

RESEARCH DEPARTMENT

subsurface modeling & engineering

N°1 | 2020

RD SME | NEWSLETTER

LIEBE LESERINNEN UND LESER,

ich freue mich, Ihnen heute die erste Ausgabe des Newsletters des Research Departments Subsurface Modeling and Engineering (RD SME) vorstellen zu können. Die intelligente Nutzung des unterirdischen Raums stellt einen Schlüsselfaktor dar zur Lösung einer Reihe drängender technischer und gesellschaftlicher Herausforderungen, z. B. in Zusammenhang mit unterirdischen Infrastrukturen für Verkehrs- und Leitungssysteme, der Erkundung und Gewinnung nachhaltiger geothermischer Energie oder der Entwicklung von Konzepten für unterirdische Energiespeicher. Ziel des Research Departments Subsurface Modelling and Engineering ist die interdisziplinäre Vernetzung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an der RUB (und darüber hinaus) in Zusammenhang mit der Erforschung und Nutzung des unterirdischen Raums.

Der Newsletter ist als Forum für einen regelmäßigen Austausch von Informationen zu aktuellen Entwicklungen und Aktivitäten innerhalb des RDs und zur Präsentation ausgewählter aktueller Forschungsergebnisse konzipiert. Er richtet sich sowohl an die Mitglieder des RDs SME als auch an interessierte Leserinnen und Leser außerhalb des RDs.

Anfang 2020 ist es dem Kollegen Rolf Bracke gelungen, das ehemalige Internationale Geothermie-Zentrum zu der neuen Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG) umzufirmieren. Im Mai wurde Prof. Bracke auf den neuen Lehrstuhl für Geothermische Energiesysteme an die Ruhr-Universität berufen, wozu ich ihm an dieser Stelle herzlich gratuliere! Aus diesem Anlass enthält der Newsletter auf S. 6 ein ausführliches Interview mit Prof. Bracke.

Eine weitere wichtige Entwicklung im Rahmen des RDs SME, über die in dieser Ausgabe auf S. 3

berichtet wird, ist die Entwicklung eines neuen fakultätsübergreifenden internationalen Masterstudiengangs „Subsurface Engineering“. Durch die Nutzung von Synergien zwischen den Fakultäten für Geo- sowie Bau- und Umweltingenieurwissenschaften wird dieser Studiengang die Rolle der RUB als international sichtbares Kompetenzzentrum im Bereich des Subsurface Engineering nachhaltig festigen.

Seit Anfang 2020 hat das RD SME ein umfangreiches Programm zur Nachwuchs- und Projektförderung sowie zur Förderung der Internationalisierung der im RD SME vertretenen Institute und Forschungsgruppen etabliert. In dieser Ausgabe werden auf S. 4 die einzelnen Programmlinien und Fördermöglichkeiten zusammenfassend vorgestellt.

Weiterhin enthält diese Ausgabe neben kurzen Berichten zu aktuellen Forschungsthemen auch ein Interview mit dem RD SME Alumni Markus Scheffer, M. Sc., der durch seine Faszination für Simulationsmodelle im Tunnelbau zum Unternehmensgründer wurde (s. Seite 18).

Ich wünsche Ihnen nun viel Spaß beim Lesen, und trotz der Krisenzeit, die uns alle dieses Jahr stark beeinflusst und geprägt hat, ein besinnliches Weihnachtsfest und ein gesundes und erfolgreiches neues Jahr.



Prof. Dr. Günther Meschke

Sprecher des RDs SME

PROF. ROLF BRACKE ERHIELT DAS BUNDESVERDIENSTKREUZ



Bild 1: Prof. Rolf Bracke (re.) erhält das Bundesverdienstkreuz von Marcel Philipp (li.), Oberbürgermeister der Stadt Aachen (© Fraunhofer IEG)

Prof. Dr. Rolf Bracke vom RUB Lehrstuhl für Geothermische Energiesysteme hat das Bundesverdienstkreuz erhalten. Es wurde ihm am 24. September 2020 im Aachener Rathaus von Oberbürgermeister Marcel Philipp verliehen. Rolf Bracke wird für seine Forschung zur Geothermie geehrt und für die Impulse, die er am Standort NRW setzte, indem er Akteure aus der Wissenschaft und der Wirtschaft sowie der Gesellschaft und der Politik vernetzte.

Rolf Bracke besetzt seit Mai 2020 an der RUB-Fakultät für Maschinenbau den Lehrstuhl für Geothermische Energiesysteme. Außerdem ist er Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie, kurz IEG, die Anfang 2020 ihre Arbeit aufgenommen hat und zu der seitdem auch das Internationale Geothermiezentrum Bochum gehört.

WELTSTADT DER GEOTHERMIE

„Rolf Bracke hat im Bereich der Erdwärme als nachhaltige, klimaschonende Energiequelle Wesentliches für die anstehende Energiewende und für die Sicherung der zukünftigen notwendigen Wärmeversorgung unseres Landes geleistet und damit – weit über Bochum, NRW und Deutschland hinaus – Weichen für die Zukunft gestellt“, heißt es in der Begründung, und weiter: „Sein außerordentliches Engagement, sein unermüdlicher Einsatz und seine strategische Weitsicht haben dazu geführt, dass Nordrhein-Westfalen im Bereich der Geothermie auch international einen Spitzenplatz einnimmt und Bochum als Weltstadt der Geothermie bezeichnet wird.“

ZUR PERSON

Rolf Bracke studierte an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, wo er 1991 sein Diplom machte. Im Anschluss arbeitete er zwei Jahre lang als Projektmanager in einem Unternehmen in Umweltforschung und -entwicklung, internationaler Zusammenarbeit im Bereich der Standortuntersuchungstechnologien und Risikobewertung. 1995 promovierte er in Geologie. Zwischen 1994 und 2006 war er Geschäftsführer der Firma Ecos Umwelt. 2002 bis 2020 war er Professor an der Hochschule Bochum am Institut für Wasser, Umwelt und Energie im Fachbereich Bauingenieurwesen. An der RUB war er bereits vor seiner Berufung Mitglied der Research Departments Subsurface Modeling and Engineering sowie Closed Carbon Cycle Economy.

Verfasst von: Arne Dessaul (RUB)
Vergleich: RUB News

PROF. MARKUS KÖNIG ERHIELT DIE KONRAD-ZUSE-MEDAILLE

Prof. Dr. Markus König erhielt die Konrad-Zuse-Medaille des Zentralverbands Deutsches Baugewerbe (ZDB). Der Verband würdigte Königs Verdienste für die Digitalisierung des Bauwesens, insbesondere zur Implementierung von Building Information Modeling (BIM) in Deutschland. Die Verleihung der Medaille erfolgte am 17. November 2020 auf dem 13. Deutschen Obermeistertag in Berlin.

„Markus König hat sehr frühzeitig die Potentiale von BIM erkannt und seine Forschung stringent auf dieses Thema ausgerichtet“, heißt es in der Begründung zur Preisvergabe. „Wichtig war ihm vor allem die praktische Umsetzung dabei. So hat er federführend an der Planung und Umsetzung des Stufenplans von BIM im Infrastrukturbau mitgewirkt“, so der Vorsitzende des Kuratoriums, Tobias Riffel.



Bild 1: Markus König leitet den Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen der RUB (© RUB, Kramer)

ZUR PERSON

Markus König studierte Bauingenieurwesen an der Universität Hannover, wo er 2003 promovierte. 2008 nahm er eine Professur an der Bauhaus-Universität Weimar an. Seit 2009 hat er an der RUB den Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen inne. Er ist Mitglied im Research Department Subsurface Modeling and Engineering (RD SME) und Vorstandsmitglied im Sonderforschungsbereich 837 – Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau (SFB 837).

Prof. König beschäftigt sich seit mehr als 20 Jahren mit dem Building Information Modeling. 2017 wurde er dafür bereits mit dem Preis der Bauindustrie Niedersachsen-Bremen geehrt. Seit Sommer 2019 ist er maßgeblich am Aufbau eines bundesweiten BIM-Kompetenzzentrums beteiligt.

Verfasst von: Jens Wylkop (RUB)
Vergleich: RUB News

NEUES AUS DEM RD SME

AB WS 2021/22: NEUER INTERNATIONALER MASTER-STUDIENGANG „SUBSURFACE ENGINEERING“

Der Bedarf an dem von den Fakultäten für Geowissenschaften und Bau- und Umweltingenieurwissenschaften eingerichteten Masterstudiengang „Subsurface Engineering“ ergibt sich aus den – insbesondere in den Metropolregionen – weltweit gestiegenen Anforderungen an die Verfügbarkeit unterirdischer Infrastrukturen für Verkehrs- und Leitungssysteme, dem wachsenden Bedarf an nachhaltiger geothermischer Energie und der untertägigen Speicherung von gasförmigen, flüssigen und festen Stoffen. Die weltweite Dimension dieser Anforderungen motiviert die starke internationale Ausrichtung des neuen Studiengangs. Er richtet sich daher an internationale Studierende, soll aber auch Studierende von deutschen Hochschulen ansprechen.

Ziel dieses 4 Semester umfassenden Masterstudiums ist es, eine umfassende, state-of-the-art Kompetenz auf hohem Niveau in allen Aspekten des Fachbereichs Subsurface Engineering zu vermitteln. Der in englischer Sprache gehaltene Studiengang nutzt dabei die einzigartige Kombination der an der Ruhr-Universität Bochum vorhandenen Expertise in den Bereichen Tunnelbau, Geowissenschaften, Geothermie sowie Com-

Semester	Leistungspunkte	Inhalte
1.	33 LP	Pflichtveranstaltungen: Geologie, Hydrogeologie, numerische Berechnungsmethoden
2. - 3.	48 LP	Wahlpflicht
		Geotechnics and Tunneling Subsurface Characterization and Utilization
	9 LP	Wahlfächer
4.	30 LP	Masterarbeit

Bild 1: Struktur des neuen Masterstudiengangs „Subsurface Engineering“

putational Engineering. Außerdem ist eine Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck vorgesehen, an der ebenfalls ein neuer Studiengang im Bereich „Digitale Modelle für das Unterirdische Bauen“ entwickelt wird. Weitere internationale Zusammenarbeiten mit Einrichtungen innerhalb des RDs SME als auch außerhalb sind geplant.

Das Curriculum sieht eine gemeinsame Sockelausbildung im ersten Semester sowie Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen vor. Die Pflichtveranstaltungen im ersten Semester vermitteln Kernkompetenzen in den Bereichen Geo-

logie, Hydrogeologie und numerische Berechnungsmethoden. Ab dem zweiten Semester teilt sich der Studiengang in die zwei Vertiefungsrichtungen „Geotechnics and Tunneling“ und „Subsurface Characterization and Utilization“ (s. Bild 1).

Um den Studiengang im 4. Semester mit dem Master of Science abschließen zu können, benötigen die Studierenden insgesamt 120 ECTS und müssen eine Masterarbeit zu grundlagenorientierten oder auch angewandten Forschungsthemen aus dem Bereich Subsurface Engineering verfassen.

THE RD SME FUNDING PROGRAM: FÖRDERPROGRAMM FÜR RD SME MITGLIEDER

Im RD SME wurde 2020 ein aus Overheadmitteln finanziertes Förderprogramm eingerichtet. Es bietet folgende Möglichkeiten:

ÜBERBRÜCKUNGSSTIPENDIEN

- Zwischenfinanzierung für herausragende Absolventinnen und Absolventen, für die noch keine Finanzierung des Promotionsprojekts vorliegt
- Auslauffinanzierung für den Abschluss von Promotionen
- Überbrückungsfinanzierung für PostDocs zur Vorbereitung von Forschungsanträgen zur Finanzierung der eigenen Stelle

AUSLANDSSTIPENDIUM

- Forschungsaufenthalte im Ausland für PostDocs

GASTSTIPENDIEN

- Gastaufenthalte von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern
- Kurzzeitaufenthalte von renommierten internationalen Forscherinnen und Forschern

GASTVORTRÄGE

- Finanzierung von Gastvorträgen und Workshops mit international anerkannten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern

SHARED LABS

- Unterstützung bei der Finanzierung notwendiger Upgrades und ergänzender Komponenten für Labor- und Computerausstattungen



Bild 1: Struktur des Förderprogramms

INNOVATION FUNDS

- Anschubfinanzierung für innovative Forschungsideen und -anträge im Themenbereich des RDs SME

Finanzierungsanträge können jederzeit gestellt werden.



