

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM



FAKULTÄT FÜR
BAU- UND UMWELT-
INGENIEURWISSENSCHAFTEN

RUB

NEWSLETTER 2018/1

FAKULTÄT FÜR BAU- UND
UMWELTINGENIEURWISSENSCHAFTEN



EDITORIAL



**SEHR GEEHRTE LESERIN,
SEHR GEEHRTER LESER,**
das Sommersemester 2018 verläuft für unsere Fakultät erfreulich erfolgreich: der Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft hat in seiner Sitzung am

18. Mai 2018 entschieden, den seit 2010 an unserer Universität beheimateten und unter der Leitung des Sprechers Prof. Dr. techn. Günther Meschke von unserer Fakultät mit Kollegen aus den Geowissenschaften betriebenen Sonderforschungsbereich 837, „Interaktionsmodelle im maschinellen Tunnelbau“, um weitere 4 Jahre zu verlängern. Damit wird die Laufzeit des Sonderforschungsbereiches insgesamt 12 Jahre betragen, was der maximalen Laufzeit entspricht. Wir gratulieren und bedanken uns bei dem gesamten Team für den großen Einsatz! Der Sonderforschungsbereich ist mit seinen 15 Teilprojekten und 35 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern – die meisten von ihnen Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler – für die Fakultät und die gesamte Universität ein bedeutender Forschungsverbund.

Des Weiteren ist es einem Team von Kolleginnen und Kollegen des Massivbaus an deutschen Universitäten unter der Koordination von Prof. Dr.-Ing. Peter Mark gelungen, ein Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit dem Titel „Adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsverfahren – Präzisions-schnellbau der Zukunft“ einzuwerben. Ein solches Programm erlaubt es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, thematische Anträge für Sachbeihilfen zur kooperierenden Forschung zu stellen. Unsere Fakultät trägt damit zur Schwerpunktsetzung bei der zukunftssträchtigen Bauforschung bei. Beide Forschungsverbünde spielen bei der Bewerbung der RUB im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes eine wichtige Rolle.

Zwei Ehrungen für langjährige Fakultätsangehörige darf ich auch nennen. Prof. Dr. rer. nat. Andreas Schumann ist am 8. Mai 2018 in Genf für seine Forschung im Bereich der Hydrologie mit der „Volker Medal“ ausgezeichnet worden. Die „International Association of Hydrological Sciences“ vergibt diese Ehrung seit 1979 zusammen mit der Unesco und der Weltorganisation für Meteorologie jährlich für Forschungsarbeiten mit besonders hoher gesellschaftlicher Relevanz.

Em. Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Niemann erhielt am 30. Mai 2018 am M.I.T. in Boston/USA die Jack E. Cermak Medaille der American Society of Civil Engineers (ASCE). Die Auszeichnung wird jährlich an eine Forscherin oder einen Forscher verliehen, die bzw. der herausragende Beiträge im Windingenieurwesen geleistet hat und gilt als eine der höchsten Auszeichnungen des ASCE. Sie erfolgte für die Einführung des Windingenieurwesens in die Praxis sowie für Prof. Niemanns Forschungen über die Interaktion von Wind und Konstruktion, die zu sicheren und zuverlässigen Ingenieurkonstruktionen führten.

Ganz offensichtlich gibt es also einiges zu feiern. Lassen Sie sich einladen, dies gemeinsam mit den Absolventinnen und Absolventen, den Studierenden, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, dem Kollegium und den Lehrbeauftragten sowie Gästen unser Fakultät anlässlich unserer Akademischen Jahresfeier am 7. Dezember 2018 ab 16:30h, wieder im Audimax, zu tun! Es gibt uns die gute Möglichkeit zu Gespräch und Austausch – Einladungen ergehen noch einmal separat. Zum Schluss wieder eine freundliche Bitte: wir freuen uns über Ihre Anmeldung im Alumni-Verzeichnis der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften an der Ruhr-Universität Bochum (<https://www.fbi.rub.de/fakultaet/alumni/anmelden.html.de>)!

**MIT BESTEN GRÜßEN,
IHR PROF. DR.-ING. RÜDIGER HÖFFER**

DIE FAKULTÄT GRATULIERT ZUR PROMOTION

- **Dr.-Ing. Nina von der Heiden** (Bild 1)
Kapazität und Verkehrsablauf in Arbeitsstellen auf Autobahnen
- **Dr.-Ing. Lars Knutzen** (Bild 2)
Geothermal and Spatial Coupled Site Selection for the Connection of Deep Geothermal Plants to Existing District Heating Networks on the Example of the Ruhr Metropolitan Region
- **Dr.-Ing. Elham Mahmoudi** (Bild 3)
Probabilistic analysis of a rock salt cavern with application to energy storage systems
- **Dr.-Ing. Christina Fust** (Bild 4)
Zum Tragverhalten von gering querkraftbewehrten Stahlbetonbalken
- **Dr.-Ing. Peter Heek** (Bild 5)
Modellbildung und numerische Analysen zur Ermüdung von Stahlfaserbeton



Bild 1: Dr.-Ing. Nina von der Heiden



Bild 2: Dr.-Ing. Lars Knutzen



Bild 3: Dr.-Ing. Elham Mahmoudi



Bild 4: Dr.-Ing. Christina Fust



Bild 5: Dr.-Ing. Peter Heek

NEUES AUS DER FAKULTÄT

HERZLICH WILLKOMMEN

DIE GESUNDHEIT VON BAUWERKEN IM BLICK: KURZINTERVIEW MIT JUNIOR-PROFESSORIN DR.-ING. INKA MÜLLER

Seit Januar 2018 ist Dr.-Ing. Inka Müller Juniorprofessorin für Structural Health Monitoring an der Fakultät B+U. Bereits jetzt blickt die Nachwuchswissenschaftlerin auf eine regelrechte Bilderbuch-Karriere zurück: Nach dualem Bachelorstudium an der Universität Siegen und in der Entwicklungsabteilung der SMS group GmbH (ehemals SMS Siemag AG), absolvierte sie ihre Promotion am Lehrstuhl für Mechanik und Regelungstechnik – Mechatronik an der Universität Siegen – dies alles mit herausragenden Ergebnissen. Im Rahmen ihres Masterstudiums hatte sie zudem Gelegenheit, ihren kulturellen Horizont während eines Auslandsstudiums in Tokyo und eines Gastaufenthalts in Yokohama zu erweitern. Danach lernte sie als Referentin bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik die Wissenschaft aus Sicht der Forschungsförderung kennen. Dass sie trotz beeindruckender Fachkompetenz und Zielstrebigkeit nicht zum Lachen in den Keller geht und auch neben dem Fachlichen einiges zu erzählen hat, bewies sie in dem folgenden Kurzinterview.

Sie haben im vergangenen Wintersemester eine Juniorprofessur für Structural Health Monitoring hier an der Fakultät übernommen. Was versteht man darunter und wie fügt sich dieses Fachgebiet in das Forschungsprofil der Fakultät ein?

Structural Health Monitoring (SHM) hört sich immer so nach "Gesundheit" an, nicht wahr? Nun, im Grunde genommen ist es das auch – es geht um die Gesundheit von Strukturen, die kontinuierlich überwacht werden – also gemonitored, wenn Sie dieses Denglisch entschuldigen. Als Strukturen werden Systeme wie Brücken, Gebäude, Tunnel, aber auch Rohrleitungen, Windkraftanlagen oder Flugzeuge verstanden. Für die Zustandsüberwachung von Strukturen und Bauwerken über einen längeren Zeitraum nutzen wir SHMler permanent installierte Sensorik zur Datenaufnahme und ent-



Bild 1: Prof. Dr.-Ing. Inka Müller

wickeln automatisierte Methoden der Datenauswertung um eine Auskunft über den aktuellen Zustand, mögliche Schäden und Schadensorte etc. geben zu können. Die Methoden, die zu dieser Strukturüberwachung genutzt werden, sind mannigfaltig. Schwingungs- und wellenbasierte Methoden sowie insbesondere die Erforschung intelligenter Datenauswertemethoden bilden den Fokus meiner Arbeit und fügen sich exzellent in das Forschungsprofil der Fakultät ein. So sehe ich sowohl Anknüpfungspunkte im Bereich des maschinellen Tunnelbaus, als auch bei der Überwachung und Lebensdaueranalyse von Spannbetonbauwerken, Stahl- und Verbundbauten. Ein Ursprung des SHM ist die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, sodass ich auch hier vielversprechende Kooperationen in der Fakultät erwarte.

Wie sind Sie zum Ingenieurwesen gekommen? War es von klein auf Ihr Plan, in ein technisches Arbeitsfeld zu gehen?

Zu wissen, was die Welt im Innersten zusammenhält, war für mich immer interessant, aber nicht das Interessanteste. Tage, an denen ich zufrieden auf mein Tagwerk blicke, sind insbesondere die, an denen ich den Eindruck habe, etwas zu tun, was für unsere Gesellschaft gut ist bzw. sich in Zukunft positiv auswirken könnte. Die Ingenieurwissenschaften eignen sich dafür hervorragend. Grundlagenorientierte Forschung der

NEUES AUS DER FAKULTÄT HERZLICH WILLKOMMEN

Ingenieure generiert Erkenntnisgewinn, der für die Anwendung und damit unsere Gesellschaft einen Nutzen bringen kann und soll. Aus diesem Grund habe ich mich für ein ingenieurwissenschaftliches Studium und später für den Verbleib in der Wissenschaft entschieden.

Nun und was heißt "von klein auf"? Es hätte vielleicht auch Physik oder Informatik werden können – jedenfalls hatte ich nie das Ziel Industriekauffrau, Fremdsprachenkorrespondentin oder Grundschullehrerin zu werden – um mal ein bisschen die Klischees zu bemühen.

Stichwort Zukunftspläne: Was möchten Sie in den nächsten Jahren unbedingt verwirklichen?

