

RWTHTHEMEN

BERICHTE
AUS DER
RHEINISCH-
WESTFÄLISCHEN
TECHNISCHEN
HOCHSCHULE
AACHEN

AUSGABE 2/2015

ISSN-NR.
0179-079X

Bauingenieurwesen



Rolls-Royce Power Systems AG



Rolls-Royce

Pioniergeist. Der beste Antrieb, die Dinge zu bewegen.

1986 – das Rennboot Virgin Atlantic Challenger II
mit den MTU-Motoren der Baureihe 396 überquert
den Atlantik in ungebrochener Rekordzeit.



Maybach, Daimler, Benz, Rolls und Royce – mit ihrem Pioniergeist haben sie Großes geschafft und im wahrsten Sinne des Wortes vieles in Bewegung gebracht. Ohne diese Leidenschaft wären wir nicht da, wo wir heute sind. Denn mit der traditionell selben Entdeckungsfreude lassen wir uns auch heute inspirieren. So treibt jeder unserer Mitarbeiter die Dinge erfolgreich voran.

Seien Sie neugierig. Realisieren Sie Ihre Ideen und erfahren Sie mehr unter www.rrpowersystems.com/karriere

In nahezu allen Unternehmensbereichen bieten wir Studenten ganzjährig die Gelegenheit, Praktika zu absolvieren oder Abschlussarbeiten anzufertigen.

Powered by pioneers.

Rolls-Royce Power Systems Brands



Impressum
Herausgegeben im Auftrag des
Rektors der RWTH Aachen
Dezernat 3.0 - Presse
und Kommunikation
Templergraben 55
52056 Aachen
Telefon 0241/80-94327
Telefax 0241/80-92324
pressestelle@rwth-aachen.de
www.rwth-aachen.de

AUS DEM INHALT

Redaktion:
Angelika Hamacher
Melanie Kaesler
Nora Tretau

Titelbild:
Überprüfung der Maße
der angelieferten
Planhochlochziegel.
Foto: Peter Winandy

Rücktitel:
Frühwarnsystem EarlyDike
des Instituts für Wasserbau
und Wasserwirtschaft
der RWTH Aachen.
Foto: Peter Winandy

Anzeigen:
print'n'press, Aachen
jh@p-n-p.de

Anzeigenberatung:
Liz Rüster
Telefon 06132/43 44 38
liz.ruester@web.de

Gestaltung:
Kerstin Lünenschloß,
Aachen

Druck:
Druckerei und
Verlagsgruppe Mainz GmbH,
Aachen

Gedruckt auf
chlorfrei gebleichtem Papier

Das Wissenschaftsmagazin
„RWTH-Themen“ erscheint
einmal pro Semester.

Nachdruck einzelner Artikel,
auch auszugsweise, nur mit Ge-
nehmigung der Redaktion.
Für den Inhalt der Beiträge
sind die Autoren verantwortlich.

Wintersemester 2015/16

Bauingenieurwesen

Bauingenieurwesen und globale Herausforderungen Die Fakultät für Bauingenieurwesen	6
Digitale Planungsmethoden für gebäudetechnische Anlagen Building Information Modeling – Methoden ermöglichen Planung und Simulation von Gebäuden und Anlagen sowie Energiebedarfsermittlung	8
Mehrwert durch mehr Perspektiven Wie eine Brückenprofessur neue Perspektiven in den Ingenieurwissenschaften aufzeigt	12
Eisbeton – Wenn Wasser trägt und abdichtet Baugrundvereisung als reversible Hilfsmaßnahme im Tief- und Tunnelbau	16
Indoor-Positionierung Automatische Lokalisierung in Gebäuden mit künstlichen Magnetfeldern	22
Schnell, gut und günstig Werksmäßig vorgefertigte Ziegelwände mit Zweikomponenten-Polyurethanklebstoff	28
SMART-DECK Ein Verstärkungs- und Schutzsystem für Brückenbauwerke	32
Schneller rechnen – aber trotzdem genau Die Reduktion komplexer Modelle auf wenige Unbekannte	38
Die Leichtigkeit des Betons Dünnwandige Schalentragwerke aus hochleistungsfähigen zementartigen Verbundwerkstoffen	42
Bitte umweltfreundlich! Umweltschutz als Wettbewerbsfaktor bei öffentlichen Bauprojekten	46
Arzneimittelrückstände in der aquatischen Umwelt Siedlungswasserwirtschaftler auf Spurensuche	52
Innovative Mobilitätskonzepte für RWTH, Stadt und Region Aachen sowie europäische Metropolen Mobilität 2.0 muss nutzerorientiert und vernetzt gedacht werden	56
Küstenschutz in Aachen Deiche und Sturmfluten im Labor	62
Künstliche Intelligenz im Bauwesen Intelligente Dämpfersysteme zum Schutz von Menschen und Bauwerken	68
Studierende und Praktiker lernen mit Serious Games SeCom2.0 bereitet auf Hochwasserrisikomanagement vor	72
Pünktlichere Züge durch IT-Verfahren Fahrplankonstruktion und Disposition im Eisenbahnwesen	76
Namen & Nachrichten	82

Vorwort

4

Ein Blick auf die aktuelle Forschungslandschaft zeigt: Mit 143,5 Millionen Euro Fördergeld der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) konnte die RWTH ihre Führungsposition in den Ingenieurwissenschaften verteidigen. Um die Spitzenforschung zukünftig auch auf europäischer Ebene weiter ausbauen zu können, bedarf es eines soliden wissenschaftlichen Umfelds, das stets flexibel auf schnelllebige Entwicklungen reagiert.

Angesichts einer stetig wachsenden Weltbevölkerung, zunehmender Ressourcenknappheit und sich verändernden Umwelteinflüssen gewinnt die Erforschung neuer nachhaltiger Lebensweisen und der dazugehörigen bautechnischen Strukturen an Bedeutung. Tiefgreifende Konzepte sind gefragt. Wirtschaftliche Entwicklung, zunehmende Mobilität, Wohnen und Arbeiten in unterschiedlich verdichteten Räumen, veränderte Bevölkerungsstrukturen und damit einhergehende Lebensgewohnheiten, neue Technologien und Werkstoffe im Bauwesen und die Verringerung von Emissionen sind nur einige Schlagwörter eines sich verändernden Szenarios. Hierfür gilt es, sinnvoll neue Lösungen im Bauwesen und darüber hinaus zu finden.

Die Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen legt nicht zuletzt dank ihres breiten Leistungsspektrums den Grundstein für die Erforschung von nachhaltigen und ressourcenschonenden neuen Bauweisen und Raumnutzungskonzepten. Die Verknüpfung von Forschung und Lehre sowie die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen Fakultäten ermöglicht den Blick über den eigenen Tellerrand hinaus und erlaubt es, auf die globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts adäquat reagieren zu können.

Diese Ausgabe der „RWTH THEMEN“ demonstriert die facettenreiche Arbeit in Forschung und Anwendung und zeigt, wie gutes Bauen gelingen kann.

Bei der Lektüre wünsche ich Ihnen viel Vergnügen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Ernst Schmachtenberg
Rektor der RWTH Aachen



Bauingenieurwesen und globale Herausford

Die Fakultät für Bauingenieurwesen gehört zu den Gründungsfakultäten der RWTH Aachen und hat sich seither in vielfältiger Weise weiterentwickelt. Die Anforderungen an das Bauen und das Bauingenieurwesen waren schon immer vielfältig, gesellschaftlich relevant und interdisziplinär. Die Bauaufgaben betreffen den konstruktiven Hochbau, den Wegebau und den Wasserbau. Deswegen ist es nur folgerichtig, dass sich vor allem das Bauwesen den globalen Herausforderungen im 21. Jahrhundert stärker stellen muss als andere Fachdisziplinen. Überlegungen zur Nachhaltigkeit, zur Energieeffizienz und Ressourcenschonung, ergänzt durch die Lebenszyklusbetrachtungen von Bauwerken, die Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel und den demographischen Wandel sowie generelle Fragestellungen von Mobilität und Verkehr sind daher zentrale Forschungsbereiche an der Fakultät für Bauingenieurwesen, die in vier Forschungsfeldern und in der Lehre an der Fakultät interdisziplinär und interfakultativ vertreten werden.

Baustoffe und Konstruktiver Ingenieurbau

Der Bau und Betrieb von Bauwerken ist einer der material- und energieintensivsten Wirtschaftsbereiche. So resultieren annähernd 40 Prozent des Weltenergieverbrauchs aus der Herstellung und dem Betrieb von Gebäuden. Im

Zuge einer stetig wachsenden Weltbevölkerung werden die Nachfrage nach Bauwerken für Wohnen, Arbeit und Infrastruktur und damit auch der Ressourcenverbrauch weltweit weiter ansteigen. Um den Herausforderungen der Zukunft gerecht zu werden, bestimmen Aspekte wie Nachhaltigkeit, Dauerhaftigkeit und vor allem die Wiederverwertbarkeit zunehmend den Entwurf und die Auslegung von Tragstrukturen. Die Vorteile neuer Werkstoffe werden jedoch oft nur marginal genutzt, da sie bei den vorherrschenden Bauarten oder Entwurfsphilosophien nicht zum Tragen kommen. Daher liegt ein Forschungsschwerpunkt in der Entwicklung und intelligenten Kombination der neuen Hightech-Werkstoffe in Form von Hochleistungs- und Verbundwerkstoffen. Die Struktur der Fakultät erlaubt hier eine hervorragende und besondere Kombination aus Baustoffforschung, Tragwerksforschung, Konstruktionsverfahren und Umsetzung. Eine Leitfrage ist, wie effiziente Hightech-Bauelemente und -Tragkonstruktionen entstehen können. Die Innovationen finden dann Anwendung in Gebäudehüllen und Tragstrukturen für adaptive und ressourceneffiziente Gebäude, ebenso wie in Infrastruktursystemen und Verkehrsbauten.

Wasser und Umwelt

Die sichere und nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser bildet nicht nur in Hinblick auf Klimaänderungen eine zentrale und globale Herausforderung. Die allgemeine Verfügbarkeit von ausreichend guter Wasserqualität ist eine zentrale Voraussetzung für das Leben auf unserem Planeten – sowohl für die Nahrungsmittelproduktion als auch die Hygiene. Die Bearbeitung und Lösung der Fragestellungen finden auf der Grundlage modellbasierter, experimenteller oder Insitu-Herangehensweisen bei Untersuchungen von Wasser, Boden, Sedimenten, Luft, Abwasser, Schlamm, Abfall und Altlasten statt. Die breite und hochmoderne Ausstattung der Fakultät an Versuchshallen und Laboren ermöglicht auch weitreichende und sehr komplexe Verbundforschungsvorhaben. Mit der Ressource Wasser eng verbunden ist auch die Erzeugung und Speicherung von Energie; stets ist es in allen Baustoffen präsent und Forschungsschwerpunkt für die Umweltverträglichkeit von Baumaterialien.

Nachhaltige Gebäude und Infrastruktur

Die Bausubstanz sowie die gebaute Infrastruktur binden viel Kapital und stellen einen hohen Anteil am Volksvermögen dar. Aufgrund der Langlebigkeit gebauter Strukturen sind Anpassungen an neuere Herausforde-

Die Fakultät für Bauingenieurwesen

erungen

rungen, wie die energetische und technische Sanierung, Umbauten und Umnutzungen, Kapazitätssteigerung und Ertüchtigung vorhandener Strukturen zur Sicherung von Mobilität und Erreichbarkeit oft schwierig oder verursachen einen hohen Kostenaufwand. Daher sind bei Gebäuden und Infrastrukturen zunehmend Lebenszyklusbetrachtungen anzustellen, die vom Entwurf über die Erstellung bis zu Nutzungsänderungen verbunden mit Umbauten und einem (teilweisen) Rückbau reichen. Dieses verlangt eine ganzheitliche Betrachtung von Konstruktion, Herstellung, Betrieb und Nutzung.

Für die Verkehrsinfrastruktur sind darüber hinaus neben umwelt- und strukturschonenden Betriebs- und Nutzungskonzepten auch neue Wege der Planung und Finanzierung zu erarbeiten. Weiterhin werden innovative Bau- und Erhaltungsverfahren grundlegend erforscht und Methoden entwickelt, die eine wirtschaftlich sinnvolle und möglichst störungsfreie Abwicklung der Bau- und Erhaltungsmaßnahmen in hochbelasteten Netzen unter Verkehr gewährleisten. Dass die Forschung zu allen Verkehrsträgern (Straße, Schiene, Luft, Wasser) in einer Fakultät verankert ist, ermöglicht es, das Gesamtsystem zu behandeln und sich nicht auf einzelne Sektoren konzentrieren zu müssen.

Computerorientierte Modellbildung

Die Komplexität von Materialien, Verfahren und Prozessen sowie die Größe oder Einmaligkeit vieler Entwicklungen im Bauwesen erschwert das Erstellen von Prototypen und das Durchführen von Feldtests. Daher sind die computerorientierte Modellbildung und die Simulation heute unabdingbar für neue Entwicklungen. Mit der computerorientierten Modellbildung tragen die beteiligten Institute mit rechnergestützten Planungs- und Berechnungsmethoden für ingenieurrelevante Fragestellungen zur wissenschaftlichen Forschung bei. Dies schließt Methoden zur Modellierung, Berechnung und Simulation mathematisch-physikalischer und informationstechnischer Prozesse im Bauwesen ein. Datenstrukturen und leistungsfähige Algorithmen werden durch Methoden der Bauinformatik und des wissenschaftlichen Hochleistungsrechnens adressiert. Es werden sowohl struktur- und strömungsmechanische Fragestellungen aus den Bereichen angewandte Mechanik, Baustatik und Baudynamik, Verkehrswesen, Wasserbau und Wasserwirtschaft sowie Geotechnik als auch Wärme- und Stoffübertragungsprozesse im Bereich Bauphysik und Bauklimatik betrachtet, beispielsweise zur Simulation des thermisch-energetischen Verhaltens von Gebäuden, Anlagen und Netzen von der Ebene eines

Bauteils bis hin zur Stadtquartiersebene und der Verkehrssimulation. Neben der rechnergestützten Modellbildung ist auch die Visualisierung von ingenieurrelevanten Fragestellungen mittels Methoden der virtuellen Realität oder Augmented Reality als wichtiges und zukunftsweisendes Forschungsfeld zu nennen.

Lehre

Die Ergebnisse der Forschung fließen direkt in die Lehre ein. Neben dieser Aktualität der Themen legt die Fakultät besonderen Wert auf die Umsetzung innovativer Konzepte der Wissensvermittlung – darunter Blended-Learning. Das mediengestützte Lehren und Lernen in der Fakultät wird beständig intensiviert und methodisch verbessert.