Ausführliche Informationen und Antragsstellung:
rdsme.ruhr-uni-bochum.de/de/Funding_Program.html

3RD COLLOQUIUM FOR YOUNG RESEARCHERS IN UNDERGROUND SCIENCE AND TECHNOLOGY (CRUST 3) – 16TH APRIL 2021

Since 2018, the Research Department organizes a Colloquium for Young Researchers in Underground Science and Technology (CRUST) in the winter semester. This colloquium not only provides networking opportunities but it is also an excellent forum for young



Figure 1: Poster presentation at CRUST 2

researchers to exchange ideas, foster debates, present results and discuss problems and challenges in their research work. CRUST 1 was held on 14th Dec 2018 with 3 minisymposia (11 presentations in total) and 10 poster presentations. CRUST 2 was held on 10th January 2020. CRUST 1 and CRUST 2 were event, which were restricted to participants who are members of the RD SME.

CRUST 3 – DIGITAL EVENT AND COMPETITION

CRUST 3 will be an international, fully digital event, which is open to all researchers in the field of subsurface engineering. Participants are invited to submit a 10-minute pre-recorded video summarizing their research work. The three best video presentations will be

awarded by providing support for the research projects equivalent to 1000 €. Participants who are members of the Ruhr-Universität Bochum will, however, receive an equivalent sum as project funds. The winners of the competition will present their research work in CRUST 3 which will be held as an online event (Zoom Conference) on 16th April 2021.

WHY PARTICIPATE IN CRUST 3?

- Increase the visibility of your research.
- Receive feedback regarding your research work.
- Registration fee - 0 €.
- Best video awards including project funds up to 1000 €.

SUBMISSION GUIDELINES

- A 10 minute video presentation with a thematic relation to subsurface engineering (characterization, utilization or a related field) has to be submitted to sme-crust@rub.de before 28th February 2021 using a file sharing platform (WeTransfer, Google Drive, Dropbox, etc.).
- The winners of the competition will be announced on 31st March 2021 and will be invited to present their results in the CRUST 3 Zoom Conference, which will be held on 16th April 2021.

RDSME YOUTUBE CHANNEL

- In order to keep up the open-access spirit and to reach a wider audience, all submissions will be made available on the RDSME YouTube channel.

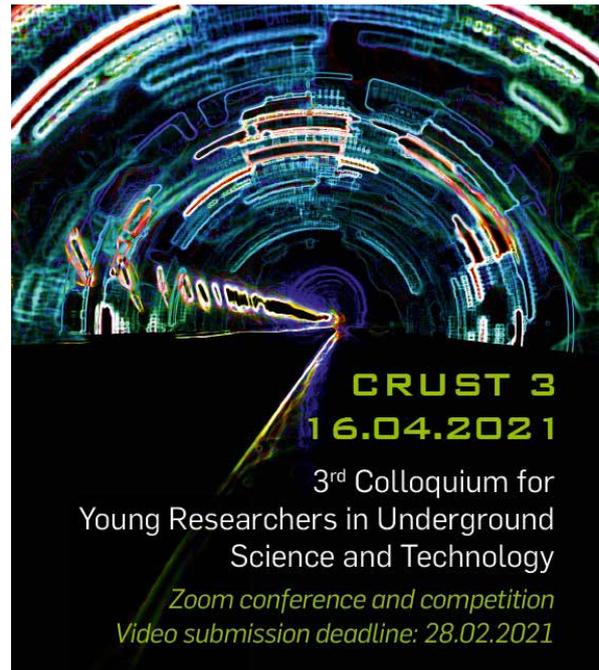


Figure 2: Cover picture of the 3rd Colloquium for Young Researchers in Underground Science and Technology (CRUST 3)

Contact:
Dr.-Ing. Jithender J. Timothy
Sahir Nawaz Butt, M. Sc.
sme-crust@rub.de



THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE „EURO:TUN 2021“ IS COMING BACK TO BOCHUM – 27. - 29. OCTOBER 2021

EURO:TUN 2021 will be held at the Ruhr-Universität Bochum, Germany, on October 27th - 29th, 2021. It focuses on Computational Methods and Information Models in Tunneling and will be concerned with innovative computational concepts and strategies for optimized design and construction of tunnels.



Figure 1: Cover picture of the conference Euro:Tun 2021
(© Institute for Structural Mechanics)

Topics to be addressed are:

- integration of computational and information models for tunnel planning and design,
- modeling of machine-ground and soil-structure interaction,
- numerical models for tunnel excavation, ground-tool interaction and face stability,
- process and logistics simulation,
- data driven modeling, machine learning, data mining, and expert systems in subsurface engineering,
- model-based design of lining systems,
- multi-phase and multi-scale models for soils and rocks and the temporary and permanent support in tunneling,
- procedures for parameter identification, and methods of inverse analysis,
- sensitivity analysis, uncertainty modeling and risk analysis,
- other related topics.

CALL FOR ABSTRACTS

Prospective authors are kindly invited to submit an extended two-page abstract related to the conference topics electronically through the conference website by March 1st, 2021. Selected contributions will be invited to submit a journal paper to be included in two special issues of „Underground Space“ after the conference.



More information can be found at the conference website: eurotun2021.rub.de



Figure 2: Interactive investigation of tunneling induced building damage risks (© RUB, Kramer)

DAS ERBE DER ZECHEN GEOTHERMISCH NUTZEN: INTERVIEW MIT HERRN PROF. DR. ROLF BRACKE

Prof. Dr. Rolf Bracke zählt zu den renommiertesten Wissenschaftlern der Ruhr-Universität Bochum: Seit Mai 2020 ist er Inhaber des neuen Lehrstuhls für Geothermische Energiesysteme an der Fakultät für Maschinenbau der RUB. Zudem ist er Leiter der ebenfalls noch neuen Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie, kurz Fraunhofer IEG, die Anfang 2020 ihre Arbeit aufnahm und in die auch das Internationale Geothermiezentrum Bochum integriert wurde. Im September 2020 erhielt Prof. Bracke das Bundesverdienstkreuz für seine Forschung zur Geothermie und die Impulse, die er am Standort NRW setzte, indem er Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft sowie Gesellschaft und Politik vernetzte. In dem folgenden Interview erklärt er, welche Chancen ihm die Mitgliedschaft im RD SME bietet und welche Pläne er für die nähere Zukunft hat.

Eines Ihrer wichtigsten Projekte beschäftigt sich damit, wie aus Grubenwasser oder generell Erdwärme Wärme für unseren Alltag gewonnen werden kann. Wie kam es zu dieser Idee?

Die Idee, Grubenwasser für die Wärmeversorgung zu nutzen, kam schon vor ca. 15 Jahren auf. Damals forderte ich von der Landespolitik in Zusammenhang mit dem Beschluss zur Schließung der Steinkohlezechen in Deutschland einen Masterplan zur Folgenutzung der Bergbau-Infrastruktur für die Wärmegewinnung. EU- und zurechtensrechtlich war das offenbar schwierig. Zudem wären die Projekte aufgrund der Fernwärmeauskopplung aus den Kohlekraftwerken oft unwirtschaftlich gewesen. Dann zeigte jedoch die Stadt Heerlen in den Niederlanden mit dem Mijwater-Projekt, dass Grubenwassernutzung zur Fernwärme-



Bild 1: Prof. Dr. Rolf Bracke, Inhaber des Lehrstuhls für Geothermische Energiesysteme (RUB) und Leiter der Fraunhofer IEG (© S. Kreklau/Fraunhofer IEG)

versorgung machbar ist. Seitdem haben wir in einer Reihe von Standorten an der Ruhr Vorlaufforschung für ein Grubenwasserprojekt im Ruhrgebiet betrieben. Und nun macht der Ausstieg aus der Verbrennung von Kohle eine Umstellung der Wärmenetze an Rhein und Ruhr auf CO₂-freie Quellen unabdingbar.

Für wie umsetzbar halten Sie das Konzept? Wird es in 10 Jahren im Ruhrgebiet Heizungswärme aus Grubenwasser/Erdwärme geben? Was muss passieren, damit dieses möglich wird?

Geothermische Heizungswärme aus Grubenwässern gibt es bereits heute. Die Bochumer Projekte des ehemaligen Bergwerks Dannenbaum auf MARK 51[°]7, sowie die Zechen Robert-Müser und auf dem Kalwes zeigen unterschiedliche Wege für die geothermische

Nutzung von Bergwerken auf. Während auf Robert-Müser das Sumpfungswasser einer zentralen Wasserhaltung genutzt wird, um mit Unterstützung von Wärmepumpen ein 40°C-Nahwärmenetz zu betreiben, soll das Bergwerk unter dem Fraunhofer IEG-Campus auf dem Kalwes zu einem saisonalen Wärmespeicher von 60-70°C ausgebaut werden. Anschließend kann mittels Hochtemperatur-Wärmepumpen mit 100°C in das bestehende – aktuell noch fossil beheizte – Fernwärmenetz Bochum-Süd eingespeist werden. Die Nutzung von Bergwerken zur Zwischenspeicherung von solarer oder industrieller Überschusswärme könnte ein Schlüssel bei der Umstellung der Verbundwärmenetze von Kohle und Gas auf klimafreundliche Energieträger sein. Bevor es zu einem Ausrollen der Technologie kommen kann, müssen wir zunächst ein wissenschaftliches Verständnis der potentiellen Veränderungen im Untergrund durch das saisonale Aufheizen und Abkühlen bekommen. Dazu zählen z. B. Lösungs- und Fällungsreaktionen von Mineralien und etwaige gesteinsmechanische Einflüsse. Anschließend könnten auch sehr große Bergwerke wie der Standort MARK 51⁷ an die bestehenden Fernwärmenetze an Rhein und Ruhr angeschlossen werden. Bis es soweit ist, wollen wir zunächst gemeinsam mit den Stadtwerken Bochum die Zeche Dannenbaum zu einem thermischen Schichtenspeicher entwickeln. Damit soll ein 4-Leiternetz, d. h. ein Kältenetz und ein Wärmenetz, für den neuen Stadtteil betrieben werden. Der obere Teil des Bergwerks in der dritten Sohle wird zu einem kalten Speicher von 10-15°C und der tiefste Teil des Bergwerks, die achte Sohle in ca. 850 m Tiefe, wird zu einem warmen Speicher von 35-40°C entwickelt. Thermodynamische Wandler, also Wärmepumpen und Kältemaschinen, erzeugen dann die nötigen Betriebstemperaturen. Die Bochumer Grubenwasser- und Speicherprojekte können damit den



Bild 2: Mit gutem Beispiel voran geht das Fraunhofer IEG an seinem Standort in Bochum, welches es mit oberflächennaher Geothermie erschlossen hat und so seinen Wärme- und Kältebedarf deckt. In Zukunft will es im Reallabor TRUDI auch das Potenzial für die Tiefengeothermie erkunden. (© Fraunhofer IEG)

Weg aufzeigen, wie die ca. 200 weiteren ehemaligen Zechenstandorte an der Ruhr einen Beitrag zur Umstellung der Fernwärme leisten können. Frei nach dem Motto: „Vom Kohlebergbau zum Wärmebergbau“.

Für wie wichtig halten Sie die Verzahnung unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen für die Energieprobleme der Zukunft?

