elastomerlagern werden nach DIN EN 1337, Teil 3 durchgeführt. Dabei darf der Schubmodul bei tiefen und sehr tiefen Temperaturen ( $-25\text{ °C}$  bzw.  $-40\text{ °C}$ ) den 3-fachen Wert des bei Raumtemperatur ermittelten Schubmoduls nicht überschreiten. Sowohl Tieftemperaturversuche in anderen Beanspruchungsrichtungen als auch theoretische Abhandlungen über den Werkstoff Elastomer lassen vermuten, dass diese Anforderung nicht zu erfüllen ist.

Im Bereich Konstruktionsprüfung des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau wird derzeit das Tragverhalten bewehrter Elastomerlager unter Schubbeanspruchung untersucht. In einer breit angelegten Versuchsreihe ist vor allem der Einfluss der Temperatur von Interesse. Durch den Einsatz von flüssigem Stickstoff und festem Kohlenstoffdioxid (Trockeneis) können Temperaturen am Bauteil von bis zu  $-60\text{ °C}$  realisiert werden. Für die Versuchsdurchführung kommen zwei servohydrauli-

sche Zylinder mit einer Maximalkraft von 2500 kN und 1000 kN zum Einsatz.



Bild 2: Versuchsdurchführung unter Einsatz von Flüssigstickstoff

Erste Ergebnisse bestätigen, dass der Steifigkeitsanstieg im Bereich der Glasübergangstemperatur des Elastomers deutlich größer ausfällt, als er nach DIN EN 1337 normativ geregelt ist.

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Tobias Block, Bereich Konstruktionsteilprüfung, [www.rub.de/kib-kon](http://www.rub.de/kib-kon)

## Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik

### Neue Ansätze zur Sicherheitsüberprüfung von Talsperren

Die Sicherheit des Absperrbauwerkes von Talsperren hängt stark von den Annahmen zur möglichen Hochwasserbelastung ab. Nach DIN 19700 werden die unterschiedlichen Bemessungsfälle (Dimensionierung der Hochwasserentlastung, Standsicherheit der Mauer) meist durch Bemessungshochwasser bestimmt, deren Jährlichkeiten durch die Überschreitungswahrscheinlichkeit der Scheitel charakterisiert werden. Dabei sind sehr geringe Wahrscheinlichkeiten von  $10^{-3}$  bzw.  $10^{-4}$  vorgegeben. Erfahrungen, z. B. aus dem Augusthochwasser 2002 in der Elbe, belegen, dass auch andere, unter Umständen kritischere Lastfälle berücksichtigt werden sollten, die sich aus der Kombination einer extremen Hochwasserfülle (Abflusssumme) mit einer ungünstigen Form der Hochwasserwelle ergeben können. Im Rahmen von Untersuchungen zum Hochwasserrisikomanagement in großen deutschen Flussgebieten wurde mit Förderung durch das BMBF am Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik ein neuer Ansatz entwickelt, um die hydrologischen Belastungen multivariat, d.h. unter gemeinsamer Berücksichtigung mehrerer Eigenschaften des Bemessungshochwassers, abzubilden. Dabei wird nicht nur der Hochwasserscheitel, son-

dern auch das gleichzeitig auftretende Volumen der Hochwasserwelle statistisch bewertet. Die statistische Beschreibung dieser gekoppelten Zufallsgrößen erfolgt mit einer sogenannten „Copula“, einem relativ neuen statistischen Ansatz, der auf der Berücksichtigung von Korrelationen beider Zufallsgrößen beruht. Im Unterschied zur bisher genutzten multivariaten Statistik wird dabei nicht vorausgesetzt, dass die Randverteilungen den gleichen Typ der Verteilungsfunktion aufweisen. Da die Datenbasis beobachteter Hochwasser für die Ableitung derartiger Beziehungen in der Regel nicht ausreicht, werden durch stochastisch-deterministische Simulationen zunächst im größeren Umfang Hochwasserereignisse simuliert, die dann statistisch ausgewertet werden. Im Ergebnis können kritische Lastfälle für Talsperren ausgewählt und in ihrer Wahrscheinlichkeit bewertet werden. Ein Beispiel für die Talsperre Straußfurt in Thüringen ist im nachfolgenden Bild dargestellt.