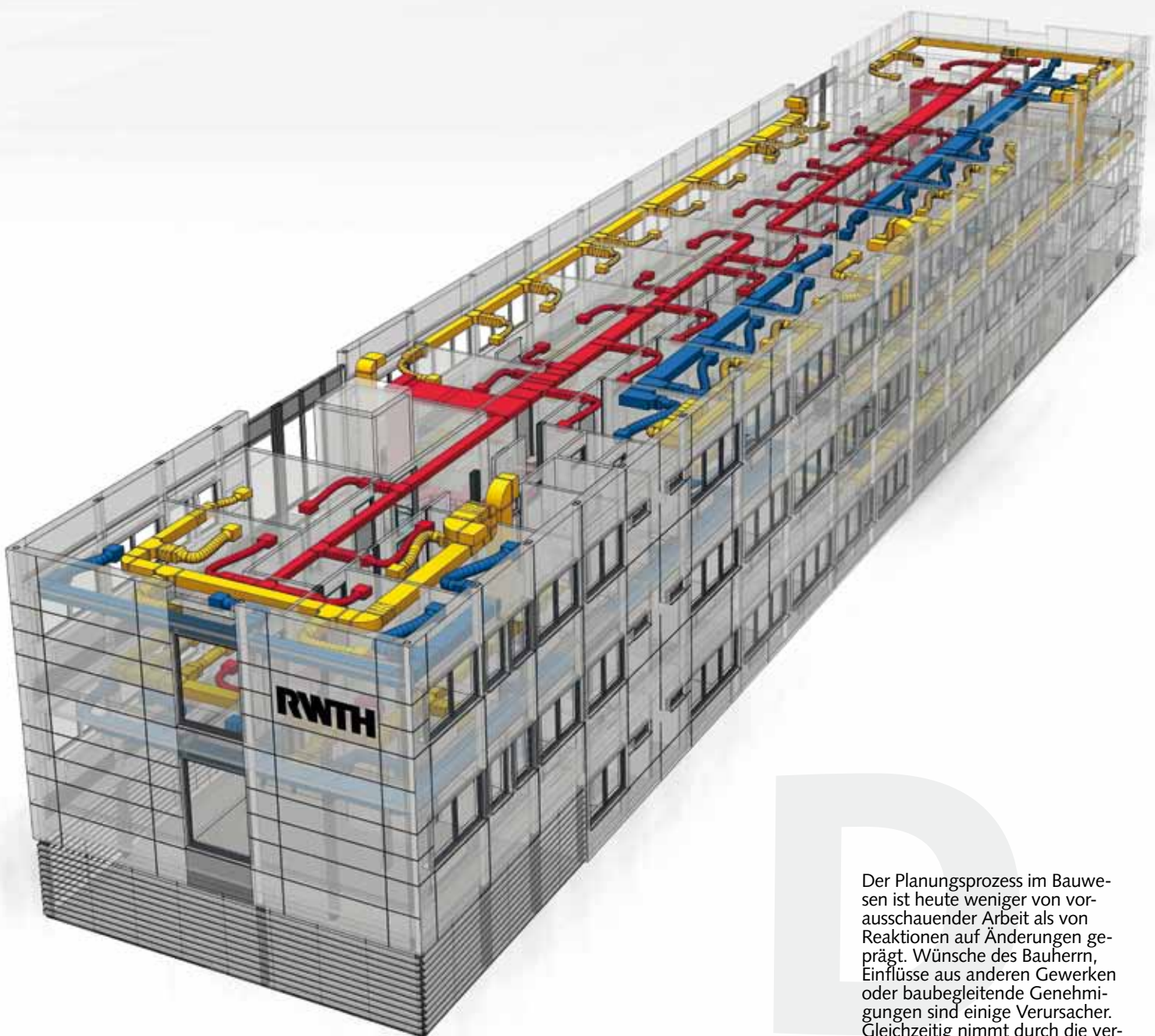
Um ihre Studierenden in den vielfältigen Forschungs- und Arbeitsfeldern besser auszubilden, hat die Fakultät für Bauingenieurwesen neben dem Bau- und dem Wirtschaftsingenieurwesen die zwei stark interdisziplinären Studiengänge „Umweltingenieurwissenschaften“ und „Mobilität und Verkehr“ aufgebaut, die beide bewusst über mehrere Fakultäten angelegt sind. Sie stellen so eine Kopplung der klassischen Ingenieurwissenschaften mit dem naturwissenschaftlichen beziehungsweise elektro- und maschinentechnischen Fächerkanon dar.

Autor:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Vallée ist Inhaber des Lehrstuhls für Stadtbauwesen und Stadtverkehr und Dekan der Fakultät für Bauingenieurwesen.

Digitale Planungsm für gebäudetechnik

**Building Information Mod
Simulation von Gebäuden**



8

Der Planungsprozess im Bauwesen ist heute weniger von vorausschauender Arbeit als von Reaktionen auf Änderungen geprägt. Wünsche des Bauherrn, Einflüsse aus anderen Gewerken oder baubegleitende Genehmigungen sind einige Verursacher. Gleichzeitig nimmt durch die vermehrte Einbindung regenerativer Energiequellen die Komplexität gebäudetechnischer Anlagen zu. Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erfordern integrale Planungsansätze, bei denen Planungsbeteiligte Hand in Hand zusammenarbeiten.

Bild 1: BIM-Modell eines Bürogebäudes mit technischen Anlagen.

Methoden für die Anlagen

Planung – Methoden ermöglichen Planung und Anlagen sowie Energiebedarfsermittlung

Die Digitalisierung von Bauwerksdaten und Prozessabläufen verspricht erhebliche Innovationspotenziale für die Wertschöpfungskette im Bauwesen. Building Information Modeling, kurz BIM, bietet die Technologie, die Zusammenhänge, Kosten und zeitlichen Prozessabläufe transparent abzubilden und bietet damit auch eine Schnittstelle zur Produktionstechnik. Erforderlich sind jedoch passende Planungswerkzeuge, ein neues Rollenverständnis in Planung und Ausführung sowie Vertragsgrundlagen, in denen die Zusammenarbeit geregelt wird.

Um diesen Prozess aus Sicht der Gebäudetechnik zu unterstützen, leiten Professor van Treeck vom RWTH-Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen und Dr. Michael Wetter vom Lawrence Berkeley National Laboratory in den USA das internationale Großprojekt EBC Annex 60 „Computational Tools for Building and Community Energy Systems“. Unter der Schirmherrschaft der Internationalen Energieagentur arbeiten hierbei rund 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in 38 Instituten aus 16 Ländern zusammen. Im Annex 60 entstehen neue Simulationsmodelle, um Gebäude, Stadtquartiere und intelligente Netze energetisch zu modellieren. Ergebnis sind frei zugängliche Modellbibliotheken, die in der Planung eingesetzt werden können.

Die Anbindung dieser Modelle an digitale BIM-Modelle wird im Forschungsprojekt „EnEff-BIM“ mit Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie umgesetzt. Federführend sind die RWTH-Lehrstühle für Energieeffizientes Bauen sowie für Gebäude- und Raumklimatechnik (Prof. Dirk Müller). Weitere Projektpartner sind die Fraunhofer Gesellschaft, das Karlsruher Institut für Technologie, die Universität der Künste Berlin sowie AEC3 Deutschland GmbH.

In Deutschland sind viele Unternehmen unsicher hinsichtlich des Einsatzes von BIM, andere Länder gehen offensiv mit diesem Thema um: In Großbritannien setzen Regierungsbehörden ab 2016 verpflichtend voraus, bei Bauvorhaben die so genannte BIM-Entwicklungsstufe 2 einzusetzen. Das bedeutet, dass Fachplaner Modelle künftig über Programmschnittstellen digital austauschen müssen. In Singapur wird seit 2015 bereits die Entwicklungsstufe 3 verfolgt, wobei der Datenaustausch über produktneutrale Datenschnittstellen vorgeschrieben ist.

Was ist eigentlich BIM? BIM ist eine Methode, um Informationen zu einem Gebäude, genauer alle physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks und seiner technischen Anlagen, über dessen gesamten Lebenszyklus abzubilden. BIM ist

keine Software und auch mehr als ein 3D-Modell. BIM ist eine Methode und Arbeitsweise, die entsprechende Softwarelösungen erfordert, um für die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachplanern, Anlagenbauern und Gebäudebetreibern als Austauschplattform nicht nur in der Planungsphase, sondern auch für den Gebäudebetrieb zu dienen. Verschiedene Möglichkeiten bieten sich für die Realisierung an: So genannte Modellserver stellen eine zentrale Plattform dar, die ein Modell verwalten, auch existieren kommerzielle Lösungen, mit denen Akteure über einen BIM-Server zusammenarbeiten können.

Die integrale Zusammenarbeit ermöglicht es, am virtuellen Modell Kollisionen zwischen Gewerken zu erkennen. Beispielsweise, ob und an welchen Stellen das Tragwerk mit der Gebäudetechnik zusammenfällt und Änderungen erforderlich sind. Der Bauprozess kann mittels BIM vor der baulichen Umsetzung als so genanntes 4D-Modell in seiner zeitlichen Abfolge dargestellt werden, womit Abhängigkeiten und Koordinationsprobleme vor der Baurealisierung erkannt werden können. Mit der Zuführung von Informationen in einem Raumbuch und Baukostendaten als 5D-Modell kann zudem der Prozess von Ausschreibung, Angebot und Vergabe angebunden werden.

Was ändert sich bei der Zusammenarbeit? Bei der Betrachtung der Wertschöpfungskette ist zu beachten, dass die Einführung von BIM mit einer Aufwandsverlagerung von Kosten in die Planungsphase verbunden ist. Erfahrungen zeigen jedoch, dass die Gesamtkosten in einem BIMgeführten Projekt nicht höher sind als bei einer konventionellen Planung. Im Gegenteil: BIM erhöht die Sicherheit von Zeit- und Kostenrahmen sowie die Transparenz und senkt Risiken. Allerdings muss das Rollenverständnis zwischen den einzelnen Akteuren neu geregelt werden. Nach der Aufgabenverteilung der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure ist der Architekt für die Gewerkekoordination zuständig. Unterschiede in der Datenqualität zwischen Architekturmodell und BIM machen es jedoch erforderlich, neue Rollen einzuführen. So ist es die Aufgabe eines „BIM Managers“, fachspezifische Modelle zu verwalten, zu koordinieren und zusammenzuführen. Ein „BIM Koordinator“ modelliert das eigentliche BIM und ist Spezialist im Erstellen digitaler Abbildungen. Diese neuen Rollen erfordern damit BIM Fachkompetenzen. Die RWTH-Fakultät für Bauingenieurwesen bietet ihren Studierenden bereits in einigen Lehrveranstaltungen Zugang zu dieser Technologie an.

Im „BIM-Leitfaden für Deutschland“ (BBSR) ist beschrie-

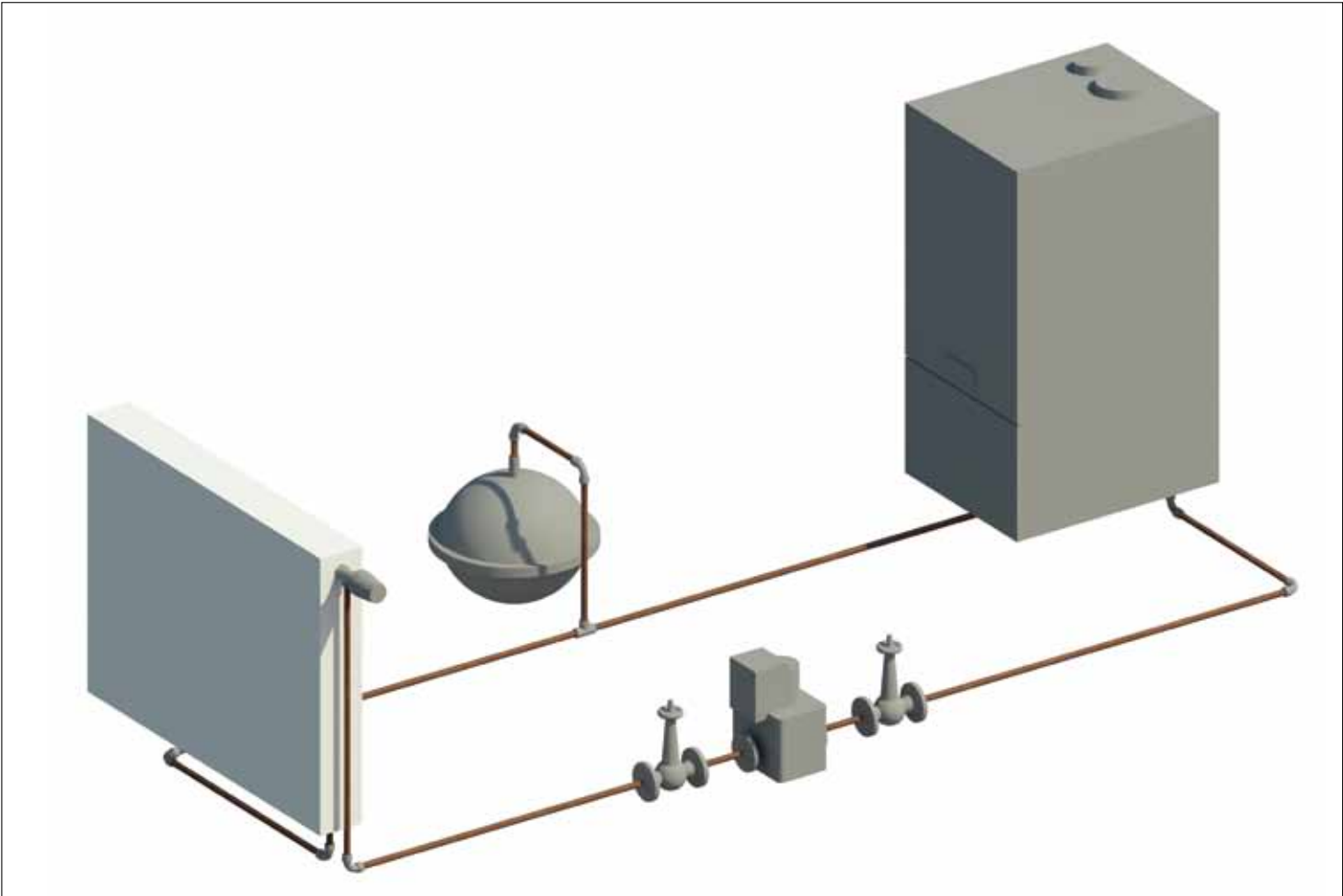
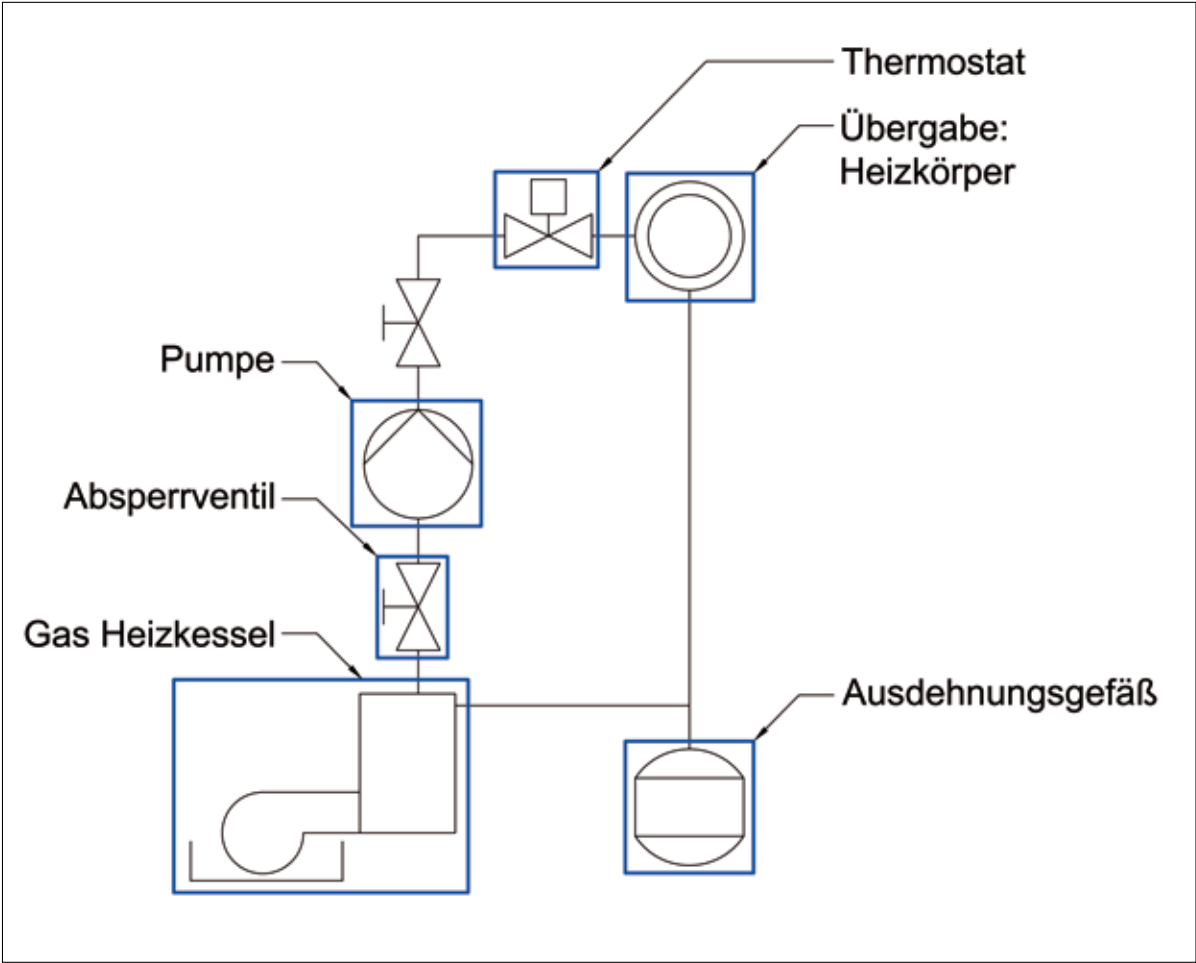