Die anstehende zweite Phase der Energiewende erfordert, nach der Entwicklung klimafreundlicher Technologien, eine Dezentralisierung der Erzeugerstrukturen und eine Verknüpfung der Verteilungs- und Speicherstrukturen für Wärme, Strom und Mobilität. Wir alle werden ein Teil des Systems. Eine Verzahnung der Wissenschaftsdisziplinen ist für die Entwicklung solcher komplexer Energie- und Infrastrukturvorhaben unabdingbar. Ein Schlüssel zum Erfolg liegt in der engen Kooperation zwischen dem Maschinenbau, der Elektrotechnik, dem Bauwesen und den Naturwissenschaften. Hier kommt es bei den Machbarkeitsuntersuchungen und der späteren Bauausführung auf eine gute Abstimmung untereinander an. Aber auch die Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften sind bei der Transformation der Wärmesysteme unabdingbar. Das Wasser- und Bergrecht, die gesellschaftliche Akzeptanz und die Geschäftsmodelle der Betriebsführung, z. B. des bidirektionalen Lastmanagements, sind die wegweisenden Disziplinen für eine erfolgreiche Umsetzung.

Welche Chancen bietet Ihnen dabei die Zusammenarbeit im RD SME? Gibt es konkrete Vorhaben, die Sie in näherer Zukunft angehen werden oder die ggf. bereits angestoßen wurden?

Mit vielen Mitgliedern des RDs SME existieren bereits langjährige Kooperationen. Ein großer Erfolg war die Graduiertenschule AGES, bei der 10 Doktorandinnen und Doktoranden im Bereich Enhanced Geothermal Systems geforscht haben. Hier böte es sich an, die Vernetzungsstrategie Universitäten 2.0 der Fraunhofer-Gesellschaft zu nutzen, um Anschlussvorhaben im Bereich der Graduiertenausbildung anzuschließen. Die Anwendungsforschung des Fraunhofer IEG würde ideal durch die eher grundlagenorientierte Forschung des RDs SME ergänzt. Denkbar wäre beispielsweise die Neuaufgabe einer gemeinsamen Graduiertenschule oder vielleicht sogar ein SFB zur Transformation der Wärmesysteme und der Bergbauinfrastrukturen.

Interviewt von: Julia Lippmann, M. A. (RUB)



PROF. DR. ROLF BRACKE
www.ieg.fraunhofer.de
info@ieg.fraunhofer.de

FORSCHUNG ZU GRÜNDUNGEN FÜR OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGEN

Verfasst von:
Torsten Wichtmann,
Patrick Staubach,
Felipe Prada



Weblink

Die Errichtung großer Offshore-Windparks (Bild 1) in der Nord- und Ostsee ist ein wesentlicher Bestandteil der Energiewende. Zahlreiche Windparks sind bereits in Betrieb, einige weitere befinden sich derzeit im Bau und ein weiterer Ausbau der Kapazitäten ist geplant.

Die verschiedenen Gründungsvarianten, die für die Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) infrage kommen, sind in Bild 2 dargestellt. Es handelt sich um Flachgründungen (Schwergewichtsrundungen), Gründungen auf einem einzelnen großen Pfahl (Monopiles mit Durchmessern im Bereich 5 bis 8 m), mehreren kleineren Pfählen (Tripiles, Tripods, Jackets) oder einem oder mehreren Caissons

(Suction Buckets, unterschieden in Mono- und Multibucket). Während Flachgründungen bei geringen Wassertiefen wirtschaftlich sein können, ist der gebräuchlichste Gründungstyp für größere Wassertiefen der Monopile.



Bild 1: Offshore-Windpark (© Stock.com/jimiknightley)

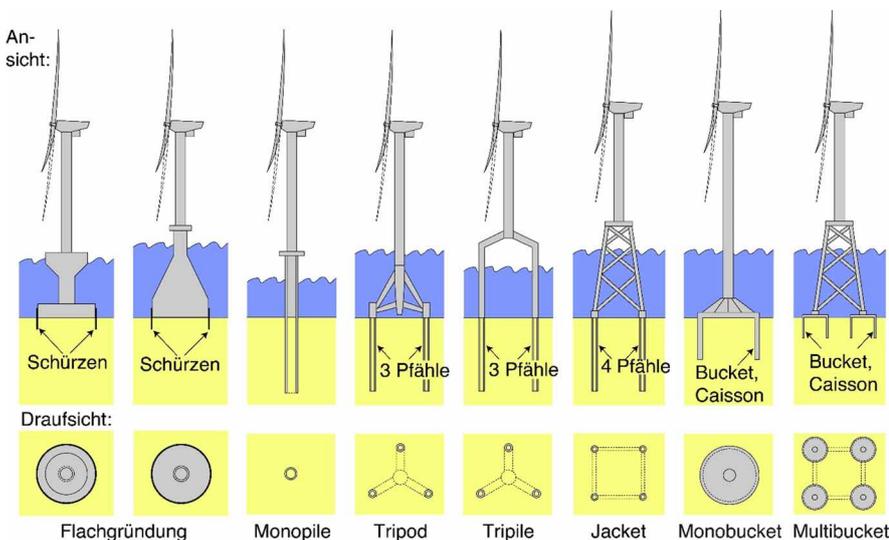


Bild 2: Gründungsvarianten für Offshore-Windenergieanlagen

Die OWEA-Gründungen werden infolge der Einwirkungen aus Wind und Wellen mit einer großen Anzahl an Lastzyklen beansprucht. Man spricht auch von einer hochzyklischen Belastung. Diese Beanspruchung kann zu einer Akkumulation bleibender Verformungen im Boden und damit zu einer Schiefstellung der Gründungen führen. Eine zu große Schiefstellung gefährdet die Gebrauchstauglichkeit der Anlagen, da der Betrieb der Turbinen nur kleine Neigungen des Turms (Neigungswinkel bis ca. 0,5°) toleriert. Die zu erwartenden Langzeitverformungen der Gründungen müssen daher bereits in der Entwurfsphase der OWEA zuverlässig abgeschätzt werden.

Am Lehrstuhl für Bodenmechanik, Grundbau und Umweltgeotechnik der Ruhr-Universität Bochum werden hierzu geeignete Methoden entwickelt, validiert und angewendet. Die Prognosen des Langzeitverhaltens der OWEA-Gründungen basieren dabei auf Finite-Elemente-Simulationen mit einem speziellen Akkumulationsmodell. Mit dieser Methode können beliebige Gründungsstrukturen für OWEA untersucht werden (Bild 3). Die Modelle prognostizieren nicht nur die akkumulierten Verformungen, sondern beispielsweise auch Druckänderungen in den wassergefüllten Poren des Bodens sowie Änderungen der Spannungen in der Kontaktfläche zwischen dem Pfahl und dem Boden. Auf diese Weise kann die Boden-Bauwerk-Interaktion über die gesamte Lebensdauer einer Anlage simuliert und analysiert werden.

Für die Kalibrierung der Materialkonstanten des Akkumulationsmodells sind dränierte Triaxialversuche mit zyklischer Belastung notwendig. Der Lehrstuhl verfügt bereits über eine Reihe hierfür geeigneter zyklischer Triaxialgeräte. Für die vielfältigen Fragestellungen der Forschung werden diese derzeit um weitere neue Geräte ergänzt. Ein Schema der neuen, in Eigenbau realisierten Geräte, ist Bild 4 zu entnehmen. In den Versuchen an zylindrischen Proben

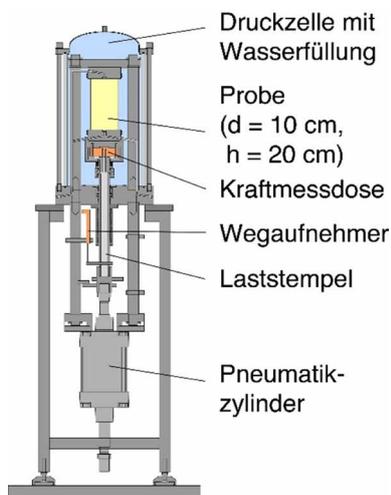


Bild 4: Schema der neuen zyklischen Triaxialgeräte

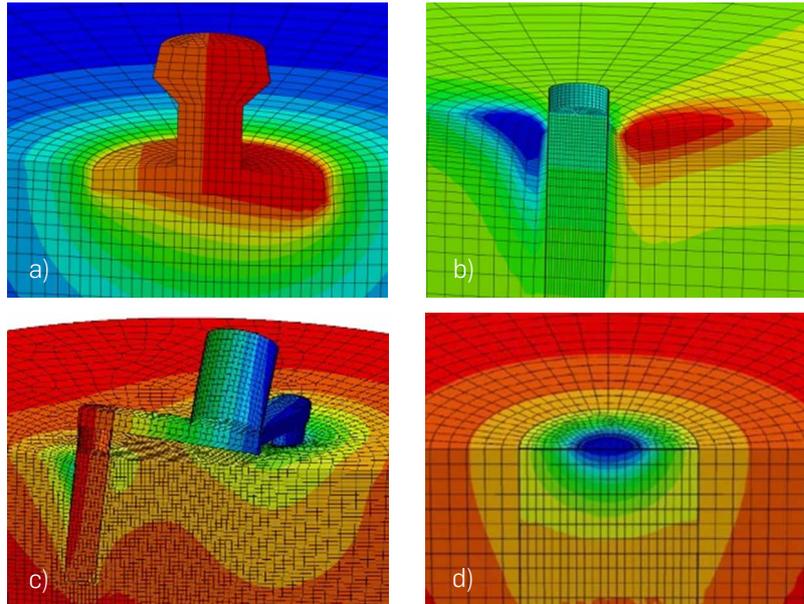


Bild 3: FE-Modelle für unterschiedliche Gründungstypen: a) Flachgründung, b) Monopile, c) Tripod, d) Suction bucket (jeweils auf der Symmetrieebene geschnitten)

wird die vertikale Spannung zyklisch variiert, während die horizontale Spannung konstant gehalten wird. Gemessen wird u. a. die Entwicklung der vertikalen Dehnung mit der Zyklenanzahl. Ein Beispiel eines Versuchsergebnisses enthält Bild 5. Auf Basis solcher Versuchsdaten werden die Eingangsparameter für die Finite-Elemente-Simulationen ermittelt.