Mein großes Ziel ist es, SHM-Systeme für die Anwendung fit zu machen. Ein schwerwiegendes Problem, beispielsweise für die Zertifizierung, liegt derzeit noch in der Quantifizierung der Zuverlässigkeit dieser Systeme. Dieses Problem verfolgt mich nun schon seit einigen Jahren, sodass ich hier unbedingt im Sinne des Nutzens für un-

sere Gesellschaft an neuen Methoden, die Zuverlässigkeit zu betrachten, forschen und diese zum Erfolg bringen möchte. Im Bereich der Forschung strebe ich außerdem an, SHM Systeme zu entwickeln, die robuster sind, da viele Methoden, die im Labor hervorragend funktionieren in der realen Anwendung an ihre Grenzen stoßen.

Nicht zuletzt ist mir eine gute Lehre sehr wichtig. Ich möchte unsere Studierenden so unterrichten und betreuen, dass sie SHM Systeme, die Ihnen beispielsweise in einem Brückensanierungsprojekt angeboten werden, beurteilen können. Unsere Studierenden von heute werden – angeregt von Schlagworten wie Digitalisierung und zustandsbasierte Überwachung und Wartung – in Zukunft deutlich stärker über den kompletten Bauwerkslebenszyklus mit Monitoringstrategien konfrontiert sein. Dafür möchte ich unsere Studierenden bestmöglich vorbereiten.

Interview: Julia Lippmann, M. A.

NEU GEGRÜNDET

FORUM FOR YOUNG ENGINEERING PROFESSIONALS

„Das gibt es nicht? Dann gründen wir es eben selbst!“ sagten sich im Herbst 2017 ein siebenköpfiges Doktoranden-Team des SFB 837 – bestehend aus M.Sc. Alena Conrads, M.Sc. Sascha Freimann, M.Sc. Vojtech Gall, M.Sc. Peter Hoffmann, M.Sc. Ivan Popovic, M.Sc. Markus Scheffer und M.Sc. Zdenek Zizka – und initiierten ein deutschlandweites Netzwerk für Jungingenieurinnen und Jungingenieure im Tunnelbau, das „Forum For Young Engineering Professionals“ (FYEP).

Am ersten FYEP-Treffen im Dezember 2017 kamen bereits über 100 Teilnehmende aus allen Bereichen der Tunnelbauindustrie und zahlreicher Hochschulen zusammen.

Am 13.04.2018 veranstaltete das Forum For Young Engineering Professionals seinen ersten Workshop an der RUB zum Thema „Digitalisierung im Tunnelbau“. Unterstützt würde die Veranstaltung von der Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen (STUVA) und dem SFB 837.

Im Dachverband STUVA schließt das FYEP somit eine Lücke zwischen Studium, Karriere und der Mitarbeit in Expertengremien. Außerdem agiert das Forum als Schnittstelle, indem es Infos von der Verbandsspitze nach unten weitergibt und andersherum für frische Ideen und Impulse im Bauwesen sorgt. Zentral sind zudem der Netzwerkgedanke und die soziale Komponente: Das Forum orientiert sich an ähnlichen Vereinigun-

NEUES AUS DER FAKULTÄT NEU GEGRÜNDET

gen in Großbritannien und der Schweiz und kooperiert mit diesen. Es ist offen für Nachwuchskräfte aus allen Bereichen des Tunnelbaus – das beinhaltet sowohl Studierende, in der Wirtschaft beschäftigte Ingenieurinnen und Ingenieure, junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaft-

ler und alle sonstigen in der Tunnelbranche Beschäftigten zwischen 18 und 35.

Neue Mitglieder sind jederzeit herzlich willkommen. Interessierte wenden sich per E-Mail an yep@stuva.de oder telefonisch an 0234 32 28166.



Bild 1: Gruppenfoto der jungen Ingenieurinnen und Ingenieure beim ersten Treffen des Forums For Young Engineering Professionals

PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

HUMBOLDT-FORSCHUNGS- PREIS FÜR PROF. GOVINDJEE

Prof. Sanjay Govindjee von der University of California, Berkeley, hat den sehr renommierten Forschungspreis der Alexander von Humboldt-Stiftung verliehen bekommen. Mit dem Preis werden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für ihr bisheriges Gesamtschaffen ausgezeichnet, deren grundlegende Entdeckungen, Erkenntnisse oder neue Theorien das eigene Fachgebiet nachhaltig geprägt haben und von denen auch in der Zukunft weitere Spitzenleistungen erwartet werden können. Der Preis ist mit 60.000 Euro dotiert. Prof. Govindjee wurde von Prof. Hackl für den Preis nominiert, da eine langjährige fruchtbare Kooperation mit dem Lehrstuhl für Mechanik-Materialtheorie besteht. Er wird im Rahmen des Forschungspreises im Jahre 2018 fünf Monate am Lehrstuhl zu Gast sein.



Bild 1: Prof. Sanjay Govindjee

Prof. Govindjee ist Inhaber der renommierten „Horace, Dorothy, and Katherine Johnson Professur“ an der Faculty of Civil and Environmental Engineering in Berkeley. Er ist einer der weltweit führenden Wissenschaftler auf dem Gebiet der numerischen Modellierung von inelastischen Prozessen in Materialien und der Anwendung auf sogenannte „Smart Materials“. Einen Namen gemacht hat er sich insbesondere mit seinen Arbeiten über Polymere und Formgedächtnislegierungen. Während seines Aufenthaltes möchte er zusammen mit Prof. Hackl an variationellen Methoden für effektive Modelle von Systemen mit dissipativen Mechanismen forschen.

NEUES AUS DER FAKULTÄT

PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

KEMNA-PREIS 2017

Am 9. Januar 2018 wurde dem Preisträger Lars Büteröwe, M. Sc. von Dr.-Ing. Lars Neutag und Dipl.-Ing. Marco Schünemann von der Kemna Bau Andreae GmbH & Co. KG der Preis für seine Masterarbeit mit dem Titel „Einfluss der Bindemittelmodifikation auf den Verformungswiderstand und die Kälteflexibilität von Gussasphalt“ übergeben. Der KEMNA-Preis wird von der KEMNA-Unternehmensgruppe für herausragende Masterarbeiten im Asphaltstraßenbau vergeben. Themenschwerpunkte sind alle innovativen Ansätze zur Optimierung des Systems "Asphaltbefestigungen". Bewertet werden zu gleichen Teilen die Aktualität und die Praxisrelevanz der Arbeit.



Bild 1: v.l.n.r. Prof. Martin Radenberg, Dipl.-Ing. Marco Schünemann, der Preissträger Lars Büteröwe und Dr.-Ing. Lars Neutag

EUROVIA STRASSENBAUPREIS 2017

Für seine Masterarbeit mit dem Titel „Charakterisierung des Ermüdungsverhaltens von Asphalt – Vergleich der spanischen und deutschen Methoden“ wurde Kevin Förster, M. Sc. am 29. Januar 2018 von Dr. Knut Johannsen mit dem EUROVIA Straßenbaupreis ausgezeichnet. Die Eurovia GmbH verleiht für herausragende Bachelor- und Masterarbeiten sowie Dissertationen mit Bezug zum Verkehrswegebau, die an der Ruhr-Universität Bochum entstanden sind, den EUROVIA-Straßenbau-Preis. Die Verleihung erfolgt in der Regel seit 2003 jährlich für eine durch die Auswahlkommission zu bestimmende Arbeit auf dem Gebiet des Verkehrswegebbaus.



Bild 1: v.l.n.r. Prof. Martin Radenberg, der Preissträger Kevin Förster und Dr. Knut Johannsen

NEUES AUS DEN EINRICHTUNGEN

PROJEKTBURO BAUEN UND UMWELT (PBU)

Neben dem dauerhaften Angebot der wissenschaftlichen Betreuung von Studierenden im Rahmen von Projekt- und Abschlussarbeiten werden über das Projektbüro Bauen und Umwelt (PBU) auch verschiedene Lehr- und Veranstaltungsfor-

mate angeboten. Dazu gehört seit April 2017 auch das Nachhaltigkeitsforum RUB, in dessen Rahmen ein interdisziplinärer Austausch zu Nachhaltigkeitsthemen stattfindet und über das bereits verschiedene Projekte angestoßen wurden.

NEUES AUS DEN EINRICHTUNGEN

PROJEKTBURO BAUEN UND UMWELT (PBU)

Nachhaltigkeitsforum RUB

Studierende an der RUB werden innerhalb ihrer Fachbereiche an der RUB sehr gut ausgebildet. Sie erlernen die Grundlagen, die Anwendung erprobter Verfahren und gegebenenfalls die (angeleitete) Weiterentwicklung von Verfahren (z.B. im Rahmen von Projekt- und Abschlussarbeiten). Nicht selten ist die zu bestehende Prüfungsleistung Motivation für das Erlernen der Verfahren. Dabei wird aus Zeitgründen oft der Hintergrund bzw. das „Warum“ und somit die Position innerhalb komplexer Problemzusammenhänge ausgeklammert. Um diese Frage aufzugreifen und bestenfalls zu bewirken, dass die eigenen Möglichkeiten der nachhaltigen Mitgestaltung erkannt werden, konnte im Laufe des vergangenen Jahres erstmalig eine Art Forum geschaffen werden, in dem mit fachlichem Input und in lockerer Runde das Interesse von Studierenden an der Teilnahme von Entwicklungsprozessen geweckt wird.

Entwicklung des Nachhaltigkeitsforums

Nachdem Ende 2016 ein Antrag zur Förderung des „Nachhaltigkeitsforum RUB: Zukunftsfähiges Gestalten in Umwelt, Wissenschaft und Gesellschaft“ eingereicht und im Januar 2017 im Rahmen des RUB-Förderungsprogramms „Forschendes Lernen“ bewilligt wurde, konnte mit dem sukzessiven Aufbau begonnen werden.

Eine Palette an Themen mit ökologischem Nachhaltigkeitsbezug wurde vorgeschlagen, weitere Themenvorschläge eingebracht und so bildeten sich neben einer wachsenden Zahl an generell Interessierten auch unterschiedliche Gruppen heraus, die verschiedene Themen verstärkt unter die Lupe nahmen. In regelmäßigen Abständen fanden ab April 2017 mehrere zwei- bis dreistündige Kolloquien statt, bei denen sich Gruppen von 15 bis 25 Personen über Impulsvorträge zu verschiedenen Themen informieren ließen und weitere Themen diskutierten. Die Themen, das Diskussionsformat und auch die strukturellen Rahmenbedingungen wurden im stetigen Austausch mit allen Teilneh-

menden abgestimmt und weiterentwickelt. Neben der Abstimmung eines gemeinsamen Selbstverständnisses, an dem sich das Forum und das Organisationsteam orientieren können, wurde aus dem TN-Kreis heraus in einem mehrstufigen Entscheidungsprozess ein Logo entwickelt.