Bild 2: CAD-Modell eines Anlagenbeispiels.

Bild 3: Hydraulisches Schema von Erzeugung, Verteilung und Übergabe.



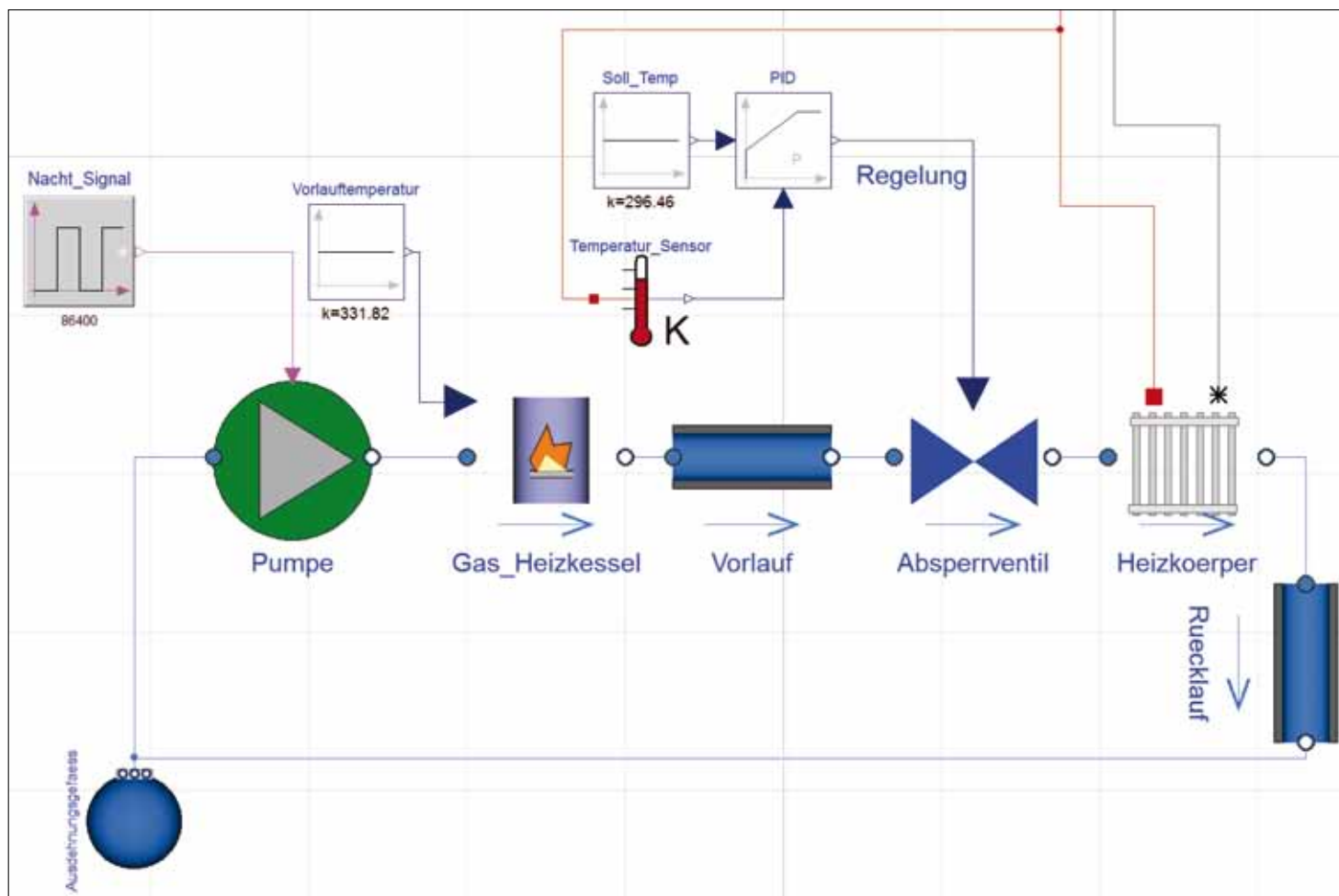


Bild 4: Simulationsmodell der Aachener Modellbibliothek AixLib mit Regelung. Die Modelica-Bibliothek wurde in Aachen am E.ON Energy Research Center entwickelt.

ben, welche Festlegungen bei der Zusammenarbeit mit BIM zu treffen sind. So ist insbesondere zu klären, welche Akteure verantwortliche Modellautoren und welche Modellelemente in welchen Fertigstellungsgraden auszutauschen sind. Es muss also vertraglich geklärt werden, welche Elemente eine Austauschdatei enthalten muss, wenn beispielsweise Informationen zwischen einem Tragwerksplaner und einem Planer für die Technische Gebäudeausrüstung ausgetauscht werden. Je nach Leistungsphase muss zudem festgelegt werden, welchen Detaillierungsgrad das Modell besitzen muss. Gegenwärtig wird in mehreren Richtlinien- und Normungsausschüssen an der Ausarbeitung entsprechender Standards gearbeitet.

Aus rechtlicher Sicht stellt BIM nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure eine besondere Leistung dar. BIM-Manager und Koordinatoren sind keine Planer im Sinne der Honorarordnung. Vertragsrechtlich empfehlen Rechtsanwälte (vgl. Rechtsgutachten Eschenbruch und Grüner, NZ Bau, Heft

7, 2014), die Zusammenarbeit in Einzelverträgen zu regeln und dabei die auszutauschenden Modellinhalte zu definieren. Weiterhin ist die Hol- und Bringschuld bei der neuen Form der Zusammenarbeit nicht geklärt. Heute haftet derjenige, der Daten zur Verfügung stellt. Bei der Zusammenarbeit über einen BIM-Server ist dies somit noch nicht klar geregelt.

Warum können nicht heute schon gebäudetechnische Elemente aus einem CAD-System in ein Simulationsprogramm eingelesen werden? Die Übertragung erfordert einen mehrstufigen Prozess, der durch Ingenieurwissen unterstützt werden muss. Zunächst muss ein CAD-Modell auf dessen Konsistenz überprüft und notfalls korrigiert werden. Das BIM-Modell der Technischen Gebäudeausrüstung kann zudem nicht ohne weiteres in ein Simulationsmodell übertragen werden, da ein Simulationsmodell zum Teil einer anderen Logik folgt, als Objekte in einem CAD-System zeichnerisch angeordnet werden. Für ein BIM-Modell müssen Objekte stellenweise in mehrere Komponenten zerlegt, aus ande-

ren Komponenten zusammengesetzt oder um weitere Attribute ergänzt werden.

Ziel der oben genannten Forschungsprojekte ist es daher, ausgehend von einem digitalen dreidimensionalen BIM-Modell entsprechende Simulationsmodelle für die energetische Gebäude- und Anlagensimulation zu erstellen. Ein weiteres Ziel des Projektes ist es, einen aktiven Beitrag zu laufenden Richtlinien- und Normungsarbeiten zu leisten.

In Bild 1 ist das BIM-Modell eines Bürogebäudes mit gebäudetechnischen Anlagen dargestellt, das quasi per Knopfdruck in ein Simulationsmodell überführt werden soll. Bild 2 zeigt das CAD-Modell in Autodesk Revit, Bild 3 das hydraulische Schema eines sehr einfachen Anwendungsfalls. Dargestellt ist eine Heizung mit Kessel (Erzeuger), Pumpe, Druckausgleichsgefäß, einem Ventil, Rohrleitungen (Verteilung) und einem statischen Heizkörper (Übergabe). Das generierte Simulationsmodell in der Modellierungssprache Modelica, das für eine energetische Simulation eingesetzt werden kann, präsentiert Bild 4.

EnEff-BIM unterstützt den Transformationsprozess von Daten, die im offenen Datenformat der Industry Foundation Classes vorliegen. Das Softwareframework ist modular erweiterbar und flexibel, um im Annex 60-Projekt verschiedene Modelica-Modellbibliotheken zu unterstützen. In Aachen erfolgt die Anbindung der Modellbibliothek AixLib, die in mehreren Vorprojekten am E.ON Energieforschungszentrum der RWTH Aachen entwickelt worden ist und gegenwärtig in einer Reihe gemeinsamer Projekte zur energetischen Simulation von Gebäuden und Stadtquartieren erfolgreich eingesetzt wird.

Autor:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christoph van Treeck ist Inhaber des Lehrstuhls für Energieeffizientes Bauen.

Mehrwert durch mehr

Wie eine Brückenprofessur in den Ingenieurwissenschaften

Wenn Ingenieurinnen und Ingenieure von der Professur „Gender und Diversity in den Ingenieurwissenschaften“ (GDI) hören, lässt sich nicht selten Erstaunen in ihren Blicken erkennen. Auch wenn die Begriffe „Gender“ und „Diversity“ mittlerweile immer mehr Menschen geläufig sind, so werden sie nach wie vor nicht mit den Ingenieurwissenschaften verbunden. Das ist an der RWTH Aachen anders: Hier wurden neue Wege beschritten und die Professur mit Gender- und Diversity-Bezug in der Fakultät für Bauingenieurwesen eingerichtet. Als Brückenprofessur forscht das GDI seit dem Jahr 2012 an der Schnittstelle zwischen Technik- und Sozialwissenschaften.

Technik im Kontext von Gesellschaft

Im Vordergrund stehen andere Zugänge, als es viele Technikerinnen und Techniker gewohnt sind. Ausgehend von den Science and Technology Studies wird Technik als sozial konstruiert verstanden, denn Technik existiert nicht unabhängig. Im Gegenteil, sie ist menschengemacht und eine Technik ohne den Menschen ist nicht denkbar. Diese einfache wie wichtige Erkenntnis ist der Ausgangspunkt für eine sozialwissenschaftliche Annäherung an Technik.

Technik ist allgegenwärtig, sie ist der Treiber für unsere Wirtschaft, sie prägt uns und unser

alltägliches Leben. Ihre Unmittelbarkeit und Allgegenwärtigkeit lässt uns vergessen, dass es bei der Technik immer auch um den Menschen geht. Mensch und Technik stehen in einem Wechselverhältnis, denn der Mensch schafft die Technik. Andersherum wirkt sie auf den Menschen zurück, verändert sein Handeln und Denken. Mittelbar prägt die Technik auf diese Weise unsere Kultur und Gesellschaft und wirkt sich nicht zuletzt auf die Umwelt aus.

Dieses Wechselverhältnis und die aus ihm ableitbaren Dimensionen sind wichtige, weil folgenschwere, Aspekte bei der Gestaltung und Entwicklung von Technik, die es zu berücksichtigen gilt. So ist die Zusammensetzung der Teams bei der Entwicklung von Produkten ebenso zu betrachten wie eine Vielzahl weiterer Fragen. Wie kann die Entwicklung und Gestaltung von Technologie der Vielfalt ihrer Nutzerschaft gerecht werden? Wie können umgekehrt die Potenziale gefördert und freigesetzt werden, die die zunehmende gesellschaftliche Vielfalt mit sich bringt? Welche Auswirkungen ergeben sich für unterschiedliche gesellschaftliche Gruppen?