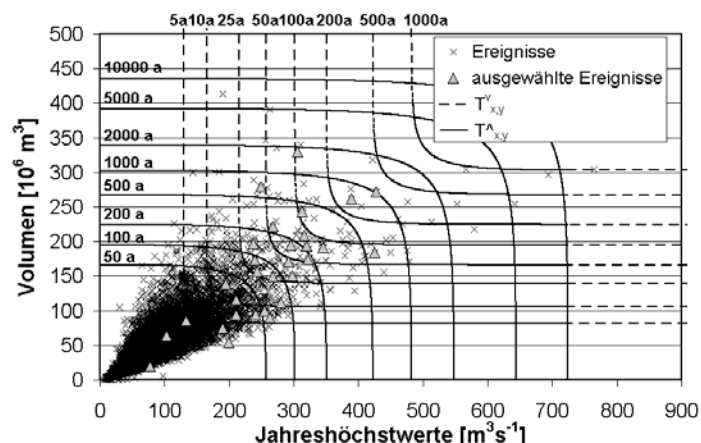


Bild 1: Gemeinsame statistische Wiederkehrintervalle  $T^v_{x,y}$  (Überschreiten von x oder y) und  $T^A_{x,y}$  (Überschreiten von x und y) für die Jahreshöchstwerte und die zugehörigen Füllen im Zufluss zur Talsperre Straußfurt in Thüringen

Bei der Betrachtung größerer Flussgebiete kann auf dieser Grundlage auch die Interaktion von Teilgebieten, deren Beiträge zu einem Hochwasserereignis ebenfalls durch den Copula-Ansatz verknüpft werden können, berücksichtigt werden. Da derartige Ergebnisse von den verwendeten Simulationsansätzen beeinflusst werden, handelt es sich dabei um unsichere Wahrscheinlichkeiten, die deshalb durch Verfahren der Fuzzy-Logik analysiert und verknüpft werden. Erfahrungen im Flussgebiet der Unstrut und der Wupper belegen, dass durch diese komplexere Untersuchungsmethodik das Hochwasserrisiko wesentlich besser als mit den derzeit gebräuchlichen Ansätzen zu charakterisieren ist.

## Statik und Dynamik

### Numerische Simulation des Tragverhaltens von Befestigungsmitteln in Holzspanplatten

Im Rahmen eines Kooperationsprojekts mit einem Industrieunternehmen wurde am Lehrstuhl für Statik und Dynamik ein Modell für die numerische Simulation des Tragverhaltens von Spreizdübeln in Holzspanplatten entwickelt. Ziel dieser Forschungen ist die Bereitstellung eines Werkzeugs, das die Optimierung von Befestigungsmitteln für den Möbelbau ohne aufwendige Herstellung von Prototypen hinsichtlich Tragfähigkeit und letztlich hinsichtlich Kosten ermöglichen soll. In dem 3D Simulationsmodell wird der gesamte Vorspann- und Auszugsprozess von Spreizdübeln in Holzspanplatten wirklichkeitsnah abgebildet. Dies umfasst neben einem wirklichkeitsnahen Materialmodell für das Spanplattenmaterial, das dem ausgeprägten anisotropen Charakter des Verformungs- und Versagensverhaltens und der Dichteabhängigkeit Rechnung die Berücksichtigung der Kinematik der Spreizen- und Dorn-Bewegung, von reibungsbehaftetem Kontakt entlang der Grenzfläche zwischen Spreize und der Innenwandung des Bohrlochs und der sehr großen lokalen Deformationen des Holzmaterials im Kontaktbereich, die eine laufende adaptive Anpassung des Finite Elemente Netzes erfordern. Eine wesentliche Grundlage des entwickelten Simulationsmodells für Spreizdübel ist ein realitätsnahes Werkstoffmodell für Holzspanplatten, das im Rahmen einer Dissertation bereits 2004 am Lehrstuhl für Statik und Dynamik entwickelt worden ist. Das auf Basis einer gekoppelten Plastizitäts- und Schädigungstheorie entwickelte Modell trägt den unterschiedlichen mikrostrukturel-

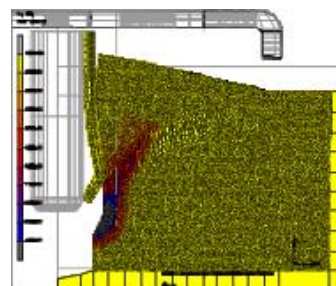
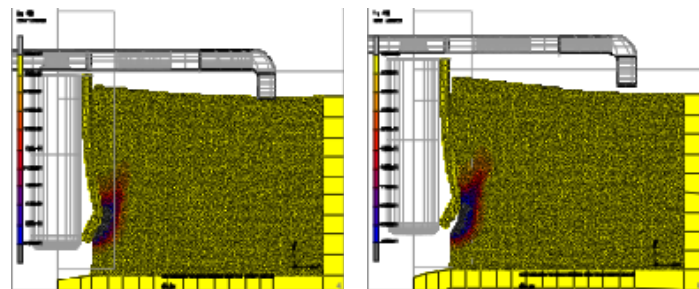


Spreizdübel nach einem Auszugsversuch

len Riss- bzw. Delaminationsprozessen sowie dem Scherversagen und duktilen Stauchungsvorgängen in und quer zur Plattenrichtung durch separate innere Variablen Rechnung.