Selbstverständnis

Inhaltlich	Politisch	Auftreten
• Wissenschaftlicher Grundkonsens • Fokus Ökologie • Mindeststandards (Qualität/Beurteilung)	• unabhängig • überparteilich • technologieoffen	• freundlich, offen • progressiv • professionell

Bild 1: Erstelltes Logo & abgestimmtes Selbstverständnis des Nachhaltigkeitsforums

Darüber hinaus entstanden zwei Arbeitsgruppen (UrbanGardening und BioAbfall), Projektziele wurden identifiziert, Anträge für das inSTUDIES-Programm „initiativ handeln“ geschrieben, eingereicht, bewilligt und losgelegt, so dass die übliche Tagesordnung bei den anschließenden Kolloquien um weitere Programmpunkte anwuchs.

Den Auftakt zum Sommersemester 2017 machte schließlich eine Veranstaltung am 24.10.2017 für ein ausgeweitetes Publikum im Universitätsforum Ost. Vor circa 70 Teilnehmenden wurden zum einen das frisch aufgestellte Koordinationsteam sowie die Fahrpläne in den verschiedenen Arbeitskreisen vorgestellt. Zum anderen wurde durch Gäste aus Bochum, Essen, Dortmund und Wuppertal ein Einblick in unterschiedliche Herangehensweisen zum Thema „Alternative Wege der Stadtentwicklung“ gegeben.

Insbesondere in den letzten Monaten und Wochen des Jahres 2017 verstärkte sich die öffentliche Wahrnehmung des Nachhaltigkeitsforums, so dass sich nach der Teilnahme an verschiedenen externen Veranstaltungen mit

NEUES AUS DEN EINRICHTUNGEN PROJEKTBURO BAUEN UND UMWELT (PBU)



Bild 2: Titelbild der Veranstaltung (CC-BY-3.0)



Bild 3: Momentaufnahme der Veranstaltung „Alternative Wege der Stadtentwicklung“

Nachhaltigkeitsbezug im universitären Umfeld (Bochumer Nachhaltigkeitswoche/RUB, Bochumer Nachhaltigkeitstag/Hochschule Bochum) der Blick für 2018 gen Stadt richtet.

Eine Übersicht über die gut dokumentierten Aktivitäten lassen sich über den NHF-Blog nachverfolgen. Zum einjährigen Jubiläum des NHF

wurde darüber hinaus mit dem Jahresbericht 2017 ein Dokument erstellt, das die Entwicklungen und die vergangenen Aktivitäten in Verbindung mit interessanten Zahlen und Hintergrundfakten zusammenfasst.

Die angesprochenen Informationen finden sich unter: www.nachhaltigkeitsforum.wordpress.com

KONSTRUKTIONSTEILPRÜFUNG (KIBKON)

ERWEITERUNG DES PRÜF- UND WERKZEUG- MASCHINENPARKS IN DER KONSTRUKTIONS- TEILPRÜFUNG KIBKON

Neuanschaffung oder Modernisierung? Diese Frage stellte sich bei der elektro-mechanischen Universalprüfmaschine mit einer Prüfkapazität von 250 kN (Bild 1). Aufgrund ihrer äußerst robusten Bauart und des sehr guten Zustands der Spindeln wurde die Schenck-Trebel-Maschine aus dem Baujahr 1981 nicht ersetzt sondern generalüberholt. Dieser als Retrofit bezeichnete Prozess umfasste die Installation eines neuen, leistungsstarken und sehr präzise regelbaren Antriebsmotors, den Austausch der Verschleißkomponenten sowie insbesondere die Installation einer modernen digitalen Steuer- und Regleinheit der Firma Doli inklusive umfangreicher Software. Zusätzlich zum von der Firma Mahler Industrieservice durchgeführten Retrofit wurde

ein neuer Dehnungsaufnehmer des Typs MFA-3 installiert. Im Zusammenspiel mit der neuen digitalen Steuereinheit sind nun auch Versuche in echter Dehnungsregelung (closed-loop) möglich, wie sie z.B. in den aktuellen Richtlinien zu Zugprüfungen an Stahl und Metallen (z.B. DIN EN ISO 6892) gefordert werden. Neben einem umfangreichen Repertoire an vordefinierten Versuchsprozeduren nach aktuell gültigen

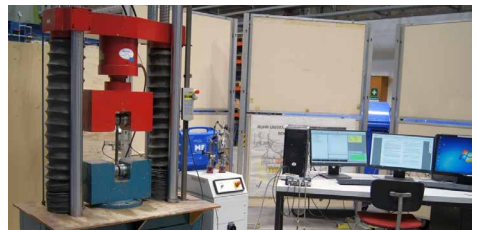


Bild 1: Modernisierte elektro-mechanische 250 kN-Universalprüfmaschine

NEUES AUS DEN EINRICHTUNGEN KONSTRUKTIONSTEILPRÜFUNG (KIBKON)

Richtlinien und Normen können nach dem erfolgreichen Abschluss der Modernisierungsmaßnahme nun auch individuelle, äußerst komplexe Versuchsprozeduren realisiert werden. Auf diese Weise wurde der Anwendungsbereich, insbesondere auch im Hinblick auf studentische Projekte des forschenden Lernens, maßgeblich erweitert. Aktuell befinden sich weitere Komponenten speziell für Versuche unter Hochtemperatureinfluss im Beschaffungsprozess, wodurch der Einsatzbereich der 250 kN-Maschine noch einmal maßgeblich erweitert wird.

Formoptimierung von Betonstrukturen, Optimierung von Tübbingen und von Sicherungsmaßnahmen im Tunnelbau, Tragverhalten und Anwendung mikrobewehrter UHPC, Tragfähigkeitsuntersuchungen unter Teilflächenbelastungen: Die (nicht vollständige) Auflistung aktueller Forschungsprojekte des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau belegt den hohen Stellenwert und das Innovationspotential von Hochleistungsbetonen. Ein gemeinsamer Nenner der hier angesiedelten interdisziplinären Lehr- und Forschungsaktivitäten ist die reproduzierbare Erfassung vergleichbarer Materialeigenschaften. Hochleistungsbetone mit Druckfestigkeiten jenseits von 100 MPa bis hin zu 200 MPa sowie ein äußerst sprödes Bruchverhalten stellen besondere Anforderungen an die Kapazität und Robustheit von Prüfmaschinen. Für die normgerechte Ermittlung der Materialeigenschaften insbesondere bei höherfesten und hochfesten Betonen sowie für die Vergleichbarkeit der Werkstoffe untereinander und auch im Vergleich zu anderen Prüflaboren wurde der Prüfmaschinenpark nun um eine robuste Druckprüfmaschine Alpha 2-5000 der Firma Form+Test mit einer maximalen Prüflast von 5000 kN erweitert (Bild 2, rechts). Die Prüfmaschine mit eigener Hydraulikversorgung verfügt über eine hochsensible Brucherkennung und ermöglicht so auch die kraftgeregelte Prüfung von Druck- und Spaltzugfestigkeiten äußerst spröder Materialien. Ein umfangreiches



Bild 2: Wasserstrahlchneidanlage (links) und 5000 kN-Druckprüfmaschine (rechts)

Zubehör für Spaltzug- und E-Modul-Prüfungen sowie Adaptierungen für unterschiedliche Probekörpergeometrien erweitern und komplettieren die neue Prüfeinheit. Mit vordefinierten Prüfprozeduren nach aktuellen Richtlinien und Regelwerken, einer umfangreichen, leistungsstarken Software sowie integrierten Automatikprogrammen für normgerechte Schnell- oder Serienprüfungen ist diese Prüfmaschine insbesondere für den interaktiven Einsatz in Lehrprojekten, Praktika und für studentische Projekt- und Abschlussarbeiten geeignet.

Sägen, schneiden, brennen oder fräsen? Die Konstruktion und Fertigung von Versuchskomponenten sowie die Modifizierung von Probekörpern selbst beginnt mit der Bearbeitung des Rohmaterials. Größere Bauteile, großformatige Probekörper und komplexere Geometrien stellen immer häufiger den vorhandenen Werkzeugmaschinenpark vor Herausforderungen. Zumal einige Bearbeitungsschritte unerwünschte Nebeneffekte verursachen, wie z.B. die signifikante Erwärmung des Materials. Beispielsweise für Eigenspannungsuntersuchungen im Stahlbau sind diese klassischen Trenn- und Bearbeitungsverfahren aufgrund ihrer Temperaturentwicklungen weniger geeignet.

Mit der Anschaffung der neuen Wasserstrahlchneidanlage (Bild 2, links) wurde nicht nur eine fertigungstechnische Lücke geschlossen, sondern wird ein vollkommen neues Feld an Fertigungsmöglichkeiten erschlossen. Der gro-

NEUES AUS DEN EINRICHTUNGEN KONSTRUKTIONSTEILPRÜFUNG (KIBKON)

ße Schneidbereich von 3000 x 2000 mm erlaubt neben den konventionellen Formaten auch die Bearbeitung von großformatigen Elementen wie Platten, Blechen oder großen Trägern. Neben Stahl können unterschiedlichste Metalle, Kunst- oder Faserwerkstoffe können ebenso geschnitten werden wie Beton oder Holz. Die hohen Schnitt-

genauigkeiten von bis zu 1/100 mm bei Materialdicken von mehr als 50 mm werden softwaregesteuert über einen schwenkbaren Schneidkopf mit Schnittwinkelfehlerausgleich erzielt. Das eigentliche Schneidwerkzeug der Anlage ist ein Wasserabrasivstrahl, der in der Lage ist, Stahlplatten mit Stärken bis zu 150 mm zu schneiden.

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN MASSIVBAU

OPTIMIERTE HYBRIDE TÜBBINGSYSTEME FÜR EINEN DAUERHAFTEN UND ROBUSTEN TUNNELAUSBAU

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 837 ‚Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau‘ an der Ruhr-Universität Bochum wird derzeit am Lehrstuhl für Massivbau die ganzheitliche Verbesserung eines einschaligen Tunnelausbaus mit Tübbings im Hinblick auf Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Robustheit angestrebt.