Die westlichen Gesellschaften unterliegen gegenwärtig starken Transformationsprozessen. Globalisierung, Migrationsbewegungen und demografischer Wandel, ebenso wie sich verän-

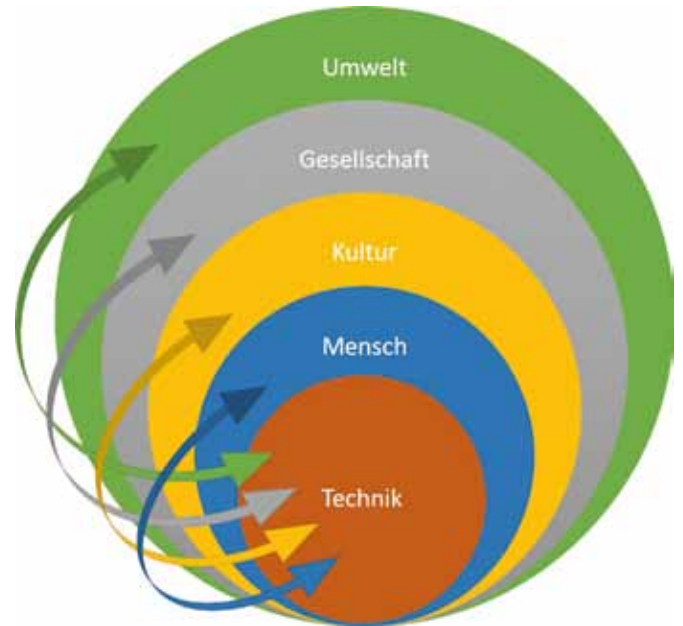


Bild 1: Technik sollte in ihren verschiedenen Kontexten berücksichtigt werden.

Quelle: Eigene Darstellung

dernde Rollenvorstellungen und Lebensläufe von Frauen und Männern schaffen eine zunehmend heterogene Gesellschaft. Diese Vielfalt birgt für die Einzelnen mit ihren individuellen Lebenslagen ebenso wie für die Gesellschaft Chancen und Herausforderungen gleichermaßen, die sich auch in der Entwicklung sozialer und technischer Innovationen niederschlagen.

Impulsgeber für die Ingenieurwissenschaften

Hier setzen die Gender Studies in den Ingenieurwissenschaften an. Sie sind inter- und transdisziplinär ausgerichtete Forschungsansätze, die die Bedeutung von Geschlecht auf unterschiedlichen Analyseebenen betrachten.¹ Die Berücksichtigung von Gender- und Diversity-Perspektiven in den Ingenieurwissenschaften bedeu-

tet nicht nur, quantitative Geschlechterverhältnisse zu thematisieren. Es gilt, einen Perspektivenwechsel vorzunehmen und den Blick auf unterschiedliche Lebenslagen, Lebensstile und Strategien zur Alltagsbewältigung zu schärfen, die sich nicht mehr ausschließlich am biologischen Geschlecht beziehungsweise tradierten Rollenzuschreibungen festmachen lassen, sondern auch andere Diversitätsdimensionen, wie Alter, Kultur oder soziale Lage in den Blick nehmen. So kann eine breite gesellschaftliche Inklusion erreicht werden.² Der Perspektivenwechsel führt zu einer Perspektiverweiterung, da die unterschiedlichen Dimensionen in ihren Interdependenzen und nicht isoliert voneinander analysiert werden und damit ein umfassenderes Bild liefern.

¹ Leicht-Scholten, Carmen (Hrsg.) (2007): Gender and Science. Perspektiven in der Wissenschaft. Bielefeld; Schiebinger, Londa (1989): The Mind Has No Sex? Women in the Origins of Modern Science. Cambridge (Mass.).

² Leicht-Scholten, Carmen (2011): Meeting Global Challenges – Gender and Diversity as Drivers for a Change of Scientific Culture. In: Leicht-Scholten, Carmen et al. (Hrsg.): Going Diverse: Innovative Answers to Future Challenges. Gender and Diversity Perspectives in Science, Technology and Business. Opladen, S. 53-64.

Perspektiven

ur neue Perspektiven
haften aufzeigt

*Bild 2: GDI Diversity Rallye:
der „Third Age Suit“ des Ford
Forschungszentrums simuliert
die körperliche und kognitive
Konstitution Älterer.
Foto: GDI 2013*



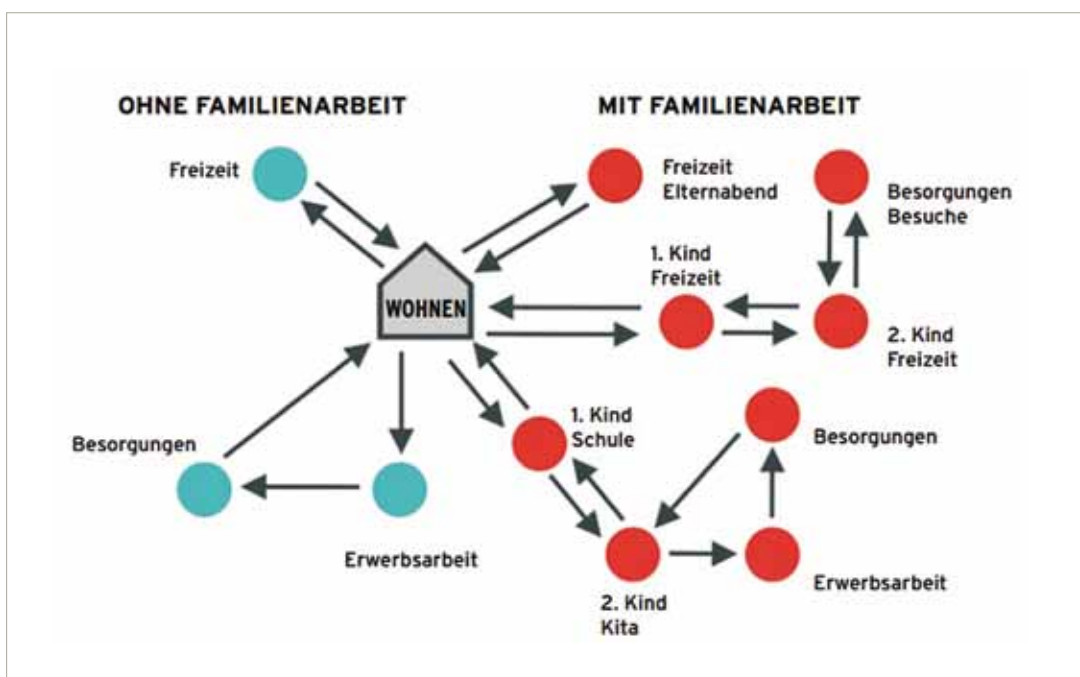


Bild 3: Diversity konkret: unterschiedliche Mobilitätsmuster mit und ohne Familienarbeit.⁴

Mehrwert durch mehr Perspektiven

So abstrakt diese Überlegungen anmuten mögen, so anwendungsbezogen ist die Forschung der Brückenprofessur Gender und Diversity in den Ingenieurwissenschaften. Ziel ist es, neue Perspektiven jenseits disziplinärer Grenzen einzunehmen. Es geht darum, Bewährtes zu bereichern, Impulse zu geben und auf diese Weise neue Sichtweisen aufzuzeigen und Innovationen zu fördern.

Denn der Erfolg technischer Innovationen steht in enger Wechselbeziehung und im Kontext individueller und gesellschaftlicher Prozesse. Mobilitätskonzepte, die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und den Bedürfnissen ihrer Nutzerschaft nicht ausreichend Rechnung tragen, sind nicht zukunftsfähig. Technische Produkte und Systeme, die die Bedürfnisse einer alternenden und immer diverser werdenden Gesellschaft ignorieren, werden keinen Markt mehr finden. Wer die Bedeutung von barrierefreiem Bauen unterschätzt, wird im Wettbewerb nicht bestehen.

Brückenschlag für eine nachhaltige und sozialverträgliche Technikgestaltung

Mit dieser Überzeugung baute Professorin Carmen Leicht-Scholten die Brückenprofessur zusammen mit ihrem Team im Jahr 2012 auf. Ihrem transdisziplinären Ansatz folgend werden Erkenntnisse der sozialwissenschaftlichen Disziplinen und der Gender Studies mit ingenieur- und naturwissenschaftlichen Disziplinen vernetzt und in der Forschungspraxis umgesetzt. Ein

Beispiel aus der Mobilitätsforschung zeigt den Mehrwert, den die Integration von Diversitätsperspektiven für Forschung und Entwicklung darstellt.

So belegen Studien, dass Mobilität und Verkehr ungeachtet ihrer heterogenen Nutzerschaft überwiegend an den Bedürfnissen und Mobilitätsgewohnheiten in Vollzeit berufstätiger Personen ausgerichtet sind.³ Personen, die neben einer Teilzeit-Erwerbsarbeit noch Pflege- und Familienaufgaben übernehmen, haben hingegen gänzlich andere Mobilitätsgewohnheiten, siehe Bild 3. Verkehrstechnische Infrastrukturen müssen ihrer gesellschaftlichen Funktion entsprechend den Anforderungen möglichst vieler Bürgerinnen und Bürger genügen.

„building I bridges“ ist ein Projekt, das sich in diesem Bereich bewegt. Es fokussiert eine gender- und diversity-orientierte Begleitforschung im Bereich Mobilität. Aufgrund seines innovativen Modellcharakters wurde „building I bridges“ in den Instrumentenkasten zu den Forschungsorientierten Gleichstellungsstandards der Deutschen Forschungsgemeinschaft aufgenommen.⁵

Darüber hinaus forscht die Brückenprofessur in weiteren Feldern des Themenbereichs Technik und Gesellschaft, wie zum Beispiel im DFG-geförderten interdisziplinären Verbundprojekt „Urban Future Outline“ (UFO), das sich mit der Gestaltung der Lebensqualität in Stadtquartieren im Kontext von Mobilität, Stadtstruktur und Energiewende befasst.⁶

Neue Wege auch in der Lehre

Auch im Bereich der Lehre geht die Brückenprofessur neue Wege. Seit dem Sommersemester 2013 ist die Veranstaltung „Gender und Diversity in den Ingenieurwissenschaften“ als verpflichtendes Modul im Bachelor-Studiengang „Bauingenieurwesen“ verankert. Damit ist die RWTH Aachen die erste Universität, die Gender und Diversity als curriculares Pflicht-Modul in einem ingenieurwissenschaftlichen Studiengang implementiert hat, was national wie international viel Beachtung findet. Inhaltlich liegen die Schwerpunkte seiner stets anwendungsorientierten Lehre in der Vermittlung sozialwissenschaftlicher Grundlagen zu Gender und Diversity (und ihrer Übertragung in die ingenieurwissenschaftliche Praxis.)

An Erfolge anknüpfen: „Expanding Engineering Culture“

Auch künftig gilt es, die Integration von Gender- und Diversity-Perspektiven in Forschung, Praxis und Lehre auszubauen, um diese Kompetenzen bereits in der Ausbildung künftiger Fach- und Führungskräfte zu vermitteln. Studierende entwickeln ein Disziplinen übergreifendes Verständnis für die Funktionsweise von Macht und Ungleichheit und den daraus resultierenden Konsequenzen für Individuum und Gesellschaft.

„Expanding Engineering Limits: Culture, Diversity and Gender“ ist deshalb ein neues Modul, welches die Brückenprofessur gemeinsam mit der School of Engineering und dem „Hasso Plattner Institute of Design“ der Stanford University entwickelt hat. Dieser internationale Kurs

ist ein weiterer Schritt, um angehenden Ingenieurinnen und Ingenieuren die notwendigen Kompetenzen zu vermitteln, um zukunftsfähige Forschung und Entwicklung voranzutreiben und ihren Teil zu einer nachhaltigen, und partizipativen Gestaltung von Technik beizutragen.

Autorinnen:

Anna Bouffier M.A. ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur Gender und Diversity in den Ingenieurwissenschaften. Univ.-Prof. Dr. phil. Carmen Leicht-Scholten leitet die Professur Gender und Diversity in den Ingenieurwissenschaften.

³ Turner, Jeff/Hamilton, Kerry/Spitzner, Meike (2006): Women and Transport Study. Brüssel.

⁴ Janssen, Solveigh (2011): Mobilität und Gender ... den Blick öffnen. In: TU INTERNATIONAL 67. Berlin, S. 20-22.

⁵ Vgl. <http://instrumentenkasten.dfg.de/>.

⁶ Im Rahmen dieses Projekts entwickeln Ingenieurinnen und Ingenieure, Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaftlerinnen und Sozialwissenschaftler in vier interdisziplinären Teilprojekten gemeinsam innovative Lösungen für die Städte der Zukunft. Das GDI ist dabei am Teilprojekt „Future Mobility“ (FuMob) beteiligt, das sich mit der Rolle der öffentlichen Kommunikation und Information bei der Planung und Umsetzung von Mobilitätskonzepten und Verkehrsplattformen beschäftigt.

ANTRIEB BEWEGT ZUKUNFT

BEWEGEN SIE
MIT

SEW
EURODRIVE



Über 120 Studenten bewegen bei uns jedes Jahr Zukunft: Steigen Sie ein in die faszinierende Welt der Antriebstechnik – mit **Praktikum**, **Werkstudententätigkeit** oder **Abschlussarbeit**.



Mehr Informationen?
Direkt bewerben?
Wir freuen uns auf Sie!

www.sew-eurodrive.de/studenten

Eisbeton – Wenn Wasser

Baugrundvereisung als reversible



*Bild 1: Querschlagvereisung mit mobilen Kühlaggregaten beim Statentunnel in Rotterdam.
Quelle: Wenke, Willner (2008): Statentunnel in Rotterdam – Ausführungserfahrungen von Vereisungsbohrungen und der Vereisung von Querschlägen. Geomechanik und Tunnelbau, Nr.1/2008. S. 504-511.*

Beim Aus- und Neubau von Infrastrukturnetzen im innerstädtischen Bereich kommt in den letzten Jahren vermehrt die künstliche Bodenvereisung als Bauhilfsmaßnahme zum Einsatz. Das Besondere an diesem Verfahren ist, dass der Frostkörper sowohl statisch tragend als auch abdichtend gegen anstehendes Grundwasser wirkt. Darüber hinaus ist die Bauweise äußerst umweltschonend und quasi spurlos rückbaubar. Eine Schwierigkeit vor allem bei der Planung von Vereisungsmaßnahmen liegt

in den komplexen thermischen und mechanischen Materialeigenschaften gefrorener Böden, die sowohl temperatur- als auch zeitabhängig sind.