Die Forschung zu OWEA-Gründungen am Lehrstuhl befasst sich derzeit u. a. mit dem Einfluss der Installation von Monopiles in Sandböden auf deren Langzeitverhalten. Dabei wird die Installa-

tion des Pfahls mit Hilfe spezieller numerischer Techniken simuliert (Bild 6). Die Pfahleinbringung führt im Nahbereich des Pfahls zu einer temporären Änderung des Porenwasserdruckes sowie zu bleibenden Änderungen der Bodendichte und der Spannungen im Boden. Finite-Elemente-Simulationen mit dem Akkumulationsmodell zeigen, dass sich diese aus der Installation resultierenden Zustandsänderungen deutlich auf die Langzeitverformungen auswirken können. In Bild 7 sind beispielhaft die prognostizierten Verschiebungen der Monopile-Gründung nach fünf Millionen Zyklen dargestellt, die sich

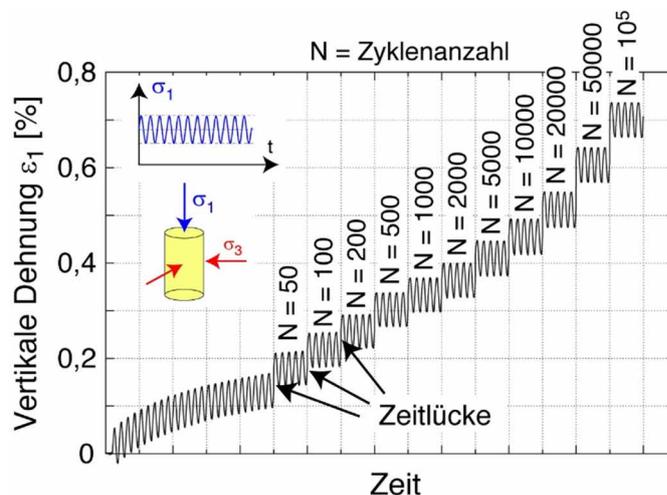


Bild 5: Typische Entwicklung der vertikalen Dehnung in einem Versuch mit 100.000 Zyklen

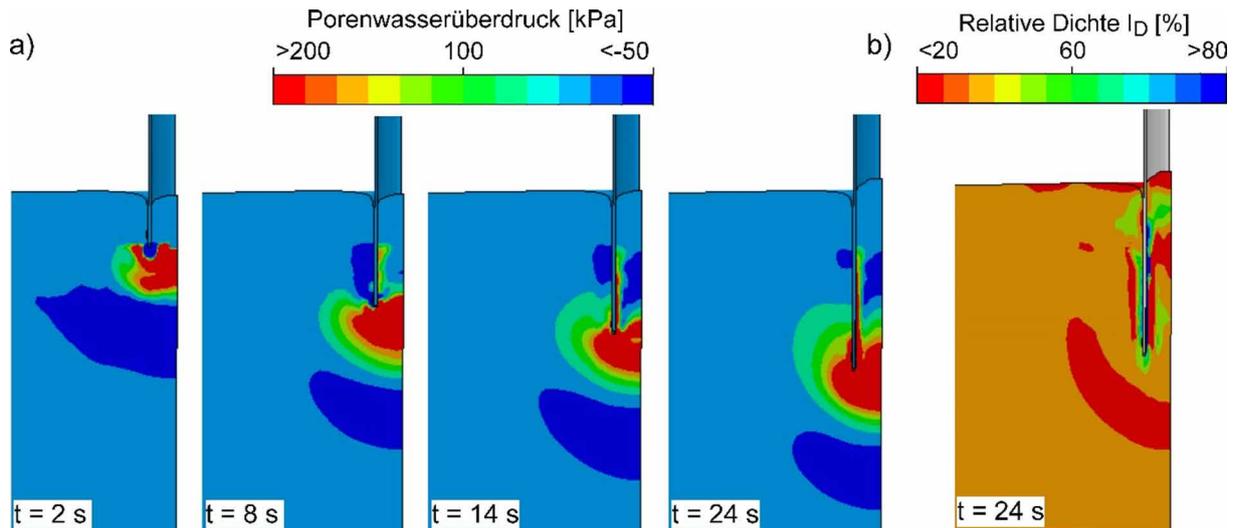


Bild 6: Simulation der Installation eines Monopiles im Meeresboden: a) Verteilung des Porenwasserüberdruckes im Nahbereich des Pfahls zu unterschiedlichen Zeitpunkten und b) Feld der relativen Lagerungsdichte nach der Installation (0 % = lockerst mögliche Lagerung, 100 % = dichtest mögliche Lagerung)

aus Simulationen mit und ohne Berücksichtigung der Installationseffekte ergeben. Es wurde sowohl eine Pfahleinbringung mittels Schlagammung als auch ein Eindrücken simuliert. Mit Berücksichtigung der Installation ergeben sich deutlich kleinere Langzeitverformungen. Eine Vernachlässigung der Installationseffekte in Prognosen des OWEA-Langzeitverhaltens liegt demnach auf der sicheren Seite.

Weitere Forschungsfelder stellen OWEA-Gründungen in Ton, Kalksand (mit zerbrechlichen Körnern) und Kreideböden sowie kombinierte Beanspruchungen aus Sturm und Erdbeben dar. Ein weiterer Fokus liegt auf der Validierung der numerischen Modelle anhand von Nachrechnungen von Modell- oder Feldversuchen sowie Messungen an realen Bauwerken.

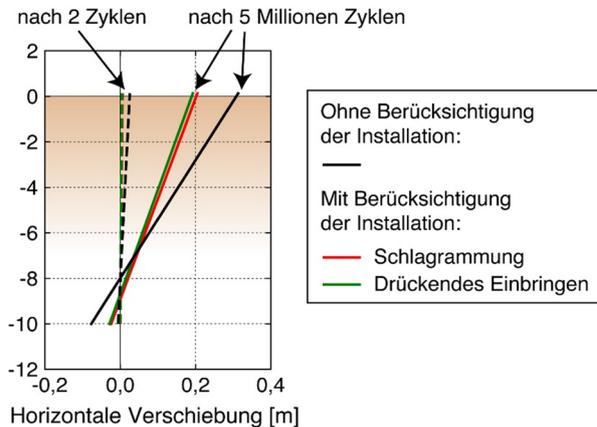


Bild 7: Prognostizierte horizontale Verschiebung einer Monopile-Gründung aus Simulationen mit und ohne Berücksichtigung der Installation

THE TRANSIENT PHYSICAL CONDITIONS ON FAULT SURFACES THAT DICTATE EARTHQUAKE SLIP SPEEDS

Verfasst von:
Rebecca Harrington,
Bei Wang,
Kilian B. Kemna,
Gian M. Bocchini



Weblink

Determining how unstable fault rupture starts, or more commonly, an earthquake, requires careful, remote observation and detailed knowledge of the physical processes that happen kilometers underground.

It also requires understanding the influence of subsurface pore fluid interactions with fault rocks and their role in triggering the fault rupture. Within this realm of earthquake science, the Hydrogeomechanics group's research at the Institute of Geology, Mineralogy and Geophysics focuses on the physics of the earthquake source. Their central approach is observational, using recordings of ground motion

during an earthquake (i.e., seismograms) to investigate how earthquake properties that are measurable from seismograms, such as radiated seismic energy, change with earthquake size. The scaling relationships between such properties and the size of an earthquake can tell us about the speed at which faults rupture and provide clues as to how energy is dissipated during an earthquake. They can also tell

us if small earthquakes are physically similar to larger, less frequent ones. Seismograms can also render information about the magnitude of stresses that can trigger earthquakes. To that end, the Hydrogeomechanics group's research examines seismic rupture properties in both shallow and the deep portions of crustal fault zones to gain a comprehensive view of earthquake behavior. In addition, they employ poroelastic and stress modeling approaches to see how fluids interact with faults, and faults interact with each other.

REMOTE EARTHQUAKE TRIGGERING AND ANTHROPOGENICALLY INDUCED EARTHQUAKES IN THE SHALLOW CRUST:

Increased seismometer coverage in many parts of the world over the last two decades has enabled documentation of cases of triggering where large earthquakes trigger subsequent smaller earthquakes at distances of up to 1000s of km by surface wave shaking that radiates outward from the epicenter of the large event. The group's work investigates local triggering using statistical methods and signal processing techniques to establish when and where it occurs, and to measure the small stress perturbations (~10s of kPa) caused by ground shaking that are associated with triggering (Fig. 1).

In general, we find that seismic energy below a period of roughly 10 seconds, which is commonly generated during earthquakes with magnitudes of approximately M 7 or larger, is most effective at triggering remote earthquakes. Furthermore, the small stress perturbations that can trigger earthquakes suggest that the many faults that permeate the crust as a result of its long tectonic history may be in a critical state of stress, even when they are located far from plate boundaries.

In addition to the natural dynamic stress perturbations caused by surface wave shaking from earthquakes, anthropogenic stress changes caused by industrial activity associated with non-conventional energy production (such as hydraulic fracturing associated with geothermal energy production, oil and gas production in low-permeability shales, wastewater disposal, gas extraction, among others) has been observed to trigger earthquakes in what is typically termed "induced seismicity". Because evidence suggests that induced earthquakes are physically similar, or in some cases, identical to natural earthquakes, the fact that we have constraints from production parameters on the magnitude and timing of the input stresses involved makes them ideally suited to studying how earthquakes nucleate.

The Hydrogeomechanics group is also currently studying induced earthquakes resulting from both hydraulic fracturing and wastewater disposal in the

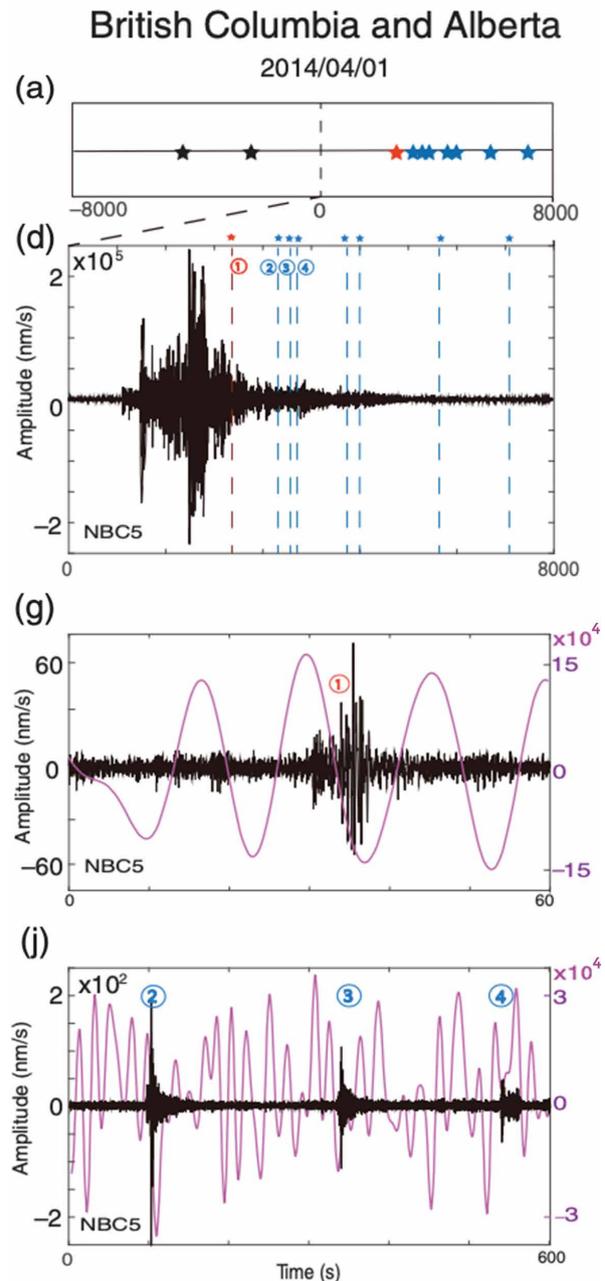


Figure 1: Modified after Wang et al., 2019, the seismogram shown in (d) was recorded on a station in British Columbia, Canada, located ~1000s of km from the epicenter of the large earthquake that generated the waveform. The small earthquakes that were triggered close to the station (with timing shown by the numbers in (d)) are shown in (g) and (j), and were likely caused by the surface wave shaking (purple lines) generated by the large, distant earthquake.

Western Canada Sedimentary Basin and the central United States (Fig. 2). Their work suggests that the industrial activity associated with energy production perturbs the stress state on natural pre-existing faults that are optimally oriented for failure in the current tectonic stress field. Furthermore, although the stresses that initiate many induced earthquake sequences are of anthropogenic origin, earthquakes transfer stress to one another just as tectonic (natural) earthquakes do once a sequence has started.