Aufgrund der Segmentierung bei dieser Ausbauparante und der damit einhergehenden hohen Anzahl an Fugen steht insbesondere deren Ausbildung im Fokus aktueller Betrachtungen. Durch die Kraftübertragung über eine begrenzte Kontaktfläche entsteht eine Teilflächenbelastung. Das Vermögen lokalen Effekten wie hohen Betondruckspannungen und einer Konzentration von Spaltzugspannungen im Lasteinleitungsbereich entgegenzuwirken, bestimmt maßgeblich die Leistungsfähigkeit des gesamten Ausbaus.

Dabei liegt in den Ring- und Längsfugen eine vorwiegend ebene Lastausbreitung der Druckspannungen vor. Gemäß DIN EN 1992-1-1 ist in diesen Fällen die zulässige Betondruckspannung auf die 1,1-fache Betondruckfestigkeit begrenzt, wohingegen bei einer räumlichen Lastausbreitung eine Erhöhung bis auf das 3-fache möglich ist. Die dem Ansatz zugrunde liegenden Versuchsdaten basieren dabei fast ausschließlich auf unbewehrten Betonkörpern. Es ist allerdings bekannt,

dass Laststeigerungen vorwiegend aus Umschnüpfungseffekten resultieren, welche durch entsprechende Bewehrungskonzepte zusätzlich unterstützt werden können. In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München wurden daher umfangreiche Versuchsreihen bis in den Realmaßstab durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Bewehrungskonzepte näher zu untersuchen. Hierbei konnten die laststeigernden Einflüsse der Bewehrungsart und -ausführung (Bügel sowie geschweißte Bewehrung) quantifiziert und in verbesserte Bemessungsansätze überführt werden. Es zeigte sich, dass höhere Beanspruchungen zulässig sind, wenn verformungsarme Bewehrungskonzepte mit einer gezielten Behinderung der Querdehnungen eingesetzt werden und auf die Bedingung der Flächenaffinität von Lasteinleitungs- und Lastausbreitungsfläche im Nachweis verzichtet wird.

Neben einer differenzierteren Betrachtung konventionell bewehrter Stahlbetonbauteile wurden des Weiteren verbesserte Konzepte für den Einsatz von Hochleistungsmaterialien an den kritischen Lastübertragungspunkten erarbeitet und experimentell untersucht. Als Grundlage dienten hierbei Entwürfe, welche mit Hilfe einer gekoppelten Kontinuums-Stabwerks Topologieoptimierung hergeleitet wurden (Bild 1). So zeigten sich zum einen geschweißte, den Hauptzugspannungstrajektorien folgende Spaltzugleitern und zum anderen robuste Kombinationsbewehrungen aus Stabstahl mit additi-

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN MASSIVBAU

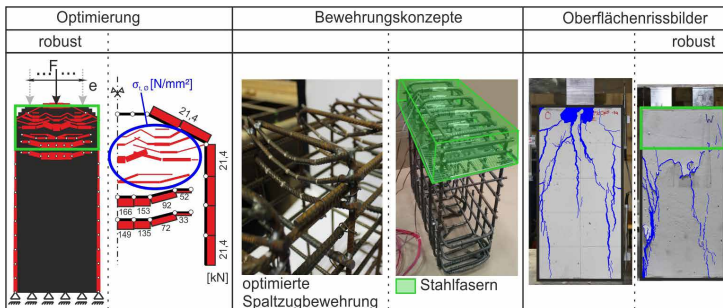


Bild 1: Optimierungsergebnis mit variabler Laststellung (links), passende Betonstahl- bzw. Kombinationsbewehrung (mittig), Rissbildung bei konventionellem bzw. robustem Bewehrungskonzept (rechts)

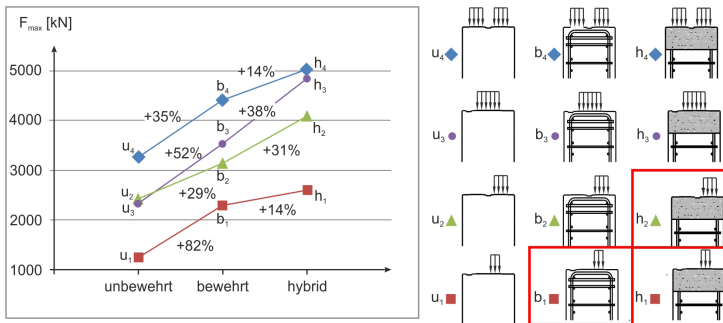


Bild 2: Optimierte hybride Bewehrungskonzepte (rechts) im Tragfähigkeitsvergleich (links)

ven Stahlfasercocktails als vorteilhaft. Diese wurden unbewehrten, bzw. konventionell bewehrten Bauteilen gegenübergestellt (Bild 2). Insbesondere die Verwendung von Stahlfasern ermöglicht dabei eine konsequente Bewehrung des Bauteils bis in die Betondeckung hinein und bietet somit die Möglichkeit von randnahen Lastenleitungen. Die Kombination aus Hochleistungsmaterialien und konstruktiven

Anpassungen, wie die Verlagerung der Dichtebene in die Bauteilmitte, ermöglichen deutliche Tragfähigkeitssteigerung (Bild 2). Im hier untersuchten Parameterraum betrugen diese bis zu 80 % im Vergleich zu normativ bewehrten Stahlbetonbauteilen. Die Ergebnisse unterstreichen somit das Potential von optimierungsgestützt entworfenen, bzw. dimensionierten Betonbauteilen.

BAUSTOFFTECHNIK

SEDIMENTATIONSSTABILITÄT VON FRISCHBETON

Moderner Beton ist ein vielseitiges anorganisches Material, dessen Eigenschaften in höchstem Maße von der richtigen Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien und einem fachgerechten Her-

stellungsprozess abhängig sind. Ein entscheidender Faktor ist die ausreichende Mischungsstabilität (auch Sedimentationsstabilität) während des Beton-einbaus, also die Fähigkeit des Betons unter den praxisüblichen Einwirkungen (Verdichten, Pum-

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

BAUSTOFFTECHNIK

pen, etc.) so homogen zu bleiben, dass die wesentlichen mechanischen und dauerhaftigkeitsrelevanten Festbetoneigenschaften nicht unzulässig beeinträchtigt werden. Ist diese nicht gegeben, äußert sich das in Sedimentationserscheinungen. Dazu zählen im Wesentlichen Wasserabsonderung an der Betonoberfläche („Bluten“), Leimanreicherung in der obersten Betonschicht und Absetzen der groben Gesteinskörnung. Aktuelle Schadensfälle zeigen, dass die Prüfung der Mischungsstabilität von Beton in der Praxis von höchster Wichtigkeit ist. Bisher existiert für plastische bis fließfähige Rüttelbetone jedoch kein einheitliches Prüfverfahren. Ziel dieses vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton geförderten Forschungsvorhabens ist es daher, sowohl die Sedimentationsneigung von Rüttelbetonen zu beurteilen als auch eine Versuchsanweisung zur Prüfung der Sedimentationsstabilität von Frischbeton zu erstellen.

Über die Variation von Leimgehalt und Konsistenz werden zunächst robuste sowie zur Entmischung neigende Betone hergestellt, welche mit einem Rütteltisch mit regelbarer Frequenz und Verdichtungsdauer bei gleichbleibender Amplitude verdichtet werden (Prototyp, s. Bild 1). Anschließend werden an diesen Betonen Versuche im Labor sowie Bauteilmaßstab durchgeführt. Zusätzlich werden die Betone durch übliche Frischbetonprüfungen (Ausbreitmaß, Luftgehalt, Bestimmung der Blutneigung und des Wassergehalts) charakterisiert. Das Ziel da-



Bild 1: Rütteltisch – Prototyp mit variabler Regelung der Verdichtungsparameter

bei ist es einzuschätzen, welche Kombination von Verdichtungsdauer und Frequenz bei welcher Betonzusammensetzung zur Entmischung führt und daraus eine Prüfanleitung für die Praxis abzuleiten, um die Sedimentationsstabilität fachgerecht beurteilen zu können. Als Prüfverfahren zur Beurteilung der Sedimentationsstabilität werden hier zwei Versuche verwendet, die von der DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ übernommen und angepasst werden. Beide beruhen darauf, Rohre (Höhe 500 mm, Innendurchmesser 150 mm) ohne Verdichtungseinwirkung vollständig mit Beton zu füllen und den Beton anschließend mit festgelegter Frequenz und Dauer zu verdichten. Die Beurteilung der Sedimentationsstabilität erfolgt, indem die Rohre in ihrer Höhe gedrittelt werden und die Abweichung des Anteils der groben Gesteinskörnung im oberen Drittel vom Mittelwert bestimmt wird. Als nicht sedimentationsstabil gelten Betone bei denen diese Abweichung mehr als 20 % beträgt. Zum einen wird die Betonage eines Sedimentationsrohrs aus Kunststoff vorgesehen, welches die optische Beurteilung der Sedimentationsstabilität am Festbeton erlaubt. Dabei wird der erhärtete Beton in der Längsachse aufgesägt, um die Verteilung der groben Gesteinskörnung optisch auszuwerten. Die optische Auswertung stellt jedoch nur eine qualitative Beurteilung des Sedimentationsgrades dar. Besonders in nicht eindeutigen

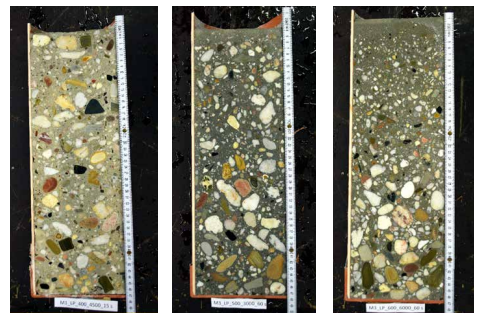


Bild 2: Schnittflächen verschiedener Betone: nicht sedimentiert (links), optisch nicht eindeutig bewertbar (Mitte), sedimentiert (rechts)

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

BAUSTOFFTECHNIK

Zuständen (vgl. Bild 2, Mitte) ist dieses Auswertungsverfahren zur Beurteilung der Sedimentationsstabilität ungenau. Abhilfe schafft ein am Lehrstuhl für Baustofftechnik entwickeltes computergestütztes Verfahren, das über eine Bildauswertung quantitativ die Anteile der einzelnen Gesteinskorngrößen im jeweiligen Rohrabchnitt bestimmt und mit dem Mittelwert vergleicht. Das Verfahren befindet sich derzeit in der Erprobung. Zum anderen kommt der sogenannte Auswaschversuch zur Anwendung. Hierbei wird ein dreiteiliger Sedimentationstopf aus Stahl (s. Bild 1) verwendet. Nach dem Verdichten des Betons wird der Topf in seine drei Teile geteilt, aus denen der Beton über Siebe mit den Maschenweiten 4, 8 und 16 mm ausgewaschen wird, um den Zementleim und die feine Gesteinskörnung zu entfernen (s. Bild 3). Über Wiegen der einzelnen Anteile kann der Massenunterschied an Gesteinskörnung im oberen Zylinderdrittel vom Mittelwert bestimmt werden. Zusätzlich erlaubt die Verwendung der unterschiedlichen Siebe eine Einschätzung, welche Korngröße sich als Indikator für eine ausreichende Sedimentationsstabilität eignet.