Eingesetzt wurde das Vereisungsverfahren zum ersten Mal im Jahr 1862 bei einem Bergwerksschacht in Südwales. Von der damaligen hauptsächlichen Verwendung für den Gefrierschachtbau hat sich bis heute eine Vielzahl weiterer Verwendungen etabliert. Im Tunnelbau sind dies zum Beispiel die Herstellung von Verbindungsrohren zwischen zwei Tunneln, die so genannten Querschläge, die Aufweitung unterirdischer Haltestellen oder die Abdichtung des Baugrunds im Einfahrbereich von

Tunnelbohrmaschinen. Aktuelle Beispiele sind die Unterfahrung des Kaufhofs an der Königsallee im Zuge des Baus der Wehrhahn-Linie in Düsseldorf, der Bau des U-Bahnhofs Museumsinsel im Verlauf des Lückenschlusses der Linie 5 in Berlin oder die Erstellung von Querschlägen beim Statentunnel in Rotterdam, siehe Bild 1 und Bild 2.

Aber auch andere Probleme können mithilfe des Vereisungsverfahrens gelöst werden. Ein aktuelles Beispiel ist die diskutierte Umschließung des havarierten Atomkraftwerks in Fukushima, wo das verstrahlte Areal mit einem unterirdischen Ring aus gefrorenem Boden umgeben werden könnte, um das Austre-

trägt und abdichtet

Hilfsmaßnahme im Tief- und Tunnelbau

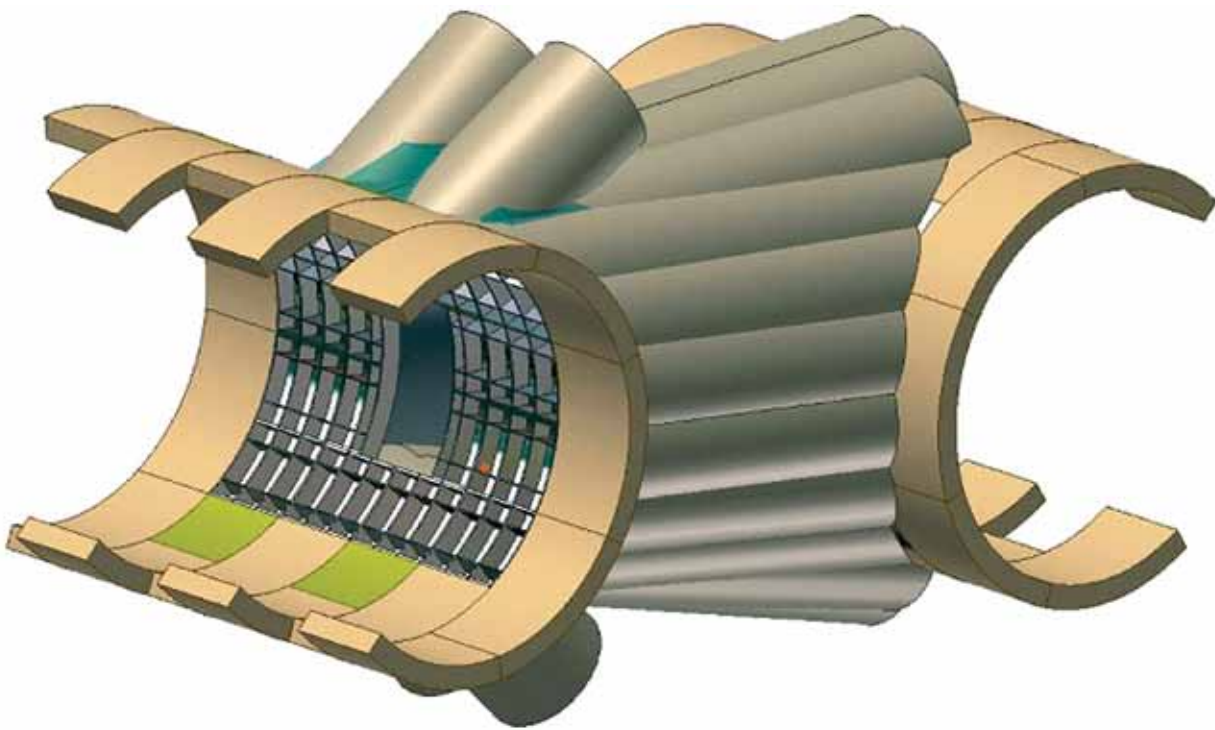


Bild 2: 3D-Darstellung des Frostkörpers einer Querschlagvereisung beim Statentunnel in Rotterdam.
Quelle: Wenke, Willner (2008): Statentunnel in Rotterdam – Ausführungserfahrungen von Vereisungsbohrungen und der Vereisung von Querschlägen. Geomechanik und Tunnelbau, Nr.1/2008. S. 504-511.

ten von Radioaktivität mit dem Grundwasser zu verhindern.

Das Grundprinzip bei der Baugrundvereisung besteht darin, im Bodengefüge aus Mineralkorn, ungefrorenem Wasser und Luft das Wasser zu gefrieren. Dadurch entsteht eine Art „Eisbeton“, der völlig andere Eigenschaften als der ungefrorene Boden hat und abhängig von seiner Temperatur gleichzeitig statisch tragende und abdichtende Funktionen übernehmen kann. Wird die Gefrieranlage abgeschaltet, taut das Eis und der Boden nimmt seine ursprüngliche Form wieder an.

Ein wesentlicher Vorteil der Baugrundvereisung ist, dass sie in nahezu allen Bodenarten und somit auch in vielschichtigem

Baugrund angewendet werden kann. Außerdem geht sie mit einer nur sehr geringen Umweltbelastung einher, da der Boden und das Grundwasser nicht nachhaltig belastet werden. Weitere Vorteile sind die Zuverlässigkeit und die Flexibilität. Eine Anpassung an unterschiedliche Geometrien ist selbst während der Bauzeit durch das Einbringen weiterer Gefrierrohre oder eine Änderung der Kühlleistung möglich. Auch kann der Frostkörper beliebig nahe an oder unter bestehenden Bauwerken hergestellt und angefroren werden. Die Zuverlässigkeit spiegelt sich in der jahrzehntelangen Nutzung des Verfahrens ohne folgenschwere Schadensfälle wider. Selbst bei einem Ausfall

der Kühlung taut der Frostkörper aufgrund seiner „Trägheit“ nicht direkt auf.

Mögliche kritische Faktoren für die Baugrundvereisung sind ein zu geringer Wassergehalt des Bodens oder vorliegende Grundwasserströmungen im Bereich des Frostkörpers. Auch die Volumenänderungen während des Gefrierens und Auftauens dürfen nicht vernachlässigt werden. Ein wichtiger Faktor für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist der benötigte Energieverbrauch. Bei einer frühzeitigen und fachkundigen Berücksichtigung dieser Faktoren schon in der Planungsphase einer Vereisungsmaßnahme kann diese jedoch auch an schwierige Baugrund- und Strömungsver-

hältnisse angepasst und technisch wie wirtschaftlich erfolgreich durchgeführt werden.

Um das Wasser im Boden in Eis umzuwandeln, ist ein Wärmeentzug erforderlich. Hierfür werden doppelwandige Gefrierrohre oder -lanzen in den Boden eingebracht und mit einem Kälteflüssigkeit durchströmt. Dieser wird durch das innere Fallrohr bis zum Rohrtiefsten eingeleitet und strömt dann im Ringraum wieder zurück, wobei er dem Boden kontinuierlich Wärme entzieht, siehe Bild 4. Je nach Kälteflüssigkeit wird zwischen einer Stickstoff- und einer Solevereisung unterschieden.

Bei der Stickstoffvereisung wird flüssiger Stickstoff entweder



*Bild 3: Probevereisung (Eisbetonverfahren)
der Schachtwand eines alten Wasserwerkes.
Foto: Peter Winandy*



direkt aus einem Tankwagen oder zwischengelagert aus einem Silo in das Fallrohr geleitet. Er verdampft dabei bei einer Temperatur von etwa -196 Grad Celsius, strömt gasförmig im Ringraum zurück und wird letztlich an die Atmosphäre abgegeben. Es muss demnach ständig neuer flüssiger Stickstoff nachgeliefert werden. Die nötige Menge wird über Messung der erforderlichen Abgastemperatur gesteuert.

Im Gegensatz zur Stickstoffvereisung besteht die Solevereisung aus einem geschlossenen Kühlsystem, das aus drei miteinander verbundenen Kreisläufen besteht, siehe Bild 5. Maßgebend für das Gefrieren des Bodens ist dabei der Kälte-träger-kreislauf mit dem darin zirkulierenden Kälte-träger. Hierfür kommt meistens eine Calciumchlorid(CaCl₂)-Sole zum Einsatz, die auf bis zu -40 Grad Celsius abgekühlt werden kann.

Beide Verfahren haben ihre Vor- und Nachteile und die Wahl hängt von den jeweiligen Projektbedingungen ab. Durch das geschlossene System ist die Baustelleneinrichtung der Solevereisung wesentlich aufwändiger und der Platzbedarf größer als bei der Stickstoffvereisung. Bei dieser steht die kostengünstigere Baustelleneinrichtung jedoch hohen Betriebskosten für das Verbrauchsgut flüssiger Stickstoff gegenüber. Da der erreichbare Temperaturgradient bei der Stickstoffvereisung deutlich größer ist, ist hiermit aber ein schnellerer Gefrierprozess, das so genannte „Schockgefrieren“, möglich. Daher wird dieses Verfahren vorwiegend bei kurzen Einsatzzeiten oder als Sofortmaßnahme bei drohenden Schadensfällen, wie zum Beispiel einer Undichtigkeit in einer Baugrubenwand, eingesetzt.

Eine Vereisungsmaßnahme teilt sich in die Aufgefrier-, die Erhaltungs- und die Abtauphase. Während der Aufgefrierphase wächst der Frostkörper zunächst um jedes einzelne Gefrierrohr. Dies geschieht so lange, bis sich die benachbarten Frostkörper berühren und ein geschlossener Frostkörper entsteht. Diese Zeitspanne wird als Schließzeit bezeichnet, siehe Bild 6. Der Frostkörper wächst dann weiter, bis er seine statisch erforderliche Dicke erreicht hat. Es folgt die Erhaltungsphase, in der die Frostkörperdicke unter ständiger Kontrolle der Temperatur gehalten wird. Am Ende der Vereisungsmaßnahme werden die Kühlaggregate abgeschaltet oder die Stickstoffzufuhr beendet, sodass der Frostkörper langsam abtaut.

Um den Gefrier- und Auftauprozess des Frostkörpers während einer Vereisungsmaßnahme realitätsnah abbilden und berechnen zu können, muss das Mehrphasensystem aus Boden, Wasser und Luft betrachtet werden. Die Beschreibung erfolgt mithilfe von numerischen Modellen, in denen die unterschiedlichen Stoffgesetze der einzelnen Phasen miteinander gekoppelt werden. Ein weiterer wichtiger Punkt ist dabei die Grundwasserströmung im Boden. Sie wird gerade im innerstädtischen Bereich durch Tiefbaumaßnahmen oftmals erheblich gestört. Eine Veränderung der Fließgeschwindigkeiten und/oder eine Umleitung der Strömung können die Vereisungsprozesse erheblich beeinflussen.

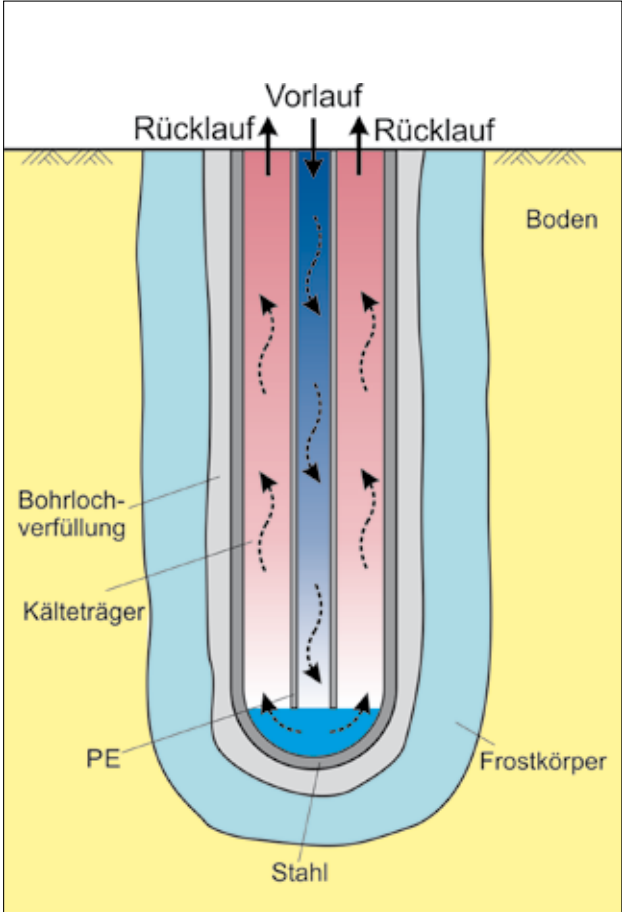


Bild 4: Detailaufbau eines Gefrierrohrs mit Rohrströmung. Quelle: Nach Schüller, R. (2015): Energetische Optimierung von Vereisungsmaßnahmen im Tunnelbau. Dissertation, RWTH-Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen.