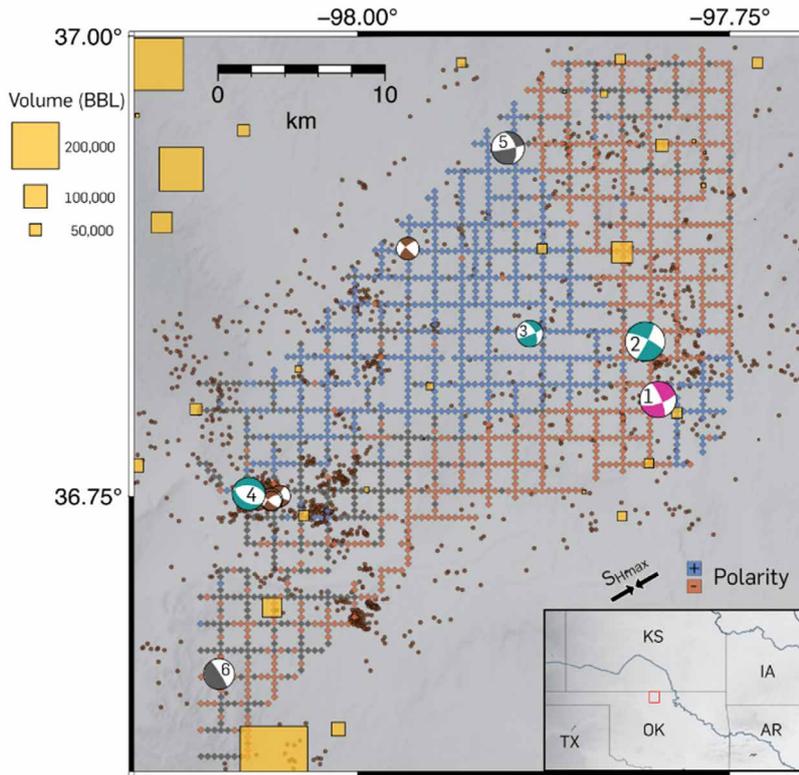


Figure 2: The Large-n Seismic Survey in Oklahoma (LASSO) seismometer (small diamonds) comprised of 1800+ seismometers that recorded the earthquakes (brown dots and stereographic „beach ball“ plots) for a ~1-month period in 2016. Earthquakes are attributed to ongoing wide scale wastewater injection activity since 2011 in the central United States. (Figure is taken from Kemna et al., 2020)

TECTONIC TREMOR AND LOW-FREQUENCY EARTHQUAKES (LFES) IN THE BRITTLE-PLASTIC TRANSITION ZONE:

The Hydrogeomechanics group also studies “unconventional” seismic signals such Low-Frequency Earthquakes (LFES) and tectonic (non-volcanic) tremor that originate at the top of the brittle-plastic transition zone in the Earth’s crust.

Work over the last decade indicates that signals such as non-volcanic tremor and LFES are generated on the down-dip extension of faults in the transition zone between brittle and ductile behavior, and where pore fluids are thought to be high. In spite of the unusual appearance of their seismic waveforms, evidence suggests that LFES and tremor are the manifestation of shear failure on a fault surface rather than a direct result of fluid flow, much like an earthquake. However, the ease at which tremor is triggered by small stresses (from distant earthquakes and solid earth tides) suggest that pore fluids may in some way influence fault frictional properties at depths where LFES and tremor occur.

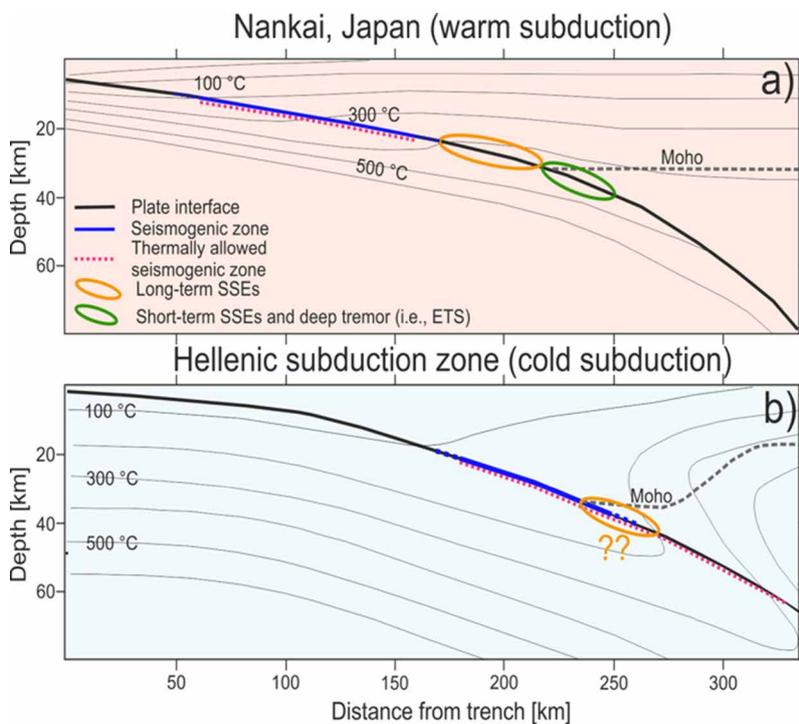


Figure 3: Sketch comparing typical slip behavior in (a) a warm subduction zone and (b) a cold subduction zone. (a) Cross-section along the Nankai trench (Japan) adapted from Gao and Wang (2017). (b) Cross-section across Crete suing slab geometry and thermal structure from a half-space cooling model in Bocchini et al., 2018. (Figure is modified from Bocchini et al., 2020)

The aim of the group’s work on seismic events in fault transition zones is to discover how frictional properties at depths near the brittle-plastic transition zone (~35-45 km for subduction zones) can drive slip at such depths, which in turn loads the shallower part of the fault where large earthquakes occur (Fig. 3). They aim to resolve rupture behavior in the context of bulk fault frictional properties with a long-term plan to encompass comprehensive studies on the effects of rock rheological properties upon energy partitioning in the rupture process.

INFLUENCE OF NATURAL FRACTURES ON THE PERMEABILITY OF A RESERVOIR-SCALE CARBONATE PLATFORM AT LATEMAR

Quantitative estimates of the influence of natural fractures on the permeability of fractured low matrix carbonates are central to many problems of naturally fractured reservoirs. To date, however, our knowledge of the permeability distribution within a naturally fractured reservoir remains low, especially in predicting production performance and associated uncertainties occasioned by changes in stress conditions and related alteration in hydraulic fracture aperture.

The permeability influenced by the host rock's geological history is a function of both matrix (or primary) permeability and natural fracture and fault system. Essentially, to reliably predict the permeability structure of fractured rock, fracture aperture and network connectivity are critical factors, which are significantly affected by changes in stress and loading conditions. Therefore, understanding the differences in fracture aperture as a function of different loading conditions in fractured low-matrix dolostone will provide a profound knowledge of the permeability distribution for robust flow simulation predictions at the reservoir scale. Also, the 3-D distribution of fracture network, their geometrical attributes and their impact on permeability is essential in optimizing the development of naturally fractured reservoirs. Given the limited ability to quantify these complexities, natural fractures pose significant challenges when modeling fluid flow in reservoirs.

In subsurface rocks, natural fractures and fault systems – discontinuities that impact rock strength and permeability – require proper characterization. These fractures create local stress perturbation that controls: (i) the

propagation of hydraulically induced fractures, and (ii) adequate fluid circulation through reservoirs prompted by their structural arrangement. When the fractures are closed or cemented, they tend to form barriers to flow. On the contrary, connected open fractures favour sufficient flow in hydrocarbon and geothermal reservoirs with low matrix permeability.

Characterizing natural fractures in the subsurface is often done using a variety of scales and data. Seismic data can only capture large-scale features like faults ranging from several – to hundreds of meters but do not recognize discrete fracture geometries. In contrast, borehole data recognizes small-scale features or local information around the well, which lack information on the spatial arrangement. Hence, outcrop analogue in bridging the gap offers explicit descriptions of natural fracture networks with adequate resolution over a varied length scale of 0.01 - 1000 m.

Fig. 1, shows the considered carbonate platform, the digital representation of the fracture network and selected representative regions that have been selected for computational modeling and simulation.

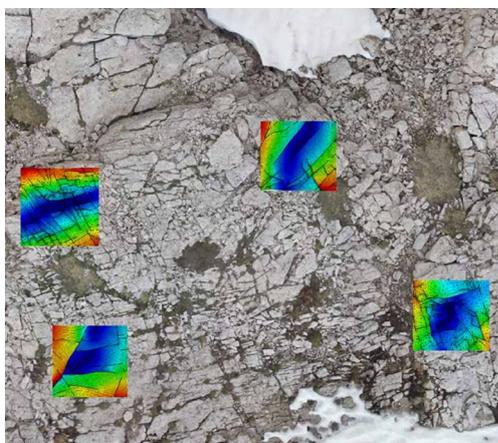


Figure 1: High resolution image of dolostone pavement in the carbonate platform at Latemar. Embedded are the selected sub-sections that have been chosen for numerical simulations. The colors correspond to the magnitude of displacements.

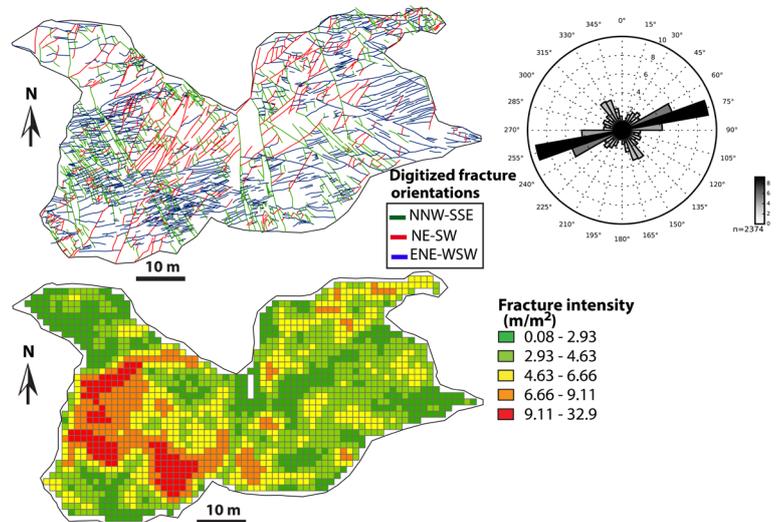


Figure 2: Geometrical characterization of fracture network and fracture intensity in the dolostone pavement

Verfasst von:
 Onyedika A. Igbokwe,
 Xiao Yan,
 Jithender Timothy,
 Ashwani Kumar,
 Günther Meschke,
 Giovanni Bertotti,
 Mathias Müller,
 Adrian Immenhauser



Weblink Lehrstuhl
 Statik und Dynamik



Weblink Lehrstuhl
 Sediment- und
 Isotopengeologie

Fig. 2, shows the three dominant fracture sets, namely NNW-SSE, NE-SW and ENE-WSW and the 2D fracture intensity of the carbonate pavement. The strike orientations of these fracture set commonly vary within a range of 15 to 25 degrees from the average directions. The areas of high fracture intensity reflect the zones of structural complexity, where two or more fractures interact among themselves.

Taking the outcrop analogue of the Latemar carbonate platform (Northern, Italy) as a case study, we model the detailed information of natural fracture geometries and their influence on fluid flow and stresses using a finite-element based computational model.

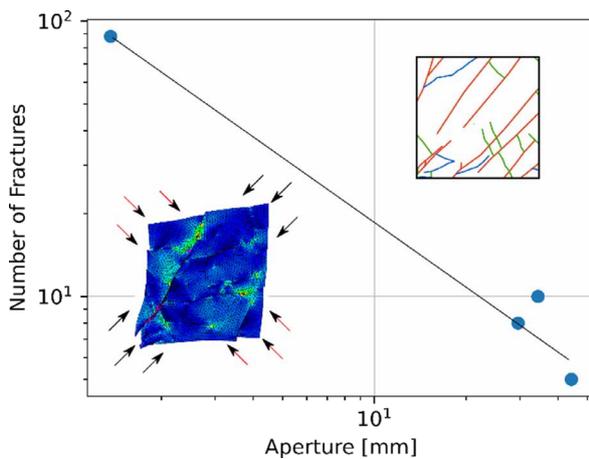


Figure 3: Computational simulation of clustered aperture size distribution. Shown in figure top right: Initial fracture image. Bottom left: Deformed configuration.