Die Mobilität des Rütteltisches erlaubt grundsätzlich die Ausführung beider Versuche auf der Baustelle. Da die Auswertung des Sedimentationsrohrs aber frühestens nach dem Erhärten, d.h. wenn auf der Baustelle der Beton längst einge-

baut ist, und im Fall der computergestützten Auswertung nur unter speziellen Randbedingungen durchgeführt werden kann, ist dieses Verfahren für einen Baustelleneinsatz eher ungeeignet. Die Auswertung des Auswaschversuchs hingegen ist unmittelbar und in baustellengeeigneter Zeit durchführbar. Über den Vergleich beider Versuche und der begleitenden Prüfungen sollen daher vor allem die Ergebnisse des Auswaschversuchs und seine Eignung zur Prüfung der Sedimentationsstabilität von Rüttelbetonen validiert werden. Maßgebend dafür ist auch die Verbesserung des Auswertungsverfahrens für Sedimentationsrohre, welches zukünftig auch für die Bestimmung des Sedimentationszustandes von Festbeton im Rahmen von Laboruntersuchungen herangezogen werden kann.



Bild 3: Auswaschversuch: Teilen des dreiteiligen Sedimentationstopfes (links), Auswaschen auf einem 4 mm Sieb (rechts)

MECHANIK ADAPTIVER SYSTEME

MESSSYSTEM ZUR VALIDIERUNG VON WELLENFORMINVERSIONSVERFAHREN

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 837 „Interaktionsmodelle im maschinellen Tunnelbau“ wurde für das Teilprojekt A2 (Entwicklung effektiver Konzepte der Vorauserkundung im Tunnelbau mittels akustischer Verfahren) ein Experiment aufgebaut (Bild 1), das die Untersu-

chung der Ultraschall-Wellenausbreitung in verschiedenen Materialien ermöglicht und somit die Validierung bereits entwickelter Wellenforminversionsverfahren zur Vorauserkundung sicherstellen soll. Das Herzstück des Versuchs ist ein Laserinterferometer (BNT QUARTET-500), das, gesteuert von einem Positionierungssystem, die Wellenformen bzw. Verschiebungen mit einer

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

MECHANIK ADAPTIVER SYSTEME

Auflösung von 1×10^{-5} nm erfassen kann. Die Anregung elastischer Wellen erfolgt mit Ultraschallprüfköpfen in einem Frequenzbereich zwischen ca. 50 kHz und 2 MHz. Um das Hintergrundrauschen zu verringern und Fehler durch äußere Einflüsse zu vermeiden, wird ein optischer Tisch verwendet, der den Versuchsaufbau auf einem Luftkissen hält. Angesteuert werden sämtliche Komponenten über eine selbstprogrammierte Software. Diese ermöglicht die Anregung mit beliebigen Signalen und automatisierte Messungen entlang der vordefinierten Achsen.



Bild 1: Aufbau des Laborexperiments zur Validierung der Vorauskundungsmethoden

VALIDIERUNG VON WELLENFORM-INVERSIONSVERRAHREN

Anhand einer Aluminiumprobe mit einer Bohrung wurde eine erste Validierung des entwickelten Wellenforminversionsverfahrens durchgeführt (Bild 2). Ziel war hier die Lokalisierung der Bohrung anhand der Messergebnisse des Lasers, der entlang einer Achse gemessen hat – schematisch dargestellt durch die grüne Linie in Bild 2, links. Die Anregung erfolgte durch einen durch den roten Block gekennzeichneten Ultraschallprüfkopf. Der rechte Teil in Bild 2 zeigt das Ergebnis der Iterationen des zu validierenden Algorithmus auf einer Misfit-Karte, die durch vorherige Monte-Carlo-Simulationen bestimmt wurde. Die

farbigen Bereiche kennzeichnen die Intervalle der Zielfunktion, die als quadratisches Fehlerintegral der gemessenen und der numerischen Wellenformen bestimmt wird. Inversionsziel ist es, das globale Minimum zu finden (Koordinaten der Bohrung, gekennzeichnet durch den roten Punkt), das im dunkelblauen Bereich liegt. Es wird deutlich, dass der Algorithmus in der Lage ist, das Minimum zu finden, obwohl der Bereich in der Nähe des globalen Minimums sehr schwach ausgeprägt ist. Dies liegt an der nicht-deterministischen Natur des entwickelten hybriden Algorithmus, der das Unscented Kalman Filter (UKF) mit der Methode der simulierten Abkühlung (Simulated Annealing – SA) kombiniert.

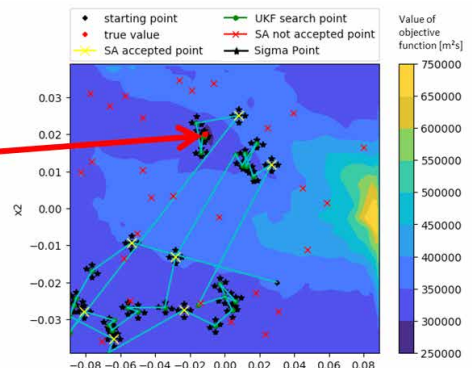
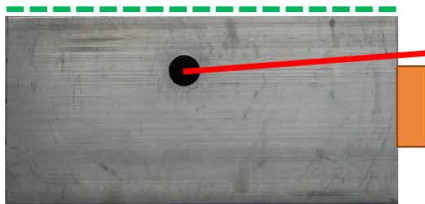


Bild 2: Darstellung des Experimentes (links) und der Iterationen im Wellenforminversionsverfahren (rechts)

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

TUNNELBAU, LEITUNGSBAU UND BAUBETRIEB

ERHÖHUNG DER RESILIENZ UNTERIRDISCHER ÖPNV-SYSTEME ZUR GEWÄHRLEISTUNG DER VERFÜGBARKEIT

In den deutschen und französischen Metropolen und Großstädten ist der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV), das Rückgrat der Mobilität der Bürgerinnen und Bürger, vor allem gestützt auf die unterirdische Infrastruktur. Die Verkehrsnetze der U-Bahnen sind zumeist gut entwickelt und weisen teils komplexe Drehscheiben mit intermodalen Verknüpfungspunkten auf, die von einer großen Anzahl von Menschen täglich genutzt werden. Bei Ausfall dieser Systeme droht oftmals der oberirdische Verkehrskollaps oder zumindest eine umfänglich und nachhaltige Beeinträchtigung der Verkehrsqualität für eine mehr oder minder unbestimmte Dauer. Die Verfügbarkeit dieser wichtigen Verkehrsträger kann infolge einer Vielzahl denkbarer Bedrohungen und Ereignisse (z. B. Kriminalität, Terrorismus, technische Großunfälle, Naturgewalten) empfindlich gestört werden oder gar verloren gehen. Entsprechendes haben nicht zuletzt die verheerenden Bombenanschläge auf die Brüsseler U-Bahn-Station „Maelbeek“ im März 2016, die Anschläge auf drei Züge der Londoner U-Bahn im Juli 2005 (sogenannte 7/7-Bombings) oder der Brand in der Berliner U-Bahn-Station „Deutsche Oper“ vor einigen Jahren bestätigt.

U-THREAT ist ein Forschungsprojekt, das vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der französischen Agence

Nationale de la Recherche (ANR) im Rahmen einer bilateralen Kooperation im Bereich „Forschung für die zivile Sicherheit“ von 2017 bis 2020 gefördert wird. Ziel des Projekts ist es, Konzepte und technische Lösungen zu erarbeiten, um nach einem Vorfall rasch in einem zunächst eingeschränkten Modus weiterfahren und anschließend zum Normalbetrieb zurückkehren zu können. Vorkehrungen für Bedrohungen und Ereignisse für U-Bahnsysteme existieren zwar auf einem Makrolevel bereits, beispielsweise in Form von Katastrophenabwehrplänen, jedoch fehlt es nahezu allen ÖPNV-Unternehmen in Frankreich und Deutschland an spezifischen Kenntnissen, um die Resilienz dieses wichtigen Verkehrsträgers zu erhöhen. Die Resilienz bezeichnet hierbei die Fähigkeit eines technischen Systems, bei Störungen bzw. Teilausfällen nicht vollständig zu versagen, sondern wesentliche Vorgänge aufrechtzuerhalten. U-THREAT strebt hierbei an diese Lücke zu schließen und geeignete Methoden, Konzepte und Maßnahmen unter Berücksichtigung heterogener Randbedingungen, zu denen der unterschiedliche Aufbau verschiedener deutscher und französischer Städte sowie deren ÖPNV-Netze zählen, zu entwickeln. In einem ganzheitlichen Ansatz wird die Erhöhung der Resilienz für die drei maßgeblichen Bereiche Betrieb, Bauwerk und Nutzer betrachtet. Grundlage hierbei bildet ein Bewertungsschema, mit dem die Verwundbarkeit von Abschnitten des U-Bahn-Netzes und einzelner Stationen ermittelt werden können. Im Anschluss werden die Konzepte und Maßnahmen an realen



Bild 1: Kick-Off Meeting des bilateralen Projekts U-THREAT in Düsseldorf

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

TUNNELBAU, LEITUNGSBAU UND BAUBETRIEB

ÖPNV-Systemen in Deutschland und Frankreich angewendet und evaluiert. Das deutsch-französische Forschungskonsortium besteht aus Forschungsinstituten, Unternehmen und Endanwendern, die seit vielen Jahren an Lösungen zur Erhöhung der Sicherheit im öffentlichen Verkehr forschen. Insgesamt zählen vier deutsche und vier französische Partner sowie vier weitere assoziierte Partner zu dem Konsortium. Der Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb (TLB) konnte bereits in der Vergangenheit durch Projekte wie SKRIBT, SKRIBT+ und SO-

LIT² Erfahrungen im Bereich der Tunnelsicherheit und der Lebenszyklusrechnung sammeln und wird im Zuge von U-THREAT maßgeblich an der Entwicklung einer Methodik zur Analyse der Verwundbarkeit sowie der strukturellen Bauwerksuntersuchung und einer Lebenszyklusbeurteilung beteiligt sein.