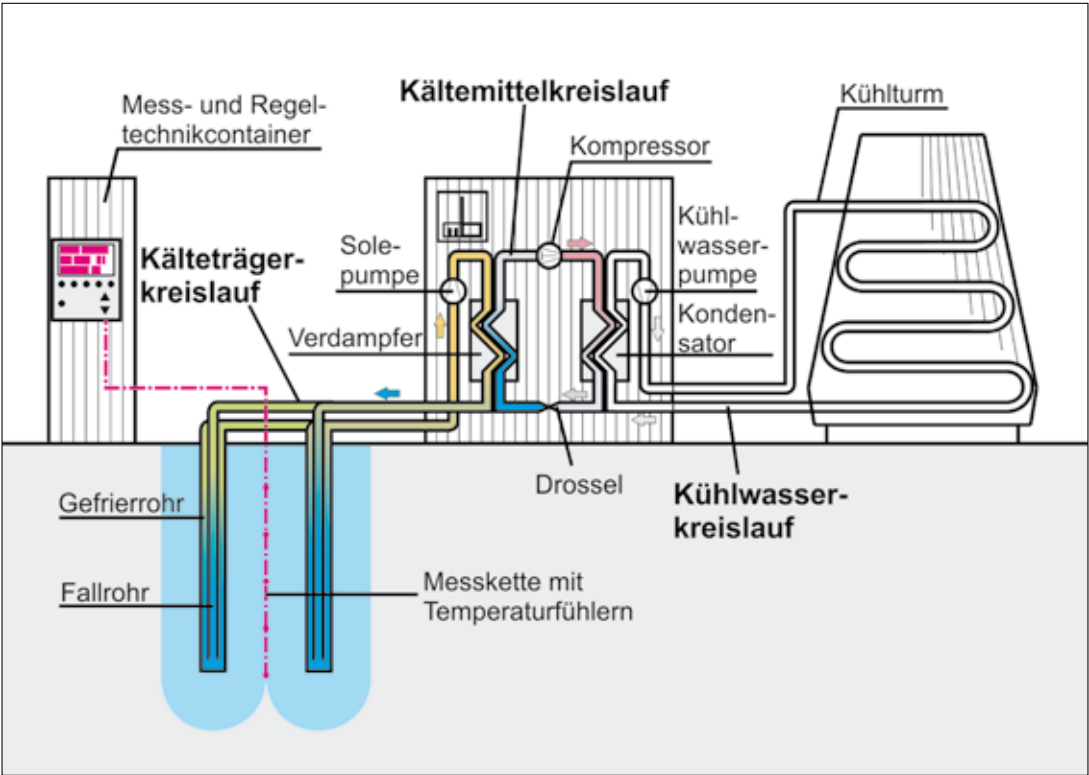


Bild 5: Kühlsystem einer Solevereisung. Quelle: Nach Firmenprospekt der Firmengruppe Max Bögl: „Infrastruktur Bodengefrier-technik“ http://max-boegl.de/fileadmin/content/download-center/bereichsbroschueren/B_DE_Infrastruktur_Bodengefrier-technik.pdf

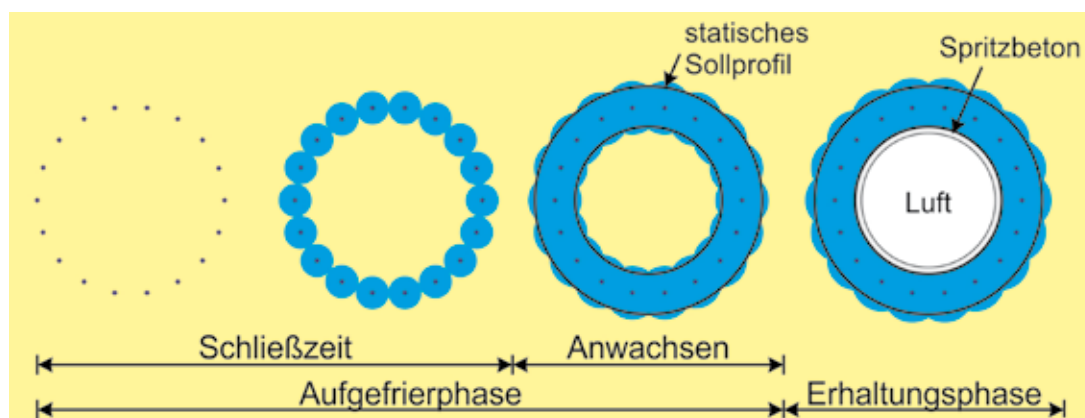


Bild 6: Zeitliche Abfolge der Phasen eines Frostkörpers. Quelle: Nach Baier, C. (2008): Thermisch-hydraulische Simulationen zur Optimierung von Vereisungsmaßnahmen im Tunnelbau unter Einfluss einer Grundwasserströmung. Dissertation, RWTH-Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen.

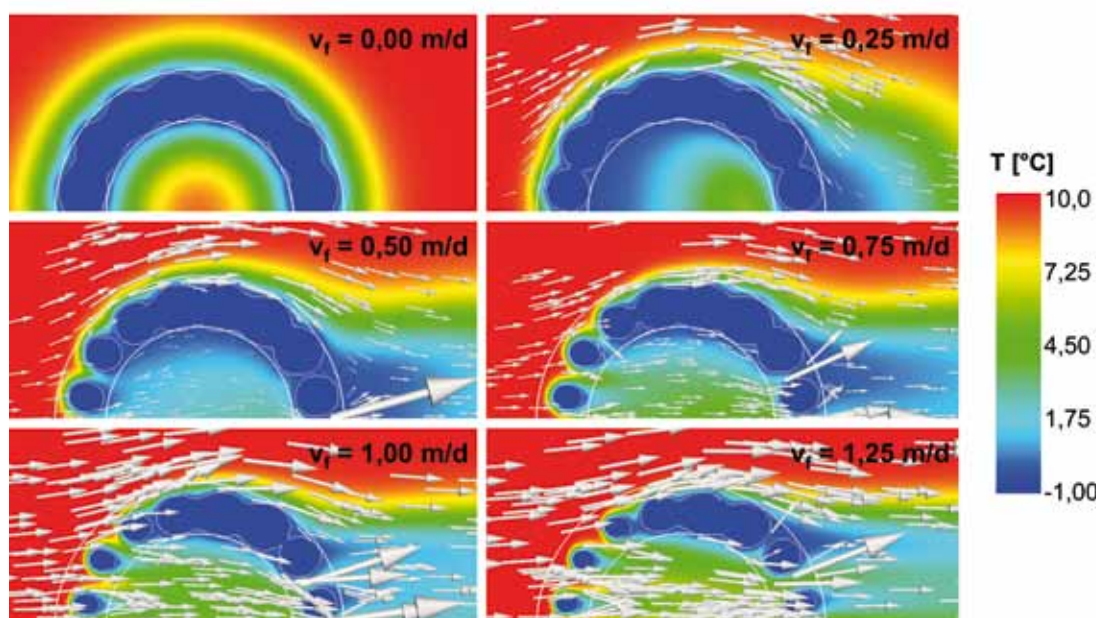


Bild 7: Frostkörperfortschritt nach 20 Tagen für verschiedene Fließgeschwindigkeiten. Quelle: Schüller, R. (2015): Energetische Optimierung von Vereisungsmaßnahmen im Tunnelbau. Dissertation, RWTH-Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen.

Am Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen wurden bislang vielfältige numerische Simulationen zur Optimierung der Aufgefrierzeit und des Energieverbrauchs beziehungsweise der Kosten einer Vereisungsmaßnahme durchgeführt. Dabei konnte zunächst eine vorhandene Grundwasserströmung, durch die auch bei kleinen Fließgeschwindigkeiten kontinuierlich eine große Wärmemenge an den Frostkörper herangetragen wird, als maßgebender Faktor identifiziert werden. Neben der Frage, in welcher Zeit und ob der Frostkörper überhaupt geschlossen werden kann, siehe Bild 7, ist die Fließgeschwindigkeit auch in der weiteren Aufgefrier- und Haltephase eine maßgebende Größe. Zur realistischen Abbildung und Berechnung der Aufgefrierzeit beziehungsweise der Frostausbreitung sind daher neben einer ausreichenden Baugrunderkundung vor allem numerische Modelle notwendig, die sowohl das thermo-hydraulische Verhalten gefrorener Böden als auch den thermischen Einfluss der Grundwasserströmung richtig abbilden können. Das am RWTH-Lehrstuhl für Applied Geophysics and Geothermal Energy entwickelte Finite-Differenzen-Programm SHEMAT-Suite wurde vom Lehrstuhl für Geotechnik im Bau-

wesen adaptiert und um ein Modul erweitert, mit dem die thermo-hydraulischen Eigenschaften des Mehrphasensystems Boden beschrieben und gekoppelte Strömungs- und Wärmetransportvorgänge realistisch berechnet werden können. Eine besondere Herausforderung stellte die Berücksichtigung der durch den Gefrierprozess sich laufend verändernden hydraulischen Randbedingungen dar.

Zur Optimierung der Aufgefrierzeit in Abhängigkeit der Grundwasserströmung wurden weiterhin umfangreiche Simulationen zur Gefrierrohranordnung, unter anderem auch mit einer Kombination von Stickstoff- und Solevereisung, durchgeführt. Dies führte nicht nur zu kürzeren Schließzeiten, sondern ermöglichte bei höheren Fließgeschwindigkeiten überhaupt erst einen geschlossenen Frostkörper. Darauf aufbauend wurden ein vereinfachter und ein detaillierter Ansatz zur Bestimmung der Kühlleistung von Vereisungsmaßnahmen entwickelt und ebenfalls in das Programm SHEMAT-Suite implementiert. Hiermit können in Zukunft Vereisungsmaßnahmen im Hinblick auf den Energieverbrauch insbesondere bei dem in der Praxis üblichen intermittierenden Betrieb, also das regelmäßige Ein- und Ausschalten

der Kühlaggregate, während der Erhaltungsphase ganzheitlich optimiert werden.

Aktuelle Forschungen am Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen befassen sich mit einer Erweiterung der numerischen Modelle, um die bisher noch fehlenden thermo-mechanischen Materialeigenschaften gefrorener Böden ebenfalls realistisch abbilden zu können. Diese sind temperatur- und zeitabhängig und können bisher nicht oder nur teilweise realitätsnah abgebildet werden. Für die mechanischen Berechnungen wird in der Praxis meist eine konstante Temperaturverteilung über eine gewisse Breite des gefrorenen Frostkörpers angenommen, was zu sehr unwirtschaftlichen Bemessungen führen kann. Des Weiteren laufen Untersuchungen zur Bildung von Schichten aus reinen Eiskristallen, die so genannten Eislinsen, in frostempfindlichen Böden und zu den damit einhergehenden Frosthebungen, die zu Schäden an der Bebauung in der Umgebung einer Vereisungsmaßnahme führen können. Ziel ist es, ein Modell zu entwickeln, mit dem eine Vereisungsmaßnahme vollständig realistisch abgebildet und berechnet werden kann.

Autoren:
Dipl.-Ing. Thorsten Müller ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen.
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler ist Inhaber des Lehrstuhls für Geotechnik im Bauwesen.

Indoor-Positionierung

Automatische Lokalisierung in Gebäuden mit

Die Geo-Lokalisierung von Personen oder Objekten hat sich in den letzten Jahren zu einem bedeutendem Thema in Forschung, Industrie und Wirtschaft entwickelt. Mithilfe globaler, satellitenbasierter Positionierungssysteme, wie dem US-amerikanischen GPS, dem russischen GLONASS oder (zukünftig) dem europäischen Galileo, kann der Aufenthaltsort auf der Erdoberfläche automatisch per Knopfdruck bestimmt werden. Aufgrund der rasanten Weiterentwicklung der Sensorik, finden sich heute Empfängerchips der Global Navigation Satellite Systems, kurz GNSS, nebst weiterer Navigationssensoren, wie Beschleunigungs-, Drehraten- und Magnetfeldsensoren in verschiedenen massenmarktverfügbaren Produkten. Infolgedessen existieren inzwischen zahlreiche Anwendungen der automatischen Ortsbestimmung, wie die Fahrzeug- und Fußgängernavigation, die Personenortung von Sicherheits- und Rettungskräften, die Warenverfolgung, Wartungs-, Inspektions- und Dokumentationsaufgaben sowie Lokalisierungsaufgaben autonom fahrender Vehikel, zum Beispiel von fahrerlosen Transportsystemen, unbemannten Flugsystemen oder Robotern.

Obwohl satellitenbasierte Systeme so konzipiert sind, dass die Position eines Empfängers zu jeder Zeit, an jedem Ort und in Echtzeit bestimmt werden kann, existieren prinzipbedingt abgeschattete Areale. Im urbanen Bereich, in bewaldeten Gebieten, unter Tage oder innerhalb von Gebäuden können die von den Satelliten ausgesendeten Signale nur unzureichend oder

gar nicht für die Lokalisierung genutzt werden. Die meisten der oben genannten Anwendungen verlangen jedoch nach einer Lokalisierung auch in „GNSS-freien“ Umgebungen. Insbesondere innerhalb von Bauwerken besteht in zunehmendem Maße der Bedarf an Lösungen zur automatischen Positionsbestimmung, der so genannten Indoor-Positionierung.

Lokale Positionierungssysteme

Eine Lösung zur Indoor-Positionierung stellen lokale Positionierungssysteme, kurz LPS, dar. Die meisten der heute existierenden LPS-Ansätze basieren auf einer Infrastruktur aus fest im Gebäude installierten Sende- beziehungsweise Empfangseinheiten, den Referenzstationen. Zur Positionsbestimmung einer Mobilstation werden elektromagnetische oder akustische Signale zwischen Mobilstation und den Referenzstationen ausgetauscht, um die unbekannte Position im Bauwerk zu ermitteln. Obwohl noch ein vergleichsweise junges Forschungsthema, existiert bereits eine Reihe von Verfahren und Technologien zur Realisierung von Indoor-Positionierungssystemen, etwa auf der Basis von Funk, Ultraschall oder Infrarot.

Bei deren Einsatz ergeben sich jedoch Probleme bei der Signalausbreitung im Bauwerk, aufgrund der geringen Reichweite der zugrundeliegenden Basistechnologie, der fehlenden direkten Sichtverbindung zwischen Sende- und Empfangereinheiten sowie der Bauwerksstruktur (zum Beispiel Wände, Decken). Neben Abschattungen kommt es dabei häufig zu Signalausbreitungsfehlern, wie Dämpfung, Laufzeitverzögerungen und Mehrwegefehlern, die sich negativ auf das Lokalisierungsergebnis auswirken. Ein weiteres Manko vieler Systeme ist die Beschränkung auf eine zweidimensionale Positionierung sowie der vergleichsweise hohe Aufwand für die Administration und Steuerung zur Teilnahme des Nutzers am System.

Magnetic Indoor Local Positioning Systems

Im DFG-geförderten Forschungsprojekt „Magnetic Indoor Local Positioning System“, kurz MILPS, werden am Geodätischen Institut und Lehrstuhl für Bauinformatik & Geoinformationssysteme (gia) die Grundlagen eines auf künstlichen Magnetfeldern basierenden Indoor-Positionierungssystems untersucht. Magnetische Signale sind in der Lage, die Bauwerksstruktur unverfälscht zu durchdringen und unterliegen somit nicht den oben genannten Ausbreitungsfehlern.