First, photographic images of the Latemar carbonate fracture network are used to characterize the fracture geometries and extract the natural fracture topology. After that, selected representative fractured regions are chosen. The natural fracture system is perturbed by applying mechanical loads analogous to the in-situ stresses in the carbonate platform.

Fig. 3, shows the computational results of the influence of loads on the change in aperture of one fracture region chosen from Fig. 1. The change in the aperture size were recorded at each state of loading. The aperture data were grouped into 4 clusters using DBSCAN while the number of fractures and the mean aperture size of each cluster is shown in Figure 3.

Fluid flow in the fractures is assumed to be governed by Cubic Law, while fluid flow in the matrix material is governed by Darcy's Law with a permeability of approx. 2 mD. According to computational simulations, the permeability corresponding to the region shown in Fig. 3 increased by 10 %. This region corresponds to the top-most section in Fig. 1. However, the permeability increase in the other regions increased by upto 100% for the same loading conditions. This could be explained by the low fracture intensity in the selected region (see corresponding location in Fig. 2).

Further information including a detailed analysis of the influence of the changes to the aperture on the permeability will be available in a forthcoming publication.

VERFAHREN ZUR SEISMISCHEN VORAUSERKUNDUNG IM MASCHINELLEN TUNNELBAU

Verfasst von:
Maximilian Trapp,
Andre Lamert,
Christopher Riedel,
Khayal Musayev,
Matthias Baitsch,
Tamara Nestorović,
Wolfgang Friederich,
Klaus Hackl



Weblink

Im maschinellen Tunnelbau werden Tunnelbohrmaschinen mit Durchmessern bis zu 17 m verwendet. Diese tragen das Gestein durch Rotation des Frontschildes, auf welchem verschiedene Schneidwerkzeuge integriert sind, voll automatisiert ab. Durch sprunghafte Veränderungen des Bodens aufgrund geologischer Schichtwechsel oder Störkörper kann die Tunnelbohrmaschine beschädigt werden oder es können Schäden an Gebäuden durch Oberflächensetzungen entstehen.

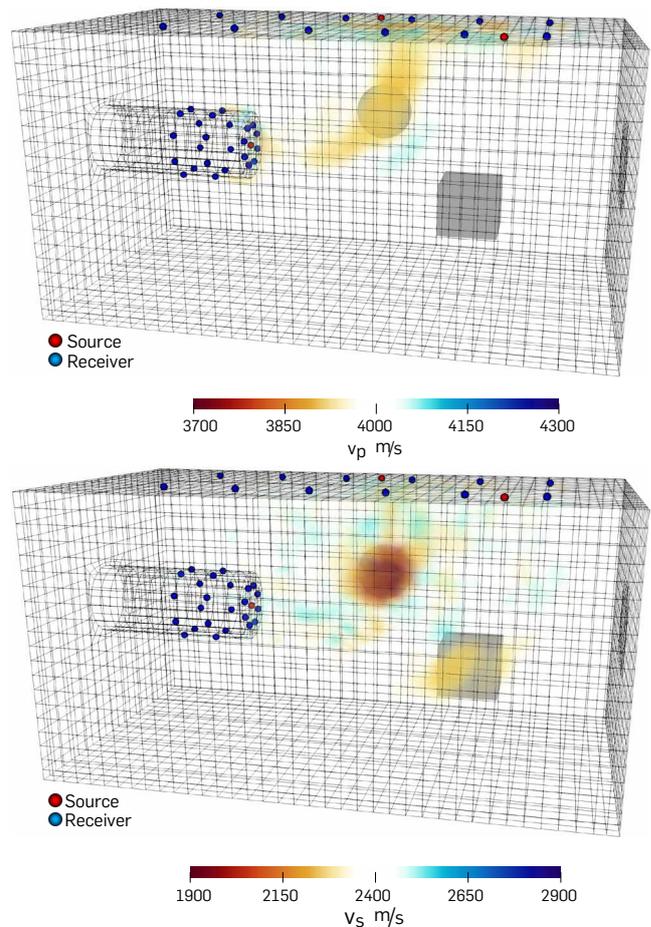
Das Teilprojekt A2 des Sonderforschungsbereichs 837 „Interaktionsmodelle im maschinellen Tunnelbau“ beschäftigt sich mit der Entwicklung von Konzepten zur Vorauserkundung im Tunnelbau mittels akustischer Verfahren, um die Beschaffenheit des Bodens vor der Tunnelbohrmaschine vorauszusagen. Dadurch sollen Kosten durch Schäden und Stehzeiten reduziert sowie ein möglichst sicherer Betrieb gewährleistet werden.

Zur Vorauserkundung werden durch Senderstationen seismische Wellen im Boden angeregt. An Empfängerstationen werden diese Wellen, welche zuvor durch Störungen im Erdreich gebrochen oder reflektiert wurden, aufgezeichnet. Somit enthalten die aufgezeichneten Daten Informationen über die Beschaffenheit des Bodens. Zusätzlich wird die seismische Wellenausbreitung in einer Tunnelumgebung durch verschiedene numerische

Verfahren auf Basis von Bodenmodellen simuliert. Um die elastischen Materialparameter des Bodens zu rekonstruieren, werden nun die gemessenen Daten mit den Ergebnissen der Simulation verglichen. Durch das Verfahren der Full Waveform Inversion ist es möglich, die Parameter des Bodenmodells schrittweise so zu verändern, dass die Unterschiede zwischen den simulierten und gemessenen Daten (Misfit) minimiert werden. Das Modell mit dem geringsten Unterschied wird als wahres Bodenmodell angenommen.

Zur Erprobung der Inversionsverfahren wurden im ersten Schritt synthetische Messdaten eingesetzt. Dabei kann der Einfluss der Positionierung von Sendern und Empfängern gut untersucht werden. In Bild 1 ist das Ergebnis einer Inversion mit synthetischen Daten illustriert, bei der sich zwei Störkörper mit unterschiedlichen Formen und Materialeigenschaften vor der Tunnelfront befinden (angedeutet durch die Schattierungen). Dazu wurde ein Verfahren eingesetzt, welches die Wellengleichung im Frequenzbereich löst und die adjungierte Methode zur Inversion verwendet. Eine vorteilhafte Verteilung von Sender- (rote Punkte) und Empfängerstationen (blaue Punkte) an der Erdoberfläche sowie am Tunnel ermöglichen eine frühzeitige Detektion.

Bild 1: Prognose eines Hindernisses vor der Ortsbrust eines Tunnels: Durch Wellenforminversion angenäherte Verteilung der elastischen Materialparameter: P-Wellen- (oben) und S-Wellengeschwindigkeit (unten) in einer Tunnelumgebung.



Um die Computersimulationen zu verifizieren wurde zusätzlich ein Experiment entwickelt, das die Untersuchung von Ultraschallwellenausbreitung in verschiedenen Materialien ermöglicht. Die Verwendung von Ultraschall ist aufgrund des großen Skalenerunterschieds zwischen Labor und einer echten Tunnelumgebung nötig. Die Wellen werden durch das Herzstück des Versuchs, ein an ein Positionierungssystem angeschlossenes Laserinterferometer, auf der Nanometerskala

aufgezeichnet. Eine Aluminiumprobe von 20 cm x 10 cm x 10 cm wird verwendet, um eine Bohrung innerhalb der Probe allein mittels der aufgezeichneten Wellen zu detektieren (siehe Bild 2, links). Der Versuch, die unbekannte Bohrung zu rekonstruieren, kann durch die bereits beschriebene adjungierte Methode geschehen oder durch nicht-deterministische Verfahren mit Parameterraumreduktion, falls das gesuchte Objekt an sich bekannt, aber seine Eigenschaften unbekannt sind.

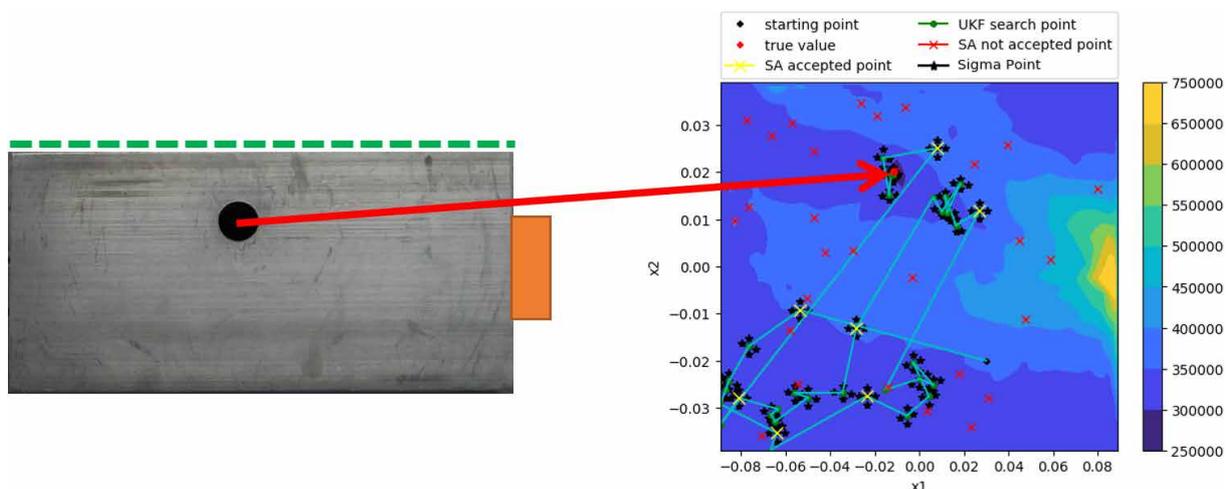


Bild 2: Links: Skizze des Versuchs mit Bohrung. Das Profil der Messpunkte ist grün, der Sender orange dargestellt. Rechts: Misfitkarte, die den Unterschied zwischen gemessenen und synthetischen Wellenformen für verschiedene Bohrungskordinaten farblich darstellt. Der rote Punkt an der Pfeilspitze zeigt die rekonstruierte Bohrungsposition und die grünen Linien den Inversionsverlauf vom Startwert rechts unten aus.

Im zweiten Fall ist zum Beispiel die Existenz der Bohrung bekannt, aber die Koordinaten der Bohrung sind zu bestimmen. Ausgehend von Startkoordinaten sucht der Algorithmus die Koordinaten, bei denen der Misfit am geringsten ist. Der rechte Teil von Bild 2 zeigt den Misfit und den Verlauf der Suche während der Inversion in Abhängigkeit von den Bohrungskoodinaten. Es wird deutlich, dass der Algorithmus in der Lage ist, die wahre Position zu finden, obwohl der Bereich in der Nähe des

globalen Minimums sehr schwach ausgeprägt ist. Dies liegt an der nicht-deterministischen Natur des entwickelten Algorithmus, der das Unscented Kalman Filter (UKF) mit dem Algorithmus der Simulierten Abkühlung (SA) kombiniert und dabei viele verschiedene Parameterkonfigurationen untersucht.

Daneben kann der Aluminiumblock auch mit der adjungierten Methode untersucht werden. Bei der Anwendung bilden sich wolkenförmige Strukturen mit stark veränderten

Materialparametern an der Stelle der Bohrung heraus, die ein klares Indiz dafür darstellen, dass sich die Bohrung an dieser Position befindet (Bild 3).

Somit wurde nachgewiesen, dass die Inversionsalgorithmen, welche für synthetische Tunneldaten gute Ergebnisse erzielen, auch mit realen Messdaten aus einem kleinskaligen Experiment erfolgreich Störungen detektieren können.