Im Rahmen von zahlreichen Projekttreffen wurde bereits eine Datenbank möglicher Bedrohungsszenarien entwickelt und der wissenschaftliche Ausgangspunkt von U-THREAT identifiziert.

STATIK UND DYNAMIK

COMPUTATIONAL SIMULATION OF HYDRAULIC FRACTURING FOR THE STIMULATION OF DEEP GEOTHERMAL RESERVOIRS

The need for cost-effective, sustainable and environmentally friendly sources of renewable energy has become a strong source of motivation for research into geothermal energy. Geothermal energy is the thermal energy stored in deep subsurface reservoirs. To harness this energy, hydraulic fractures are induced in the geomechanical reservoirs, enhancing the permeability of the reservoir by selectively modifying the transport properties of the system. Hydraulic fractures are typically man-made; resulting from internal pressure on the fracture faces, following the injection of a viscous fluid from a borehole. Due to the difficulty in accessing direct information regarding the evolution of fractures in deep geothermal reservoirs, mathematical and numerical modeling of hydraulic fracturing plays an important role in predicting fracture propagation through hydraulic stimulation. Hydraulic fracture propagation is based on at least three physical processes: Fluid flow within the fracture imposes a pressure load on the fracture surfaces. As a result, the rock undergoes a mechanical deformation and the fracture begins to propagate when a critical condition is reached.

Two new models for hydraulic fracturing simulations, both based on an assumption of the fracture growth along zero-thickness interface finite elements, are developed at the Institute for Structural Mechanics at Ruhr University Bochum in the context of the Collaborative research Project "SHynergie". The first fracture model is a new variational poromechanics interface model, which allows a straightforward extension to 3D. Alternatively, a second model is proposed on the basis of configurational mechanics where, in addition to the momentum balance, an additional equilibrium equation related to the change of material configuration is considered. The two proposed models originate from different concepts in the field of mechanics, but both show an excellent agreement with laboratory experiments even for complex fracture paths and provide powerful tools which can be extended to the analysis of fracture processes in a multi-physical context. Both models have been validated by means of analytical solutions for one-dimensional hydraulic fracturing problems before applying to selected stimulation scenarios for deep geothermal reservoirs.

Fig. 1 shows the activation of a wing-crack type mechanism induced by injecting a fluid with high

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

STATIK UND DYNAMIK

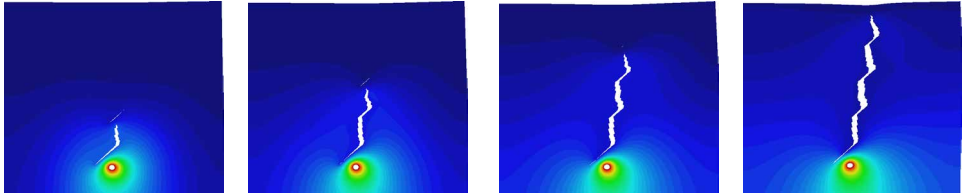


Fig. 1: Activation of wing-cracks under fluid injection into the wellbore: fracture pattern and pore-pressure distribution

pressure into a ground characterized by multiple pre-existing, initially closed, inclined joints. After 1300 seconds the first crack starts to grow from the top crack tip vertically until it hits a pre-existing joint. At time $t \approx 2000$ s the second crack is activated and starts to propagate towards the third initial joint. This pattern of fracturing continues until the fourth crack hits the top face of the domain. As illustrated in Fig. 2, the path of a crack evolving from a wellbore can be effectively controlled by the pressurization of wellbores located in the vicinity. Due to the change of the effective stress field, pressurized boreholes have a strong influence on the evolving crack path, and completely different crack paths are observed for different stimulation scenarios.

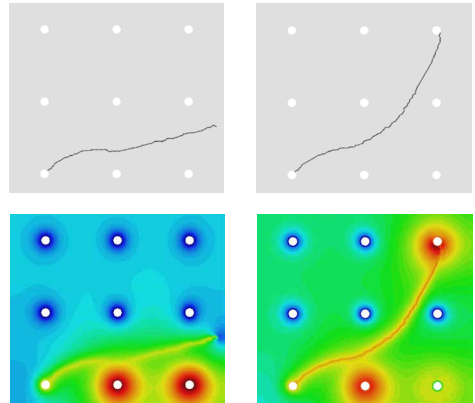


Fig. 2: Hydraulic fracturing scenarios: fracture path (above) and pore pressure distribution (below)

VERKEHRSWEGEBAU

HÖCHSTMÖGLICHE RESSOURCENEFFIZIENZ IM ASPHALTSTRASSENBAU – DFG-PROJEKT: POST-CARBONE STRASSE – DER ENDLOSE WIEDER-VERWENDUNGSKREISLAUF VON BITUMEN

Die Wiederverwendung von Asphalt ist in Deutschland bereits jahrzehntelang gleichbleibend auf einem recht hohen Niveau. Der Hauptanteil des wiederverwendeten Ausbauasphalts wird wieder der Heißmischgutproduktion zugeführt. Durch die bereits jahrzehntelange Wiederverwendung tritt inzwischen der Fall ein, dass Granulate der zweiten oder sogar auch dritten Wiederverwendungsgeneration anfallen, die stark gealterte Bindemittel enthalten. Bei diesen

Granulaten stößt die Vorgehensweise der Auffrischung des Altbitumens mit weicheren bitumenhaltigen Bindemitteln gemäß TL Bitumen StB 07/13 zunehmend an ihre Grenzen. Um dennoch die angestrebten Eigenschaften des Bitumens erreichen zu können, rücken zunehmend sogenannte Rejuvenatoren (Verjüngungsmittel) in den Fokus der Forschung. Durch diese Verjüngungsmittel werden die physikalischen Eigenschaften dahingehend verändert, dass sich eine abnehmende Härte bzw. Steifigkeit des Bitumens zeigt (Radenberg 2016). Über die Wirkungsweisen der Rejuvenatoren und insbesondere deren Auswirkungen auf die Bitumenchemie ist jedoch

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

VERKEHRSWEGBAU

wenig bekannt, was u.a. auf die zum Teil stark variierende Zusammensetzung der verschiedenen Produkte zurückzuführen ist. Je detaillierter jedoch die Kenntnis über die Auswirkungen und Wirkungsweisen der Rejuvenatoren ist, desto gezielter kann in die chemische Zusammensetzung und somit in die Alterungsentwicklung und deren Auswirkung auf die mechanischen Eigenschaften des Asphaltes eingegriffen werden. Auf diese Weise wäre auch eine mehrfache Beeinflussung des Bindemittels und somit eine vielfache Wiederverwendung des Ausbauasphalts möglich, die bis zu einem (nahezu) endlosen Wiederverwendungskreislauf führen kann.

Im Rahmen dieses von der DFG geförderten Projekts sollen das chemisch-mechanische Modell eines solchen endlosen Wiederverwendungskreislaufs entwickelt sowie potentielle Grenzen für eine vielfache Wiederverwendung identifiziert werden. Dafür soll zunächst eine Charakterisierung des ersten Alterungs- und Verjüngungszyklus erfolgen, um möglichst detaillierte Erkenntnisse über die grundlegend ablaufenden Prozesse zu gewinnen. Zur Simulation der Bitumenalterung soll zusätzlich zu den standardisierten, teilweise realitätsfernen Methoden ein Verfahren erarbeitet werden, mit dem bspw. durch eine definierte Temperatur und UV-Bestrahlung eine Feldalterung von 15 Jahren simuliert werden kann. Nach der umfangreichen Charakterisierung des ersten Zyklus sollen weitere Alterungs- und Verjüngungszyklen folgen, um kumulierte Veränderungen in den ablaufenden Prozessen zu finden. Auf der Grundlage dieser mehrfachen Alterungs- und Verjüngungszyklen sowie den evtl. auftretenden Veränderungen der dabei stattfindenden Prozesse soll die Bewertung einer vielfachen Wiederverwendung von Bitumen und somit von Asphalt erfolgen. Zudem wird die Erarbeitung eines nachhaltigen Verjüngungsmodells angestrebt, mit dem in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Bitumen und der verwendeten Rejuvenatoren Eingreifzeitpunkte für einen zufriedenstellenden

Verjüngungsprozess prognostiziert werden sollen. Erste Erkenntnisse zu der Wirkungsweise von Rejuvenatoren konnten bereits in einem Forschungsprojekt der BAST „Einsatz von Rejuvenatoren bei der Wiederverwendung von Asphalt“ (FE 07.0250/2011/LRB) gewonnen werden und sind in Bild 1 dargestellt. Nach den Erkenntnissen dieses Projekts zeigt sich, dass als Ziel einer Bitumenverjüngung nicht ausschließlich die Viskosität oder die Steifigkeit in Form des komplexen Schermoduls $|G^*|$ bei einer definierten Temperatur betrachtet werden sollte. Vielmehr sollten die rheologischen Zieleigenschaften deutlich komplexer formuliert werden, wobei beispielsweise das Verhältnis von elastischen und viskosen Verformungsanteilen berücksichtigt werden muss. Dieses Verhältnis bildet einen entscheidenden Faktor für das Gebrauchsverhalten des Bindemittels in einer Asphaltbefestigung. So wird ein Bitumen mit einem größeren Phasenwinkel δ und somit einem höheren viskosen Anteil bei höheren Temperaturen eher zu Verformungen neigen als ein Bitumen mit gleichbleibendem komplexen Schermodul $|G^*|$ und einem geringeren Phasenwinkel δ . Bei tiefen Temperaturen neigt ein Bitumen mit geringerem Phasenwinkel δ und somit einem höheren elastischen Anteil hingegen eher zur Rissbildung.