Zur Erzeugung der Magnetfelder werden bei MILPS mehrere stromdurchflossene Spulen verwendet, die räumlich verteilt installiert und eingemessen werden, so dass die relevanten Bereiche des Bauwerks abgedeckt sind. Die Spulen dienen somit als Referenzstationen in einem lokalen Bauwerkskoordinatensystem. Mit Hilfe eines dreiachsigen Magnetfeldsensors als Mobilstation werden die erzeugten Spulenmagnetfelder im unbekannten Punkt beobachtet. Aus den Magnetfeldbeobachtungen können anschließend geometrische Größen – im vorliegenden Fall Raumdistanzen und Winkel – zwischen der Mobil- und den

künstlichen Magnetfeldern

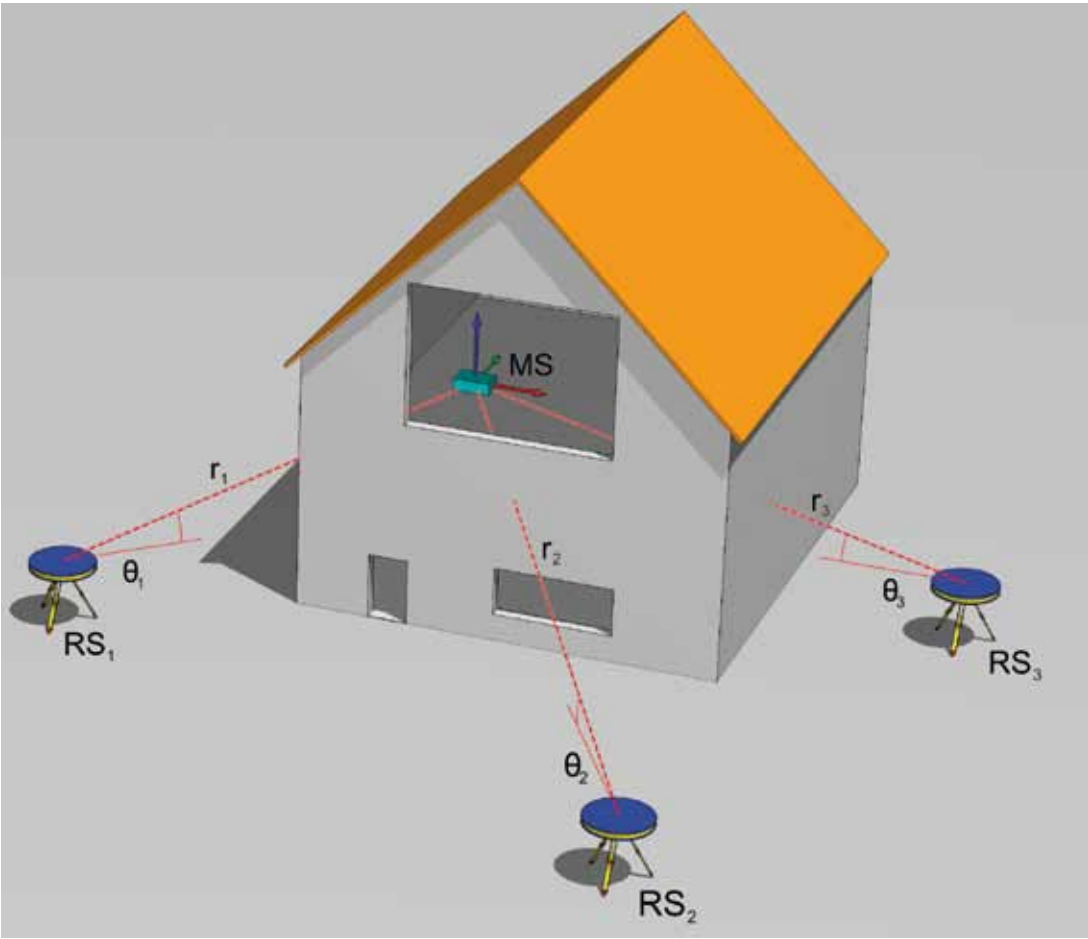


Bild 1: Systemarchitektur des Magnetic Indoor Local Positioning System MILPS.
Quelle: gia

Referenzstationen abgeleitet und für die Schätzung der unbekannten Position herangezogen werden, siehe Bild 1.

In einer ersten Projektphase wurden grundlegende Analysen sowie Simulationen durchgeführt und darauf basierend ein Experimentalsystem für empirische Untersuchungen im Labormaßstab entwickelt. Bei der Auswahl der Spulenparameter wurden einerseits die zu erreichende Reichweite zwischen Sensor und Spule – im Labormaßstab etwa 15-20 Meter – unter Berücksichtigung der Sensitivität kommerzieller Magnetfeldsensoren zu Grunde gelegt. Andererseits

flossen pragmatische Überlegungen bezüglich der Abmessungen, dem Gewicht sowie der maximalen Stromstärke der Spulen ein. Die Signalerzeugung erfolgt bei MILPS durch periodisches Umschalten der Stromrichtung in den Spulen. Mit Methoden der digitalen Signalverarbeitung werden aus den vom Magnetfeldsensor aufgezeichneten Magnetfeldkomponenten existierende Interferenzfelder (zum Beispiel Erdmagnetfeld, künstliche Störfelder) gefiltert sowie die Spulensignale extrahiert.

3D-Positionsbestimmung

Die Verwendung von drei Referenzstationen ermöglicht bereits die dreidimensionale Lokalisierung und resultiert in zwei möglichen Positionen. Die Einführung einer Zwangsbedingung beziehungsweise die Hinzunahme einer vierten Spule führt zu einer eindeutigen Lösung. Für die Positionsbestimmung werden die über Echtzeituhren synchronisierten Spulen sequenziell geschaltet, um die magnetische Flussdichte (= Feldstärke) der Spulenfelder zeitlich getriggert mit dem Magnetfeldsensor im unbekannten Punkt zu messen. Da die Feldstärke bei konstanter





*Bild 2: Magnetic Indoor Local Positioning Systems MILPS des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen. Diplomingenieurin Catia Maria Real Ehrlich und Sören Loges verlassen sich auf MILPS bei der Raumsuche in einem Hörsaalgebäude.
Foto: Peter Winandy*



Bild 3: Smartphone-basierte Innenraumpositionierung.
Foto: gia

Stromstärke und bekannten Spulenparametern eine Funktion des euklidischen Abstandes (r_i) und Elevationswinkels (θ_i) zwischen Spule und Sensor ist, siehe Bild 1, kann eine 3D-Position über einen iterativen Trilaterationsalgorithmus berechnet werden. Falls mehr als drei Referenzstationen verfügbar sind und somit eine Überbestimmung vorliegt, kann zudem eine optimale Lösung mit Methoden der Ausgleichsrechnung geschätzt werden.

Die empirischen Untersuchungen mit dem Experimentalsystem bestätigen nicht nur die durch Baumaterialien unbeeinflusste Ausbreitung der Signale im Bauwerk, sondern ermöglichen eine 3D-Lokalisierung auch bei fehlender direkter Sichtverbindung zwischen Spulen und Sensor. Für die statische Positionierung, das heißt die Mobilstation ist unbewegt, lassen sich bislang entfernungsabhängige Absolutgenauigkeiten im Bereich von einigen Zenti- bis Dezimetern erreichen. Der Einsatz von adaptiven Filtern und Modellkalibrierungen lässt jedoch eine signifikante Genauigkeitssteigerung erwarten, was durch die Ergebnisse erster Tests gestützt und in den aktuellen Arbeiten der zweiten Projektphase tiefergehend untersucht wird.

Kinematische Positionierung

Für kinematische Lokalisierungsaufgaben im Bauwerk – zum Beispiel für die Fußgängernavigation – werden derzeit Untersuchungen zur Integration von Inertialsensorik durchgeführt. Anwendungsbedingt kommen hierfür insbesondere kostengünstige low-cost (MEMS-) Komponenten in Frage. Als ideale massenverfügbare Plattform für die Fußgängernavigation bieten sich heute Smartphones an, die bereits über zahlreiche Sensoren wie Magnetometer, Beschleunigungsmesser, Gyroskope oder Barometer verfügen. Analog zur klassischen Trägheitsnavigation lassen sich die Bewegungen des Nutzers zunächst aus den aufgezeichneten Beschleunigungen und Drehraten ableiten. Die hohe Stör- und Driftanfälligkeit der MEMS-Sensoren erfordert jedoch robuste Algorithmen sowie eine Stützung der Lösung für eine möglichst exakte und zuverlässige Lokalisierung im Bauwerk.

Am gia werden in diesem Kontext stochastische Verfahren zur Zustandsschätzung dynamischer Systeme für die kinematische Positionsschätzung in Gebäuden in Verbindung mit MILPS untersucht. Zusätzlich werden weitere Informationen, die aus virtuellen Bauwerksmodellen wie

dem Building Information Modeling abgeleitet werden können, für die Stützung verwendet. Derzeit können so bereits Trajektorien von einigen hundert Metern zuverlässig im Gebäude geschätzt werden, siehe Bild 3.

Intelligente Sensorsysteme bestimmen die Zukunft

Die Vision einer „smarten“ bebauten Umwelt kommt in vielen Schlagworten wie Smart Mobility, Smart Buildings oder Smart City zum Ausdruck. Um diese Vision Wirklichkeit werden zu lassen, wird die Zukunft – zumindest in technologischer Hinsicht – durch intelligente Sensorsysteme geprägt sein. Die Geo-Lokalisierung von Personen und Objekten wird in diesem Kontext für viele Anwendungen eine zentrale Rolle spielen. In Abhängigkeit von der Umgebung und dem Einsatzzweck existieren zwar heute bereits vereinzelt Lösungen für die automatische Ortsbestimmung innerhalb von Bauwerken, im Sinne einer möglichst umfassenden Ortungstechnik – á la GNSS für den Außenbereich – ist das Problem jedoch mitnichten gelöst. Mit MILPS wird derzeit an einem System mit vielversprechenden Eigenschaften, obgleich vieler noch zu untersuchender Aspekte, geforscht. Die Positions-

bestimmung innerhalb von Bauwerken stellt daher gleichermaßen eine Herausforderung wie auch ein spannendes Forschungsfeld dar.

Autor:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Blankenbach ist Leiter des Geodätischen Instituts und Inhaber des Lehrstuhls für Bauinformatik und Geoinformationssysteme.



*„Besser geht's nicht.“
Typisch auto motor sport. Typisch Ford.*

DER FORD **FOCUS** > 1,0-l-EcoBoost-Motor

Stolze 103.761 Kilometer hat der Ford Focus¹ im Rahmen des Dauertests zurückgelegt – und das mit Bravour. Zu verdanken ist dies unter anderem dem 1,0-l-EcoBoost-Motor, einem so dynamischen wie zuverlässigen Antrieb.



Kraftstoffverbrauch (in l/100 km nach VO (EG) 715/2007 und VO (EG) 692/2008 in der jeweils geltenden Fassung): 6,4–6,3 (innerorts), 4,4–4,2 (außerorts), 5,1–5,0 (kombiniert). CO₂-Emissionen: 117–114 g/km (kombiniert).

¹ Baujahr 2012–2014. Punktgleich mit Toyota Auris Hybrid 1.8.



Eine Idee weiter

Schnell, gut und Werksmäßig vorgefertigte Ziegelwände mit

Das Bauen mit werksmäßig vorgefertigten Ziegelwänden ist inzwischen eine bewährte Bauart. Aufgrund des wachsenden Kostendrucks auf den Baustellen wird sie mittlerweile nicht nur im Wohnungsbau, sondern immer häufiger auch im Gewerbe- und Industriebau eingesetzt. Die Vorteile der Elementbauweise sind dabei vielfältig. Neben den kürzeren Rohbauzeiten und damit verbundenen niedrigeren Baukosten sind hier unter anderem auch das gleichmäßige Qualitätsniveau und die hohe Maßgenauigkeit der Mauertafeln zu nennen, die durch die automatisierte, von handwerklicher Geschicklichkeit und Witterungseinflüssen unabhängige Produktion erreicht werden.

Eine Neuerung im Bereich des vorgefertigten Mauerwerks stellt die von der Firma Pichler aus Wels in mehrjähriger Zusammenarbeit mit einem amerikanischen Technologiekonzern entwickelte, patentierte Redbloc-Fertigteilsystemtechnologie dar, bei der anstelle eines herkömmlichen mineralischen Mauermörtels ein

klebstoff (2K-PUR) maschinell auf die Ziegeloberfläche aufgetragen wird. Diese auf einem weltweit einmaligen Trockenklebeverfahren basierende Technik wird bereits seit etwa zehn Jahren erfolgreich in Österreich, Russland, Belgien und den Niederlanden eingesetzt. Durch das Trockenklebeverfahren und eine neuartige Sägetechnik verkürzt sich die Gesamtbauzeit nochmals deutlich, da bei der Herstellung der Mauertafeln keine Feuchtigkeit zugeführt wird und so längere Austrocknungsphasen entfallen können.

Mit dem Ziel, die nötigen Grundlagen für die Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und damit die Voraussetzungen für eine bauaufsichtlich geregelte Anwendung dieser neuen Bauart in Deutschland zu schaffen, wurden am Institut für Bauforschung umfangreiche Untersuchungen an mit 2K-PUR-Klebstoff vorgefertigtem Mauerwerk durchgeführt. Das Versuchsprogramm umfasste Untersuchungen an einzelnen Mauersteinen, an kleinen Verbundprüfkörpern und an Wandprüfkörpern. Als Eingangsprüfung wurden zunächst die wesentlichen Kennwerte der für das Zulassungsverfahren ausgewählten Ziegel bestimmt. Im zweiten Schritt erfolgten Untersuchungen an Kleinprüfkörpern zur Bestimmung des Verbundverhaltens zwischen den Mauersteinen und dem Klebstoff sowie der Festigkeitsentwicklung und der Dauerhaftigkeit des eingesetzten 2K-PUR-Klebstoffs. Im letzten Schritt wurden Untersuchungen an großen Wandprüfkörpern durchgeführt, um die Biege-, Druck- und Schubtragfähigkeit des Mauerwerks zu bestimmen.

Ende des Jahres 2014 wurde schließlich das erste Fertigteilwerk in Deutschland von der Redbloc Elemente GmbH, einer

Tochterfirma der Penzkofer Bau GmbH, fertiggestellt, in dem nun vollautomatisiert Ziegelfertigteilewände mit der patentierten Redbloc-Technologie hergestellt werden können. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte bei der automatisierten Produktion der Ziegelfertigteile anhand dieser neuen Fertigungsanlage beispielhaft vorgestellt.

Planung der Fertigteile

Die Produktion der Mauertafeln wird individuell nach den Vorstellungen des Kunden geplant und umgesetzt. Bestehende Architektenpläne können dabei in allen gängigen Dateiformaten problemlos übernommen und für den vollautomatisierten Herstellungsprozess umgewandelt werden. Hierfür werden die Baupläne zunächst in eine Elementierungssoftware eingelesen, und daraus die für das Bauvorhaben benötigten Fertigteile berechnet.

Über eine Datenschnittstelle erfolgt die Übergabe der Element-Abmessungen an die Produktionsanlage inklusive wesentlicher Detailinformationen wie Lage des Bauteils im Bauwerk, Aussparungen oder zu verwendender Steintyp. Eine Mauerberechnungssoftware überprüft die übergebenen Daten und ermittelt unter Zuhilfenahme einer Baustoffdatenbank Aufteilung und Anordnung der jeweiligen Steine innerhalb der Fertigteilwände und berücksichtigt dabei einen optimalen Steinverbrauch bei minimalem Verschnitt.