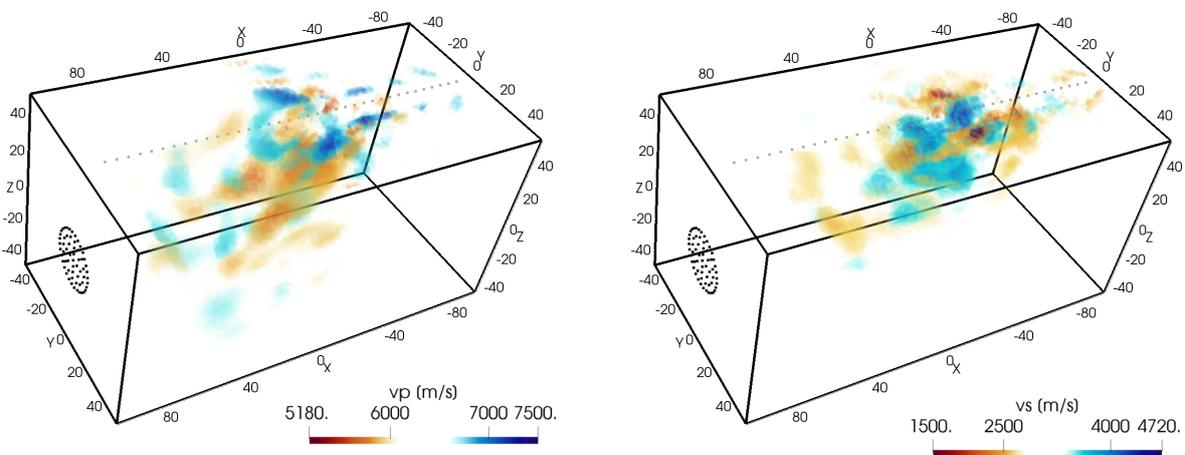


Bild 3: Verteilung der prognostizierten Materialparameter (P- und S-Wellen-geschwindigkeit) im Aluminiumblock nach der Inversion mit der adjungierten Methode.

FORSCHUNGSPROJEKT KOINOR – ENTWICKLUNG EINES SPRITZBAREN GEOPOLYMERBETONS ALS BRANDSCHUTZ- UND INSTANDSETZUNGSMASSNAHME FÜR TUNNELBAUWERKE

Verfasst von:
Götz Vollmann,
Anna-Lena Hammer



Weblink

Die bestehenden Tunnelbauwerke der Verkehrsträger Straße, Schiene und U-Bahn sind im Laufe ihrer Nutzungsdauer zeitweise starken Belastungen ausgesetzt, die zu Schäden an der Tunnelsubstanz führen können. Zusätzlich sind etwa 15 % der Bahntunnelbauwerke älter als 150 Jahre und auch die ältesten Straßentunnel sind über 50 Jahre in Betrieb. Dementsprechend wird es zukünftig vermehrt Instandsetzungsbedarf geben bzw. bauliche Verbesserungen notwendig werden.

Entscheidend für die entsprechenden baulichen Maßnahmen sind – neben der Alterung der Bausubstanz – auch die Veränderungen der Vorschriften und die daraus resultierenden steigenden Sicherheitsanforderungen an die Tunnel selbst. Die Tunnelbrände im Mont-Blanc-Tunnel (1999), im Tauerntunnel (1999), im Gotthardtunnel (2001) und

im Eurotunnel (2008) haben gezeigt, dass neben den betrieblichen Verbesserungen auch Verbesserungen im Bereich des baulichen Brandschutzes erforderlich sind. Die gültigen Normen und Vorschriften wurden dahingehend novelliert und berücksichtigen nun auch diese Verbesserungen.

Die überwiegende Mehrheit des Bauwerksbestandes wurde jedoch nach Vorgaben erstellt, die heute als veraltet angesehen werden müssen. Dies bedeutet, dass im Ereignisfall erhebliche Probleme auf der Widerstandsseite und damit potenziell große Schadensausmaße bei Brandereignissen möglich sind, verbunden mit den hieraus ableitbaren Einschränkungen für die Bauwerksverfügbarkeit und so resultierenden gesamtgesellschaftlichen Kosten. Eine Instandsetzung oder bauliche Verbesserung auf das heutige Sicherheitsniveau ist daher zeitnah, spätestens aber bei einer alterungsbedingten Instandsetzung des Bauwerks, erforderlich. Dies kann den Bestandsschutz bestehender Bauwerke auflösen und damit die Konformität mit geltenden Vorschriften unumgänglich machen.

Vor diesem Hintergrund zielt das BMBF-geförderte Projekt KOINOR („Konzepte und Verfahren zur brandschutz-technischen Ertüchtigung und Nachrüstung unterirdischer Infrastruktur“, gefördert im

Zuge des Sicherheitsforschungsrahmenprogramms SIFO) darauf ab, neue Lösungsansätze und Methoden zur Bewältigung der geschilderten Problemstellung zu entwickeln und deren Wirksamkeit durch geeignete Untersuchungen sicherzustellen. Erste Voruntersuchungen haben gezeigt, dass Geopolymerbetone gute Eigenschaften hinsichtlich hoher thermischer Einwirkungen aufweisen, wie sie bei Tunnelbränden vorauszusetzen sind. Um den mitunter anspruchsvollen Geometrien einer Tunnelinnenschale gerecht zu werden, sind daher sowohl Spritzmörtel als auch Spritzbetone auf Geopolymerbetonbasis zu entwickeln, um sowohl Instandsetzungen als auch in die Statik eingreifende bauliche Verbesserungen durchführen zu können. Die wissenschaftliche Herausforderung liegt dabei einerseits auf der materialtechnologischen Ebene, insofern nachzuweisen ist, dass eine geeignete Rezeptur die verschiedenen Anforderungen an den Brandwiderstand, die Sulfat- und Tausalzbeständigkeit aber auch die Dauerhaftigkeit einer der-

artig hergestellten Konstruktion erfüllen kann. Andererseits sind verfahrenstechnische Hürden zu überwinden. Geopolymerbetone funktionieren chemisch grundsätzlich anders als zementbasierte Systeme, weshalb gängige und am Markt befindliche Zusatzmittel, wie Beschleuniger oder Fließmittel, hier nicht eingesetzt werden können. Ebenso müssen neue Methoden zur Vorbehandlung des Untergrundes und zur Nachbehandlung des frischen Betons entwickelt werden, die an die Randbedingungen des zementlosen Systems angepasst sind.

DERZEITIGE ARBEITEN IM PROJEKT

Zur Erlangung der geschilderten Erkenntnisse wird derzeit ein umfangreiches Untersuchungsprogramm an der RUB durchgeführt (Bild 1).

Als Konsortialpartner beschäftigen sich dabei die MC Bauchemie mit den bauchemischen Fragestellungen, während sich die Porr AG hauptsächlich auf baupraktische Erwägungen und die Durchführung

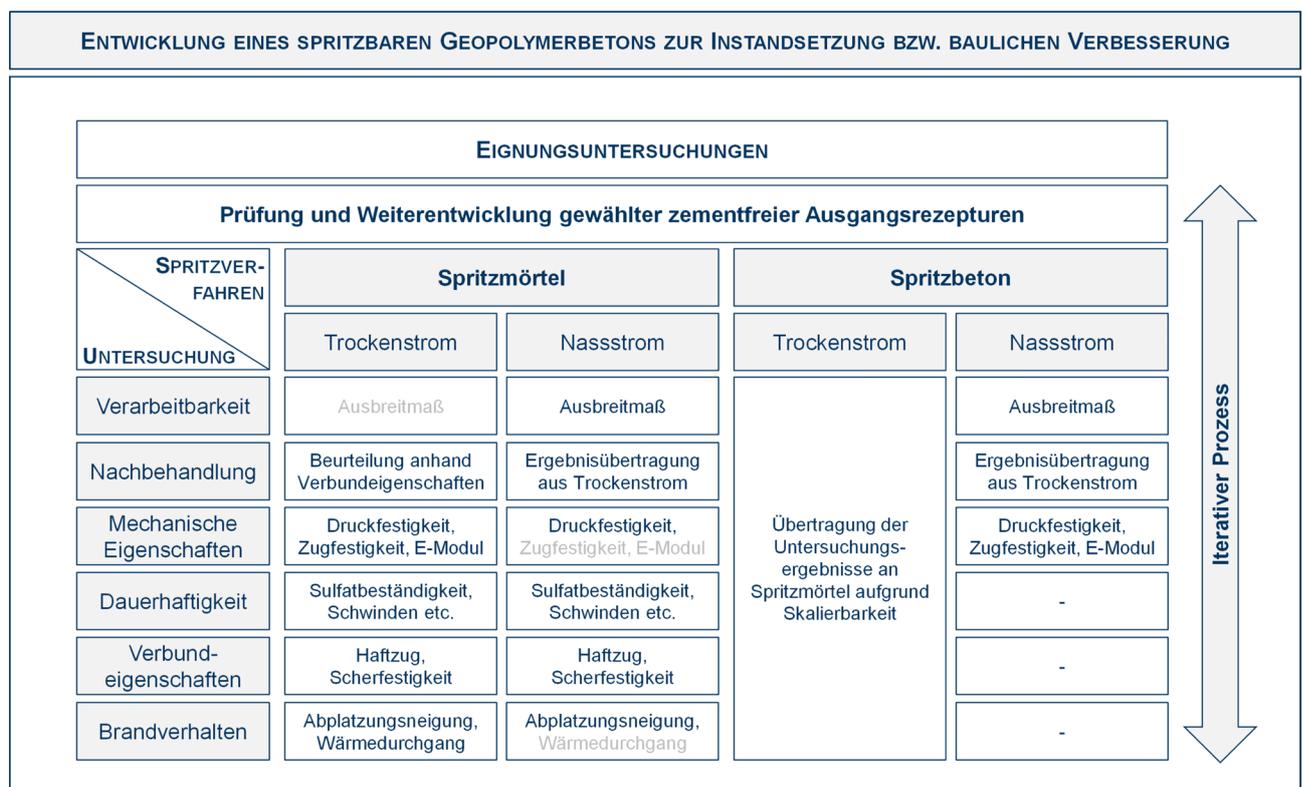


Bild 1: Eignungsuntersuchungen KOINOR

eines Demonstrators konzentriert. Flankiert werden diese Untersuchungen von mechanischen Untersuchungen bei der STUVA in Köln. Die notwendigen Prüfkörper, die insbesondere im Hinblick auf kombinierte Strukturen hergestellt werden müssen (bspw. Coating auf Mauerwerks- oder Ort betonstruktur) werden dabei mithilfe des Spritzbetonversuchsstandes der RUB produziert (Bild 2) und dann den folgenden Eignungsprüfungen zugeführt.

Aufgrund der bislang hervorragenden Ergebnisse wurde durch das BMBF kürzlich eine substantielle Aufstockung des Projektbudgets gewährt, womit ein großer modularer Brandofen an der RUB angeschafft werden konnte. Mit dessen Hilfe können nun auch großformatige Prüfkörper thermischen Belastungen bis 1200°C ausgesetzt werden, die – aufgrund der modularen Bauweise des Ofens – in verschiedenen Geometrien und auch in belastetem Zustand verbaut werden können. Derzeit werden am Lehrstuhl TLB zudem Tübbinge hergestellt, in denen aufwendig Temperatursensoren verbaut sind. Ziel ist es, mit diesen den Wärmedurchgang und das Abplatzverhalten bei geopolymerbeschichteten Tübbingen unter Applikation der EBA-Brandkurve zu testen. Die Ergebnisse dieser Versuche sind für Anfang kommenden Jahres zu erwarten.



Bild 2: Spritzbetonversuchsstand der Ruhr-Universität Bochum; Auftrag Geopolymerspritzbeton auf einer Mauerwerksstruktur

INTERVIEW MIT ...