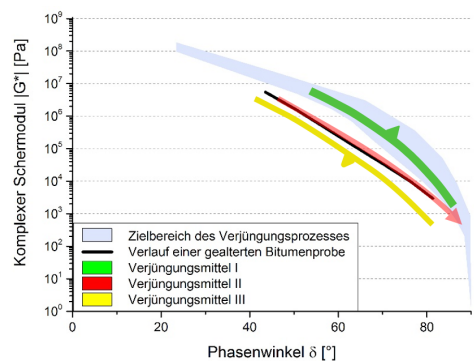


Bild 1: Erkenntnisse zu den typischen Wirkungen der Rejuvenatoren im Black-Diagramm nach Radenberg, Boetcher et al. 2016

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

VERKEHRSWEGBAU

Das Verhältnis der elastischen und viskosen Verformungsanteile kann wiederum aus den Kurvenverläufen des Black-Diagramms abgelesen werden. Verschiedene Verjüngungsmittel können sich jedoch sehr unterschiedlich auf die rheologischen Eigenschaften und somit auf das Verhältnis der Verformungsanteile eines Bitumens auswirken, wodurch die unterschiedlichen Wirkungsweisen der Rejuvenatoren deutlich werden. Bild 1 zeigt die Verläufe verschiedener Bitumenproben im Black-Diagramm, wobei die schwarze Kurve eine typische Ausgangssituation eines gealterten Bindemittels darstellt. Die hellblaue Fläche kennzeichnet hingegen den Zielbereich des Verjüngungsprozesses (typischer Verlauf frisch produzierter Bitumen), der durch die Untersuchungen im Rahmen des Projekts „Einfluss der chemischen, rheologischen und physikalischen Grundeigenschaften von Straßenbaubitumen auf das Adhäsionsverhalten unterschiedlicher Gesteinskörnungen“ definiert wurde (Radenberg, Nytus et al. 2014). Dieser Zielbereich zeichnet sich gegenüber dem Verlauf eines gealterten Bitumens durch eine horizontale Kurvenverschiebung nach rechts in den Bereich höherer Phasenwinkel δ und somit in den Bereich höherer viskoser Verformungsanteile aus. Bei Verjüngungsmittel I handelt es sich um einen günstig wirkenden Rejuvenator, sodass der definierte Zielbereich durch dessen Zugabe erreicht wird. Das Verjüngungsmittel II weist hingegen lediglich eine fluxende und somit verdünnende Wirkung auf, die zwar eine Verminderung des komplexen Schermoduls $|G^*|$ hervor-

ruft, aber das Verhältnis von elastischen und viskosen Verformungsanteilen weitgehend unverändert lässt. Die Zugabe des Verjüngungsmittels III führt demgegenüber zu einer Verschiebung in den Bereich noch höherer elastischer Verformungsanteile und somit in eine ungünstige Richtung bezüglich der Rissbildungsgefahr. Anhand dieses Ergebnisses wird die zum Teil sehr unterschiedliche rheologische Wirkungsweise verschiedener Verjüngungsmittel deutlich.

Neben einer rheologischen Betrachtung der unterschiedlichen Wirkungsweisen von Verjüngungsmitteln zeigen sich Unterschiede auch bei einer mikroskopischen Betrachtung (s. Bild 2). Ein Straßenbaubitumen der Sorte 30/45 wurde einer Langzeitalterung (PAV für 65 Stunden bei 85°C) unterzogen und anschließend mit zwei verschiedenen Rejuvenatoren modifiziert. Mithilfe lichtmikroskopischer Aufnahmen konnten in der Mikrostruktur der Probe „bienenartige“ Strukturen ausgemacht werden. Diese Strukturen zeigten sich ungewöhnlich groß, da diese nach derzeitigem Kenntnisstand lediglich mit aufwendigeren mikroskopischen Verfahren, z.B. dem AFM, nachgewiesen werden können. Die festgestellten „bienenartigen“ Strukturen der betrachteten Probe sind in Bild 2 dargestellt, wobei Bild 2 (a) die Probe im nicht gealterten Zustand und Bild 2 (b) die Probe im langzeitgealterten Zustand zeigt. Infolge der Alterung ist eine deutliche Zunahme an feinen Strukturen zu erkennen. In Bild 2 (c) und (d) sind die Aufnahmen der Mikrostruktur

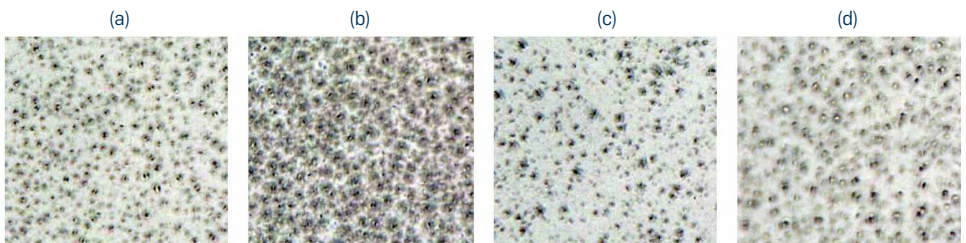


Bild 2: Lichtmikroskopisch erkennbare Mikrostruktur einer Bitumenprobe 30/45: (a) im nicht gealterten Zustand, (b) im langzeitgealterten Zustand, (c) nach Zugabe des Rejuvenators R1 und (d) nach Zugabe des Rejuvenators R3

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

VERKEHRSWEGBAU

tur nach Zugabe von zwei verschiedenen Rejuvenatoren dargestellt, wobei wiederum erhebliche Unterschiede deutlich werden. Während der Rejuvenator R1 sowohl in Bezug auf die gealterte als auch auf die nicht gealterte Probe eine sichtbare Reduzierung der Bienenstrukturen hervorruft (vgl. Bild2 (c)), wird durch den Rejuvenator R3 die Mikrostruktur der Probe im nicht gealterten Zustand nahezu wiederhergestellt (vgl. Bild 2 (d)). Somit zeigen sich auch bezüglich der Chemie signifikante Unterschiede in den Auswirkungen der Verjüngungsmittel auf das Bitumen. Die chemischen Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes (z.B. FTIR, GPC, AFM) werden vom Projektpartner FG Baustoffe und Bauchemie der TU Berlin durchgeführt. Zusätzlich zu der verbesserten Nachhaltigkeit wird durch eine mehrfache Recyclingfähigkeit bzw. einen endlosen Wiederver-

wendungskreislauf von Bitumen zudem auch eine erhebliche Ressourcenschonung und damit auch eine höchstmögliche Ressourceneffizienz erreicht. Durch diese wird auch der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid reduziert, da sowohl die Gewinnung als auch die Aufbereitung des Erdöls zu Bitumen reduziert werden. Ein weiterer wichtiger Nachhaltigkeitsaspekt einiger Rejuvenatoren ist zudem deren pflanzliche Basis (z.B. Baumrinde oder Nusschalen). Diese auch in ausreichender Menge vorliegenden Sekundärrohstoffe werden somit höchstwertig in den Stoffkreislauf eingebracht.

Referenzen:

1. Radenberg, M.: Einsatz von Rejuvenatoren bei der Wiederverwendung von Asphalt, Straße und Autobahn, 1.2016, S. 19-25
2. Radenberg, M.; Nytus, N.; Gehrke, M.: Einfluss der chemischen, rheologischen und physikalischen Eigenschaften von Straßenbaubitumen auf das Adhäsionsverhalten unterschiedlicher Gesteinskörnungen, IGF-Vorhaben, 16639 N/1, 2014

SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT UND UMWELTECHNIK

AQUAMASTERS 2018 IN BOCHUM

Seit 2007 treffen sich die deutschen Forschungsinstitute der Wasser- und Abfallwirtschaft jährlich zum fußballerischen Wettstreit um die Krone der Aquamasters. Es treten in der Regel zwischen 10 und 14 Mannschaften mit einer Teamgröße von jeweils etwa 8 - 12 SpielerInnen an.

Als langjähriger Teilnehmer des Turniers freute sich das Team des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum, die 12. Aquamasters am Samstag, den 09.06.2018 auf dem Kunstrasenplatz der Ruhr-Universität Bochum ausrichten zu dürfen. Insgesamt 12 einfallsreiche und traditionsreiche Teamnamen, wie z.B. Kupferbolzer 05 Aachen, 1. FC Turbine Testfilter Berlin, SV Darmtrakt 98, Hydro Soccer Club Hannover und nicht zu vergessen die Nach(t)klärung Bochum lassen erahnen, dass es bei diesem Turnier nicht nur um die fußballerische Herausforderung auf dem Platz

geht. Vielmehr bietet es gerade vielen jungen Mitarbeitern, Mitarbeiterinnen und Studierenden die Möglichkeit, ihr wasserwirtschaftliches Netzwerk rund um das Turnier zu erweitern.

Natürlich spielte auch die Versorgung mit lebenswichtigen isotonischen Kaltgetränken und kohlenhydrat- und proteinhaltiger Nahrung eine wichtige und kommunikative Rolle. So fand die Gruppenauslosung mit allen bereits angereisten Auswärtsteams am Vorabend am HZO-Grillplatz auf dem RUB-Campus bei ausreichend Grill- und Trinkgut statt. Das Turnier an sich wurde am Samstag, 09.06.2018, auf dem großen Kunstrasenplatz unterhalb der G-Reihe gespielt. 34 spannende Einzelmatches boten Spielern, aber auch reichlich Zuschauern Unterhaltung bis zur letzten Sekunde.