Bei derartigen komplexen Dübelauszugsanalysen werden besondere Herausforderungen an die Robustheit der eingesetzten Algorithmen gestellt. Aus diesem Grund wurden im Rahmen neuerer For-

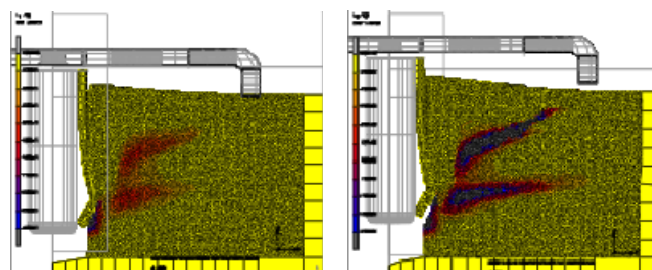
schungen numerische Algorithmen entwickelt, die eine weitgehende Stabilisierung der iterativen Algorithmen für die nichtlinearen Material- und Strukturroutinen gewährleisten. Erst mit diesen neuen Algorithmen war es möglich, numerische Analysen des Vorspann- und des Auszugsverhaltens von Spreizdübeln in Holzspanplatten bis weit über die Traglast hinaus durchzuführen. Die folgenden Bilder zeigen die Entwicklung der bleibenden Stauchungszonen in Plattenebene im Bereich der (sich laufend verändernden) Kontaktzone zwischen der Spreize und dem Bohrloch während der Vorspann- und der Auszugsphase.

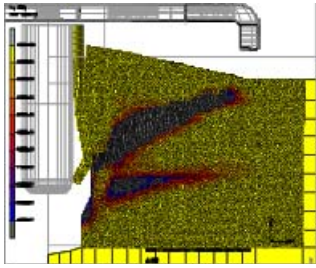


Entwicklung der inelastischen Stauchungen in der Plattenebene in der Vorspannphase (oben links) und der Auszugsphase (oben rechts und links)

Die Simulation zeigt sehr deutlich, wie, ausgehend von der erwähnten Kontaktzone, durch sukzessive Delamination der Holzspäne im Laufe des Auszugsprozesses zwei schräg verlaufende kegelförmige Risse entstehen. Einer der Risse bleibt allerdings stationär, während ein zweiter Riss sich weiter ausbreitet und schließlich einen ausgeprägten Ausbruchskegel mit einem Winkel von ca.  $25^\circ$  ausbildet. Ein solcher Kegel wurde auch in allen Auszugsversuchen beobachtet.

Besonders erfreulich ist die sehr gute Übereinstimmung der in den bisher durchgeführten numerischen Simulationen erhaltenen und der im Versuch ermittelten maximalen Dübelauszugskräfte, die eine maximale Abweichung von nur 11 % aufweisen.





Rissentwicklung und Entstehung eines Ausbruchkegels in der numerischen Simulation

Dies ist deshalb bemerkenswert, als die Versuche erst nach den numerischen Simulationen durchgeführt und ausgewertet worden sind. In diesem Sinne handelt es sich um eine echte „Class A“ Vorhersage, die die Verlässlichkeit des entwickelten 3D Simulationsmodells unter Beweis stellt.

## Was machen eigentlich unsere Absolventen?



**Markus Heckener, 43 J., Dipl.-Bauing.**

Ich studierte Bauingenieurwesen an der Ruhruniversität Bochum mit Vertiefungsrichtungen Verfahrenstechnik und Bauinformatik, bevor ich 1998 als Bauleiter im Straßen- und Tiefbau meine Arbeit als Ingenieur aufnahm. Als Sohn eines Straßen- und Tiefbauunternehmers waren Berufswunsch und Studienrichtung bereits früh bestimmt. Nach Abitur und Bundeswehr hatte ich eine Ausbildung als Straßenbauer vorzeitig als Prüfungsbester mit Auszeichnung bestanden. Neben meinem Studium arbeitete ich im elterlichen Bauunternehmen und konnte somit Praxis und Theorie gut miteinander verbinden.

Als sich jedoch bald herausstellte, dass Wünsche und Vorstellungen eines Jungingenieurs über Organisationsabläufe und zeitgemäßes Bauen nur schwer oder gar nicht mit den Ansichten eines gestandenen Straßenbauermeisters übereinkamen, gründete ich im Jahr 2001 in wirtschaftlich eher schwierigen Zeiten die Firma Heckener Tiefbau GmbH & Co. KG. Seitdem bin ich im Kreis Recklinghausen und Umgebung mit Erfolg als Tiefbauunternehmer tätig. Schwerpunktmäßig arbeiten wir im Kanal-, Kabel- und Rohrleitungsbau. Zu den Leistungen meiner Firma zählen:

- Neubau/Reparatur/Sanierung von Schmutz- und Regenwasserkanälen
- Hausanschlüsse an Ver- und Entsorgungsnetze (in offener Bauweise oder im Bohrpressverfahren)
- Kabel- und Rohrleitungsbau (24-stündige Rufbereitschaft für Störungsfälle)

- Pflasterarbeiten in Beton- und Natursteinbauweise (Fußgängerzonen, Geh- und Radwege, Hofbefestigungen, Zufahrten, Parkplätze)
- Erschließungen
- Gebäudeabdichtungen
- Bituminöser Asphaltstraßenbau



Bild 1: Eindruck von einer Baustelle

Meine Auftraggeber sind: Regionale Versorgungsunternehmen, Unternehmen der Telekommunikation, Tiefbauämter der Städte, Wohnungsbaugesellschaften, Bauträger sowie Privatleute. Als Firmenchef sind die Anforderungen an mein Fachwissen als Bauingenieur nicht ausschließlich gefragt, jedoch äußerst hilfreich.

Natürlich ist mein Kalender jeden Tag randvoll. Aber Nietzsche wusste schon: „Wenn man viel hineinstecken hat, so hat ein Tag hundert Taschen.“ Die typischen Anforderungen meines Berufsalltages sind im Wesentlichen:

- Angebotskalkulation
- Verhandlungen mit Auftraggebern
- Koordination der Bauleitung
- Terminverfolgung und –kontrolle, Terminsteuerung, Koordination des Bauablaufs durch Soll-Ist-Vergleiche
- Nachtragerstellung – Nachtragsbearbeitung – und Verhandlungen
- Aufstellen der Leistungsbeschreibung zu Ingenieurverträgen, Vertragsverhandlungen,

Aufzeigen von Leistungsmängeln, Aufzeigen von Planungslücken.

- Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der Bauausführung in Form von Kosten-Nutzen-Berechnungen

Studium und Ausbildung bilden das Fundament für das berufliche Schaffen; dennoch kann ich mich nicht getrost zurücklehnen und auf einmalig erlerntes Fachwissen vertrauen. Für einen Unternehmer ist die Arbeit nach erbrachter Ingenieursleistung noch längst nicht beendet.

Ich empfehle nicht nur jedem, der die Selbstständigkeit nach dem Studium anstrebt, von vornherein den Bezug zur Praxis in entsprechenden Betrieben zu suchen und sich außer dem theoretischen Ingenieurwissen auch den hintergründigen Rechtswissenschaften zuzuwenden.

Denn eines ist sicher: In einen „Bauwagen“ gehören heutzutage neben Bauleiter und Kaufmann auch ein Jurist...

Ich wünsche allen Studenten des Studiengangs Bauingenieurwesen viel Erfolg und darf Ihnen versichern, dass ein interessanter und kurzweiliger Beruf auf Sie wartet.

## Liste der Professuren der Fakultät

Univ. Prof. Dr.-Ing. F. Stangenberg  
Stahlbeton- und Spannbetonbau  
(neu: Entwurf und Konstruktion – Massivbau)

Univ. Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher  
Baustofftechnik

Univ. Prof. Dr.-Ing. R. Kindmann  
Stahlbau- und Verbundbau

Univ. Prof. Dr. techn. G. Meschke  
Statik und Dynamik

Univ. Prof. Dr.-Ing. D. Hartmann  
Ingenieurinformatik im Bauwesen

Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Thewes  
Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb

Univ. Prof. Dr.-Ing. R. Höffer  
Aerodynamik und Strömungsmechanik im Bauwesen

Univ. Prof. Dr.-Ing. T. Schanz (ab 01.04.09)  
Grundbau und Bodenmechanik

Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Scherer  
Geodäsie

Univ. Prof. Dr. rer. nat. H. Stolpe  
Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen

Univ. Prof. Dr.-Ing. W. Brilon  
Verkehrswesen

Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg  
Verkehrswegebau

Univ. Prof. Dr. rer. nat. A. Schumann  
Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik

Univ. Prof. Dr.-Ing. H. Orth  
Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik

Univ. Prof. Dr.-Ing. o.-T. Bruhns  
Technische Mechanik  
(neu: Mechanik – Kontinuumsmechanik)

Univ. Prof. Dr. rer. nat. K. Hackl  
Allgemeine Mechanik

Univ. Prof. Dr.-Ing. T. Nestorović  
Mechanik adaptiver Systeme

## Kontakte und nähere Informationen

Nähere Informationen zu Forschung und Lehre sind unter der Fakultätshomepage <http://www.rub.de/fbi> zu finden. Die Leiter der Lehrstühle und Arbeitsgruppen stehen gerne für weitere Auskünfte zur Verfügung.

## Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:  
Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften,  
Ruhr Universität Bochum, 44780 Bochum