WENN DIE FASZINATION FÜR SIMULATIONSMODELLE IM TUNNELBAU ZUR UNTERNEHMENSGRÜNDUNG FÜHRT – MARKUS SCHEFFER, M. SC. IM INTERVIEW

Schon während seines Studiums im Bereich Bauingenieurwesen an der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften begeisterte Markus Scheffer, M. Sc. das Themenfeld der Prognose und der Planung von Baustellen. „Wie genau kann bzw. muss die Realität zur Generierung verwendbarer Ergebnisse abgebildet werden und mit welchen Methoden gelingt dies?“ sind Fragestellungen, die in vielen Disziplinen einen enormen Stellenwert eingenommen haben. Diese Methoden an realen Projekten testen zu können, war einer der Hauptbeweggründe für Markus Scheffer, sich am Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen als wissenschaftlicher Mitarbeiter weiter mit der Ausarbeitung von Prognosemodellen für den Bauablauf zu beschäftigen. Der Sonderforschungsbereich 837 „Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau“ und die hier assoziierten Projekte bildeten für die realitätsnahen Untersuchungen von Bauablaufsimulationen das bestmögliche Arbeitsumfeld. Heute führt Markus Scheffer mit SD Ingenieure GmbH sein eigenes Unternehmen und wurde zudem 2019 mit dem Sonderpreis Startup im Rahmen des Wettbewerbs „Auf IT gebaut – Bauberufe mit Zukunft“ ausgezeichnet. Im Interview gibt Markus Scheffer weitere Einblicke in seinen beruflichen Weg bis hin zum erfolgreichen Gründer.



Bild 1: Markus Scheffer, Gründer der Firma SD Ingenieure GmbH

Während Ihres Studiums haben Sie bei der Firma Herrenknecht AG, die sich als führender Anbieter umfassender technischer Lösungen im maschinellen Vortrieb versteht, in Mexiko gearbeitet. Inwieweit hat Sie dieser Aufenthalt bei Ihrer Entscheidung, sich mit der Modellierung und dem Unterirdischen Bauen weiter auseinanderzusetzen, beeinflusst?

Die Erfahrungen, die ich bei Herrenknecht sammeln durfte, haben ganz klar die Entscheidung in die Richtung beeinflusst, dass ich mich intensiver mit dem Ablauf und den Abhängigkeiten von Prozessen auf der Baustelle auseinandersetzen wollte. Insbesondere im maschinellen Tunnelbau hat man mit einer Vielzahl von repetitiven Vorgängen zu tun. Auf der Baustelle merkt man dann plötzlich, wie schon kleine Entscheidungen, wie z. B. die Positionierung von Lagerflächen, über die gesamte Projektlaufzeit einen enormen Einfluss auf den Baufortschritt haben. Durch eine Änderung in der Reihenfolge der Materiallandienung der Vortriebsmaschine, wodurch vielleicht nur einige zehn Sekunden pro Zyklus Zeitersparnis gewonnen werden, lassen sich über mehrere tausend Vortriebszyklen einige Wochen Bauzeit einsparen. Gleichzeitig war es aber auch wichtig zu sehen, welche unterschiedlichen Einflüsse auf eine Baustelle einwirken können, die im Vorfeld nicht kalkulierbar sind, angefangen von schlechtem Wetter bis hin z. B. zu Tarifstreiks der lokalen Transportindustrie in Mexiko.

Aus dem SFB 837 heraus haben Sie das Unternehmen SD Ingenieure GmbH gegründet. Wann genau ist die Idee dazu entstanden? Welche Arbeitsgebiete und Leistungen decken Sie mit Ihrem Unternehmen ab?

Die Idee zur Gründung eines eigenen Unternehmens entwickelte sich während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 837. Hier stand immer im Fokus, die entwickelten Methoden direkt auf reale Referenzprojekte anzuwenden. Dieser Prozess löste bei mir verstärkt den Gedanken aus: „Hey, das funktioniert ja auch in der Praxis!“. So fasste ich den Entschluss, den Schritt der Gründung einfach zu gehen. Zu Beginn den Kunden jedoch zu verdeutlichen, in welcher Projektphase unser Unternehmen welche Leistungen erbringen kann und welcher bedeutsamer Mehrwert dadurch für ihn entsteht, war nicht immer einfach. Hier spielt uns aktuell aber die allgemeine Digitalisierungsinitiative in der Bauindustrie in die Karten, da diese die Bereitschaft der Unternehmen begünstigt, neue digitale Methoden auszuprobieren. Wir haben uns daher darauf konzentriert, den gesamten Digitalisierungsprozess zu unterstützen und dies als Türöffner für Bauablaufsimulationen zu nutzen. Somit erschließen sich derzeit unsere Leistungsgebiete zusätzlich über BIM-Leistungen, wie z. B. BIM-Beratung oder die Gesamtkoordination in verschiedenen Projekten.

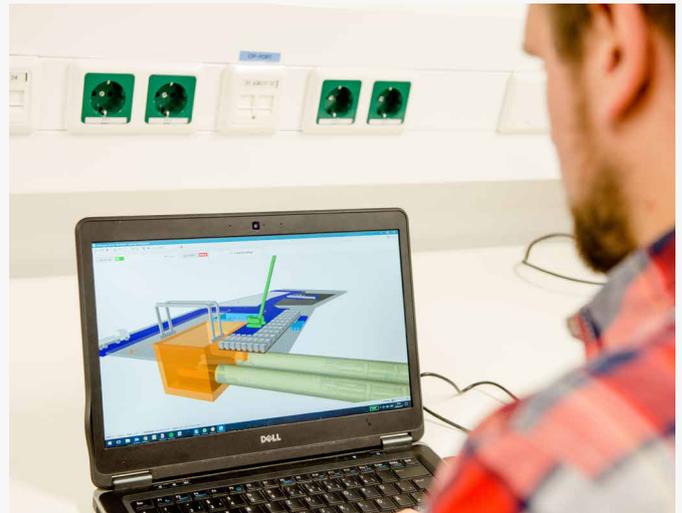


Bild 2: Markus Scheffer bei der Arbeit an einem Simulationsmodell zur Bauplanung und Prozessüberwachung von Tunneln (© RUB, Marquard)

Welche Chancen bieten Simulationsmodelle in der Bauplanung und Prozessüberwachung?

Ich denke, dass hier noch ein großes Potential liegt, welches zwangsläufig genutzt werden muss. Im Prinzip ist jährliches wirtschaftliches Wachstum nur möglich, wenn man entweder jedes Jahr z. B. 2 % mehr Beschäftigte engagiert und bei gleicher Effizienz 2 % mehr Bauvolumen abwickelt oder aber mit den vorhandenen Ressourcen 102 % der Leistung des Vorjahres erzielt. Den ersten Aspekt kann man aufgrund des eher schwierigen Arbeitsmarktes vernachlässigen. Der zweite Punkt impliziert eine Effizienzsteigerung, welche nur durch innovative, digitale Ansätze erbracht werden kann. Mithilfe von Simulationsmodellen die Auswirkungen einer Planung auf die Ausführung im Vorfeld detaillierter bewerten zu können, bietet hier ein großes Potential zur Steigerung der Effizienz. Weitergehend ermöglicht eine Prozessüberwachung auf der Baustelle und die Kopplung dieser mit Simulationsmodellen, auch während der Bauausführung aktiv in den Prozess einzugreifen und einen störungsfreien Ablauf zu garantieren.

Wie können Modellierungen Logistikkonzepte speziell im maschinellen Tunnelbau unterstützen? Haben Sie ein konkretes Beispiel für uns?

Insbesondere der maschinelle Tunnelbau ist durch den hohen Grad an Automatisierung und die häufig wiederkehrenden Prozessabläufe gut für die Anwendung von Simulationsmodellen geeignet. Da in jedem unterirdischen Bauwerk die Andienung mit Materialien eine große Herausforderung darstellt, sind vor allem Fragestellungen der Logistikplanung von besonderer Bedeutung. Als konkretes Beispiel fällt mir ein Projekt ein, im Rahmen dessen zur Andienung der Tunnelvortriebsmaschine zwei unterirdische, zuggebundene Andienungssysteme eingesetzt wurden. Da jedoch die Vortriebsleistungen weit unter den Erwartungen blieben, wurde als Lösungsvorschlag die Nutzung eines

dritten Tunnelzuges diskutiert. Durch ein Simulationsmodell, welches die Tunnelgleise, die Position der Tunnelweichen, die jeweilig aktuelle Position der Vortriebsmaschine sowie die auf der Baustelle eingesetzten Kransysteme berücksichtigt, konnten wir zeigen, dass ein dritter Tunnelzug nicht nur keine Verbesserung der Tagesleistung zur Folge hätte, sondern die Leistung aufgrund der komplexeren Rangierarbeiten sogar noch reduziert würde. Somit hätte diese Maßnahme eine, wie man im Deutschen so schön sagt, „Verschlimm-besserung“ erzielt. Dies im Vorfeld zu belegen und auch visuell darzustellen, ist ein großer Vorteil in Projekten.

Können Sie ein Projekt benennen, welches für Sie besonders herausfordernd war und warum?

Besonders herausfordernd war die Analyse der Logistiksysteme für vier gleichzeitig zu versorgende Tunnelvortriebsmaschinen, welche für die Unterfahrung eines Flughafenrollfeldes exakt 30 Tage Zeit hatten. Diese Sperrpause war vom Flughafenbetreiber eingerichtet worden, um allen Sicherheits-

aspekten genüge zu tragen. Nach diesen 30 Tagen mussten alle Maschinen das Rollfeld untertunnelt haben. Hier würden schon kleine Störungen im planmäßigen Ablauf dazu führen, dass die Tagesleistungen nicht erreicht würden und die Sperrzeit der Rollbahn verlängert werden müsste. Die Fragestellung war also, ein System zu finden, welches den Anforderungen genügt und gleichzeitig noch Leistungsreserven beinhaltet. Es musste daher eine effiziente und robuste Lösung des Logistik-Setups gefunden werden, welche im Vorfeld bereits ihre Leistungsfähigkeit belegen kann. Durch die Erstellung von Simulationsmodellen konnten wir schließlich zeigen, welche Systemvarianten vorteilhafter gegenüber anderen waren und konnten die passende Lösung herbeiführen.

Wie schätzen Sie die zukünftigen Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen ein?

Aktuell ist die Bauindustrie bezüglich digitalen Methoden so langsam in Bewegung geraten. Durch die Einführung von digitalen Planungsmethoden, wie z. B.

Building Information Modeling, haben schon einige Projekte die Planungsphase mit neuen Konzepten erfolgreich abgeschlossen. Jetzt gilt es, diesen digitalen Datenschatz in den Projekten bis hin zur Ausführung und zum Betrieb mitzunehmen. Insbesondere hier sehe ich noch viel Potential, da die Wertschöpfungskette nach der Planung erst so richtig losgeht. Da sich SD Ingenieure darauf spezialisiert hat, sich in den digitalen Planungsprozess einzuklinken und auf Basis von Bauwerksmodell-daten unsere Simulationsmodelle zu füttern, sehen wir hier auch für uns noch große Entwicklungsmöglichkeiten.

Interviewt von: Lina Boehme, B. A. (RUB)

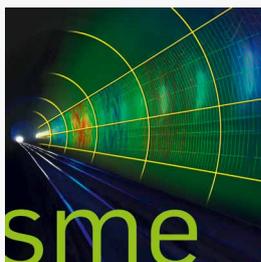
MARKUS SCHEFFER
SD Ingenieure GmbH
www.sd.engineering
info@sd.engineering



IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Research Department
Subsurface Modeling & Engineering
Ruhr-Universität Bochum



RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM **RUB**

KONTAKT

Ruhr-Universität Bochum
IC 6/185
Universitätsstrasse 150
44801 Bochum

Sprecher des RDs SME
Prof. Dr. Günther Meschke
guenther.meschke@rub.de

Science Manager
Dr.-Ing. Jithender J. Timothy
timothy.jithenderjaswant@rub.de

Webseite: rdsme.rub.de

NEWSLETTER REGELMÄSSIG ERHALTEN ODER ABBESTELLEN?

Bitte senden Sie eine E-Mail an
timothy.jithenderjaswant@rub.de
oder scannen Sie den
folgenden QR-Code.