**12. AQUA
MASTERS
2018**



NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT UND UMWELTECHNIK

Letztendlich konnte sich die „Spielgemeinschaft Ball Akrobaten Wasserbau/Ballsportfreunde Gewässerkunde“ aus Koblenz gegen die starken „Emscherfighter“ aus Essen durchsetzen und die Aquamasters 2018 gewinnen. Die Nach(t)klärung Bochum der Siwawi erzielte in einem packenden Halbfinale den vierten Platz. Die Siegerehrung fand im Anschluss bei bestem Wetter statt. Wir

bedanken uns bei allen Teilnehmenden, bei unseren HiWis und Unterstützern und ganz besonders natürlich bei unseren Sponsoren aus der Branche, ohne die die ganze Veranstaltung erst gar nicht umsetzbar gewesen wäre:

 **aquatechnik**
www.aquatechnik.com

 **Dorsch Gruppe**
Dorsch
International
Consultants

 **wilo**
foundation

 **wte**
EVN Group

 **Hydro**
Ingenieure

 **TUTTAN & MEYER**
INGENIEURGESELLSCHAFT mbH



Bild 1: Gruppenbild der Mannschaften der Aquamasters 2018 in Bochum

INSTITUT FÜR KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU

3D-MODELLDRUCK FÜR DIE BAUFORSCHUNG

Moderne, zukunftsorientierte Architekturen ordnen Baukörpern oft keine regelmäßigen Formen mehr zu. Beispiele dazu finden sich in Megastädten an exponierten Stellen. Bild 1 zeigt in Bochum gefertigte Modelle des Shanghai International Cruise Terminal (Sparch Architects). Der Bedarf an innovativen Fertigungs- und Darstellungsmethoden wächst damit.

Die Forschung hat dieses Thema schon seit längerem aufgegriffen und arbeitet u.a. mit experimentellen Ansätzen. Dadurch werden Prädiktionen der klimatischen Effekte, wie Wind, Schnee und Vereisung oder Interaktionen mit Nachbarbebauungen möglich und anschaulich. Ähnliches gilt für den Industriebau. Neue Fertigungsmethoden für filigrane Bauteile,

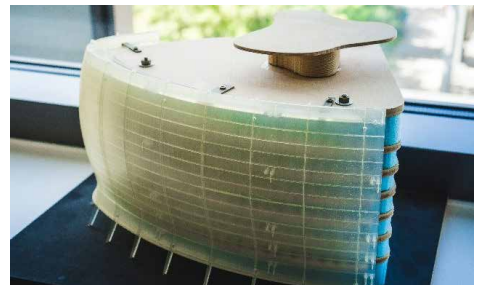
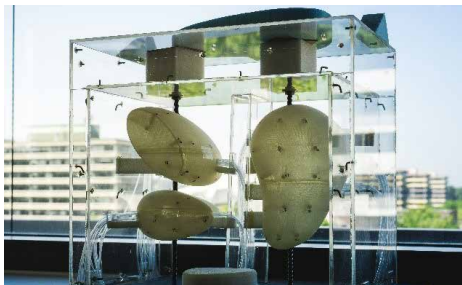


Bild 1: 3D-Druck-Modelle der „Hanging Pods“ (links) und eines Nebengebäudes mit komplexer, hinterlüfteter Fassadenform (rechts) des Shanghai International Cruise Terminals

NEUES AUS DEN LEHRSTÜHLEN UND ARBEITSGRUPPEN

INSTITUT FÜR KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU

z.B. neuartige Hochleistungsbetonfertigteile im energie-technischen Anlagenbau (Bild 3) benötigen Modellbetrachtungen, um Konfliktflächen (Überschneidungen) und Montage- sowie Wartungszugänglichkeiten frühzeitig erkennen zu können. Sie erleichtern die nachfolgende Modellierung der Gesamtanlage.



Bild 2: 3D-Drucker: mobiles Gerätegehäuse (links), ultraviolettfilternde Schutzhaube, Materialwanne und Verfah- sowie Belichtungseinrichtung (rechts)

Zur Fertigung solcher Modelle hat das Institut für Konstruktiven Ingenieurbau seine Möglichkeiten durch den Erwerb eines 3D-Druckers von envisionTEC (Bild 2) erweitert. Dieser arbeitet mit dem Rapid-Prototype-Verfahren, bei dem liquides Polymer-Material in einem Bad hochgenau durch LEDs formgebend vorgehärtet und in einer Infrarotkammer nachgehärtet wird. Dies ermöglicht dem Institut nun Anschauungsobjekte oder Versuchsmodelle mit sehr komplexen Geometrien herzustellen. Der envisionTEC Perfactory P4 Standard XL bietet einen Bauraum von 192 x 120 x 180 mm (4147,2 cm³) mit einer Auflösung von bis zu 50µm. Diese hohe Genauigkeit ermöglicht sogar den Druck feiner Druckmessrohre innerhalb von Modellwandungen, um im Windkanalexperiment Oberflächendrücke am Modell vermessen zu können. Es lassen sich auch Modelle poröser Medien fertigen, um Innenströmungen untersuchen zu können.

Das Modell wird beim Fertigungsprozess an einer verfahrenbaren Platte hängend gefertigt. Es bewegt sich also nicht die LED-Belichtungsebene während des Aushärtungsprozesses durch das noch flüssi-

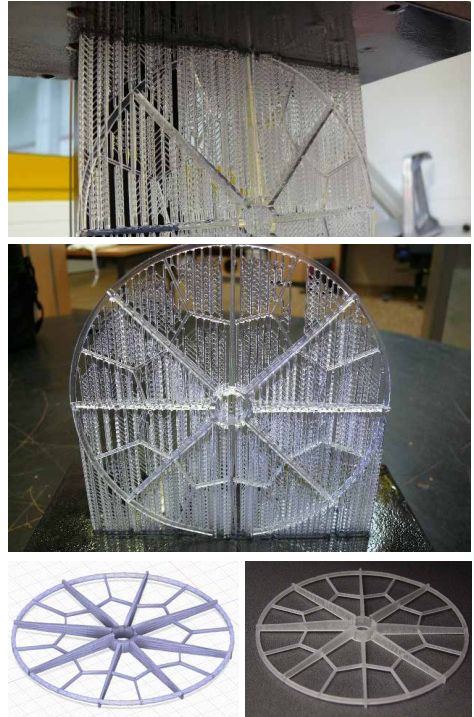
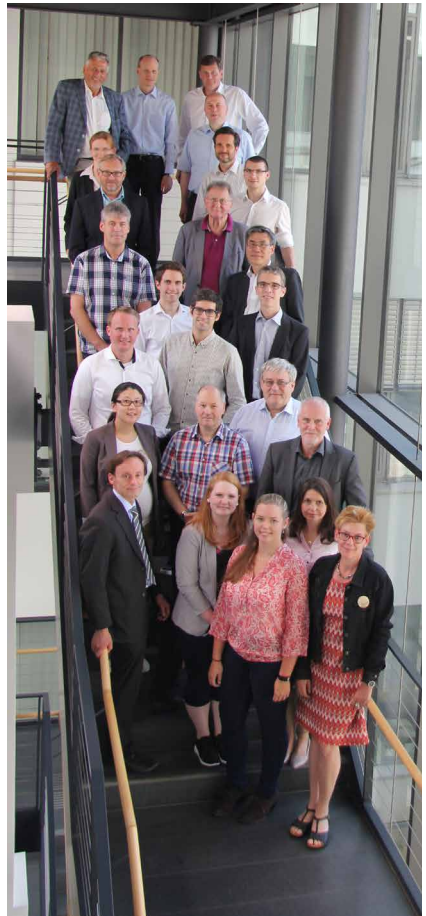


Bild 3: Fertigung des Modells eines Hochleistungsbetonheliostaten: gedrucktes Modell mit zu entfernenden Stützkonstruktionen (oben und mittig), Vergleich des 3D-Modells als STL-Datei (unten links) mit dem nachbearbeiteten und nachgehärteten Modell (unten rechts) (Abdruck des Heliostat-Digitalmodells mit freundlicher Genehmigung des Lehrstuhls für Massivbau)

ge Polymer, sondern das Modell. Der Vorteil dieser Methode ist, dass man geringere Mengen an Material vorhalten muss und somit auch ressourcenschonend arbeitet. Da das Modell in sehr dünnen Schichten gefertigt wird, sind in Abhängigkeit der gewählten Geometrien Stützkonstruktionen für den Zeitraum des Drucks zwingend erforderlich. Diese müssen im anschließenden Nachbearbeitungsprozess entfernt und das Modell geschliffen werden. Anschließend ist ein Nachhärten des Materials in einer UV-Kammer erforderlich.

PROFESSUREN DER FAKULTÄT

- Baustofftechnik
Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher
- Grundbau, Boden- und Felsmechanik
N.N.
- Massivbau
Prof. Dr.-Ing. P. Mark
- Stahl-, Leicht- und Verbundbau
Prof. Dr. sc. techn. M. Knobloch
- Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb
Prof. Dr.-Ing. M. Thewes
- Windingenieurwesen und Strömungsmechanik
Prof. Dr.-Ing. R. Höffer
- Informatik im Bauwesen
Prof. Dr.-Ing. M. König
- Mechanik adaptiver Systeme
Prof. Dr.-Ing. T. Nestorović
- Mechanik - Kontinuumsmechanik
Prof. Dr.-Ing. Daniel Balzani
- Mechanik - Materialtheorie
Prof. Dr. rer. nat. K. Hackl
- Statik und Dynamik
Prof. Dr. techn. G. Meschke
- High Performance Computing
in the Engineering Sciences
Prof. Dr. Andreas Vogel
- Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik
Prof. Dr. rer. nat. A. Schumann
- Ressourceneffizientes Bauen
Prof. Dr.-Ing. Annette Hafner
- Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik
Prof. Dr.-Ing. M. Wichern
- Structural Health Monitoring
Prof. Dr.-Ing. Inka Müller
- Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen
Prof. Dr. rer. nat. H. Stolpe
- Verkehrswegebau
Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg
- Verkehrswesen - Planung und Management
Prof. Dr.-Ing. J. Geistfeldt



KONTAKTE UND NÄHERE INFORMATIONEN

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

IMPRESSUM – FÜR DEN INHALT VERANTWORTLICH

Prof. Dr.-Ing. R. Höffer, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften,
Ruhr Universität Bochum, 44780 Bochum



FAKULTÄT FÜR
BAU- UND UMWELT-
INGENIEURWISSENSCHAFTEN