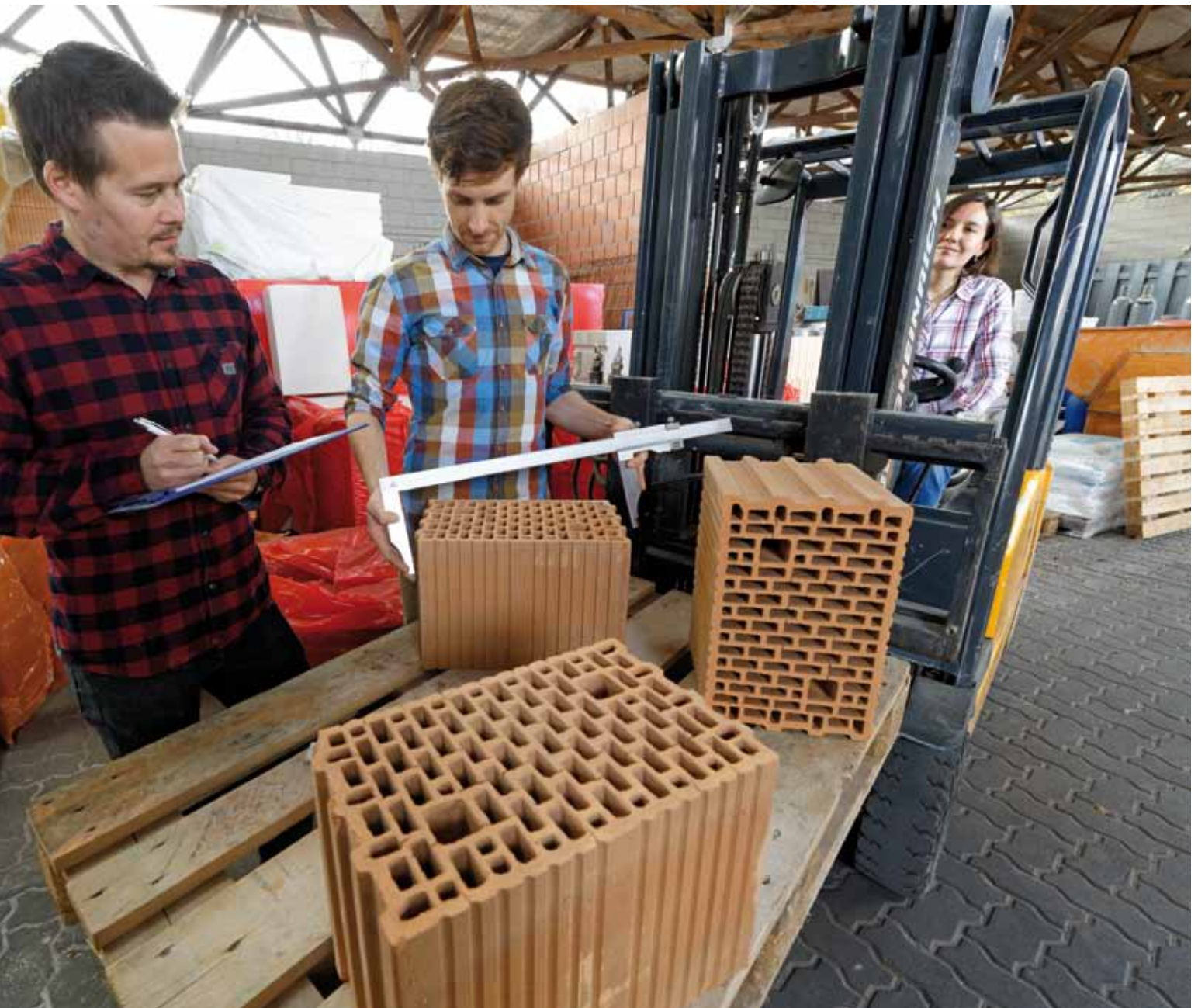
Produktion

Auf Basis der berechneten Daten der Wandelemente werden die Mauerziegel mittels zweier Roboter der Fertigungsstraße zugeführt. Ein Roboter entnimmt mit einem Greifer die Steine von der Palette und beschickt die Fertigungslinie. Ein weiterer Roboter



günstig

Zweikomponenten-Polyurethanklebstoff



29

*Bild 1: Überprüfung der Maße der angelieferten Planhochlochziegel.
Foto: Peter Winandy*



*Bild 2: Auftrag des
2K-Polyurethan-Klebstoffs
auf eine Mauersteinlage.
Foto: Redbloc Elemente GmbH*



*Bild 3: Aufsetzen einer
Steinlage mit dem Lagengreifer.
Foto: Redbloc Elemente GmbH*

beschickt die Säge und führt die Schnittstücke der Fertigungsstraße zu.

Die Steine werden gemäß Berechnung auf der Fertigungsstraße aufgelegt. Nachdem alle Steine einer Lage mit Ausnahme des letzten Steins komplett sind, werden sie ausgerichtet und die Länge des Wandelements vermessen. Basierend auf dem gemessenen Ist-Wert wird mit dem letzten zuzuschneidenden Stein, dem so genannten „Pass-Stein“, die Differenz zum vorgegebenen exakten Wandmaß ausgeglichen. Der Pass-Stein wird im weiteren Verlauf so in die Wand eingefügt, dass die gesägte Seite nicht sichtbar ist und das Wandelement grundsätzlich über die gesamte Höhe maßgenau abschließt. Weiterhin erfolgt auf der Fertigungsstraße das trockene Bohren der

für das Transportsystem erforderlichen Lochungen. Die Software berechnet dabei den genauen Schwerpunkt eines jeden Fertigteils, um ein späteres problemloses Heben mit dem Kran zu gewährleisten. Anschließend werden die Oberflächen der Mauersteine gründlich mit einer automatischen Rollenbürste abgekehrt, um lose Teile und Staubschichten zu entfernen. Am Ende der Fertigungsstraße werden die Steinlagen erneut ausgerichtet und durch einen Lagengreifer auf die Fertigungspalette gesetzt. Nach jeder gesetzten Steinlage wird der patentierte 2K-Polyurethan-Klebstoff millimetergenau aufgetragen, siehe Bild 2, der Sprühkopf automatisch gereinigt und die nächste Steinlage mit dem Lagengreifer aufgesetzt, siehe Bild 3.

Die Wandelemente werden grundsätzlich in der Reihenfolge hergestellt, in der sie auf der Baustelle versetzt werden. Durch die sehr kurze Aushärtezeit des Klebstoffs können die fertigen Wandelemente sofort in den nachfolgenden Anlagenteil, dem Sägezentrums, umgesetzt werden.

Im Sägezentrums werden an den Elementen die von der Software berechneten Schnitte präzise mithilfe einer neuen Diamant-Seilsägetechnik ausgeführt. Der große Vorteil dieses Sägeverfahrens ist, dass vollkommen trocken gesägt werden kann und so keine Feuchtigkeit in die Elemente eingetragen wird, was sich wiederum positiv auf die Bauzeit auswirkt. Zudem entfallen die bei den sonst oft verwendeten Nass-Sägeverfahren auftretenden Verunreinigungen der Wandelemente.

Im letzten Produktionsschritt werden die Elemente komplett mit Sonderbauteilen wie Stürzen, Rolläden- und Jalousiekästen ausgestattet. Bereits eine Stunde nach Fertigstellung ist die Transportfähigkeit der Elemente sichergestellt. Durch die automatisierte Produktion ist es möglich, innerhalb von acht Stunden bis zu 400 Quadratmeter Wandelemente im Fertigteilwerk herzustellen, zu verladen und zur Baustelle zu transportieren.

Transport der Fertigteile zur Baustelle

Der Transport der Fertigteile erfolgt mit unvermörtelten, wieder verwendbaren Ankerstäben und Tragbolzen. Die Tragziegel der untersten Steinlage enthalten in der Achse der vertikal gebohrten Kanäle eine horizontale Bohrung

zur Aufnahme der Tragbolzen. Die unterste Steinlage wird zusätzlich vor dem Verladen im Fertigteilwerk mit einer werkseitig applizierten Stretchfolie gesichert. Die fertigen Wandelemente werden mit dem Anlagenkran aufrecht stehend in Transportcontainer gehoben und entsprechend dem Terminplan mit Spezialtransportfahrzeugen just in time zur Baustelle gebracht. Das Bestücken der Transportcontainer erfolgt dabei nach den Angaben im Montageplan, wodurch immer gewährleistet ist, dass die Elemente in der Reihenfolge auf der Baustelle eintreffen, in der sie auch benötigt werden.

Montage der Fertigteile auf der Baustelle

Nachdem auf der Baustelle die Wandfluchten, Türöffnungen und Elementstöße mittels Schlagseil auf der Bodenplatte gekennzeichnet wurden, können die einzelnen Wandelemente mittels Mobil- oder Baustellenkran abgeladen und versetzt werden. Das Abladen und Positionieren der Elemente erfolgt gemäß der Angaben im mitgelieferten Montageplan. Dabei werden die Elemente vorsichtig in ein vollflächiges Mörtelbett mit Ausgleichsplättchen gesetzt, siehe Bild 4, um Maßtoleranzen auszugleichen, die infolge

von Unebenheiten der Decke auftreten können. Jedes Wandelement wird anschließend mit mindestens zwei zuvor vorbereiteten Schrägstützen lotrecht ausgerichtet und gesichert. Die Schrägstützen werden mit Sechskantschrauben an der Wand und mit Schlagdübeln in der Bodenplatte fixiert. Erst nachdem beide Stützen befestigt wurden, wird die Aufhängevorrichtung gelöst und aus dem Element entfernt.

Die Verbindung der einzelnen Wandelemente erfolgt durch stumpfen Stoß. Die entstehenden Fugen zwischen den Elementen werden bauseits an der Innen- und Außenseite mit PU-Schaum versiegelt. Gegebenenfalls überstehende Reste des PU-Schaums werden nach der Aushärtung abgeschnitten. Zusätzlich wird an der Innenseite der Wände ein 20 Zentimeter breites Gewebe über die vertikalen Montagefugen aufgeschaltelt.

Großer Fortschritt bei Fertigbauteilen

Die Produktion von Mauerwerkfertigteilern ist eine sehr interessante Variante der Herstellung von Wandbauteilen, da neben der Witterungsunabhängigkeit bei der hier vorgestellten Bauweise infolge des ungewöhnlich hohen Mechanisierungsgrades auch die Toleranzen der Herstellung deutlich reduziert werden. Insgesamt wirkt der vollständige Herstellprozess sehr gut durchdacht und die Qualitäten sind hochwertig. Die Produktionsgeschwindigkeit ist mit etwa 30 Minuten für eine sechs Meter lange und drei Meter hohe Wand extrem hoch. Die hier vorgestellte Methode ist damit ein großer Fortschritt im Bereich der industriellen Fertigung von Fertigbauteilen.

Mit den am Institut für Bauforschung durchgeführten Untersuchungen wurden die notwendigen Grundlagen für die Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung geschaffen, diese wurde im Juni des Jahres 2015 erteilt.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Brameshuber ist Inhaber des Lehrstuhls für Baustoffkunde. Dipl.-Ing. Markus Graubohm ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bauforschung.

Bild 4: Absetzen der Elemente in ein Mörtelbett.
Foto: Redbloc Elemente GmbH



SMART-DECK

Ein Verstärkungs- und Schu

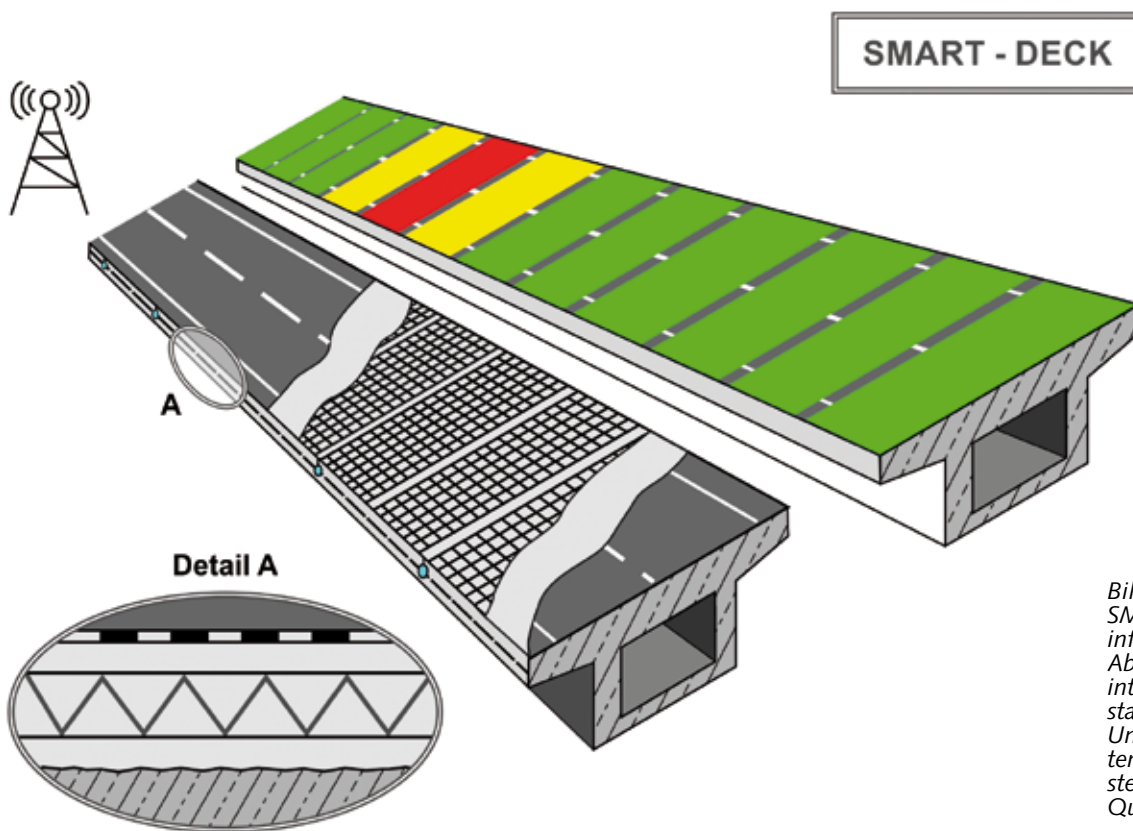


Bild 1: Funktionsweise von SMART-Deck. Eine Farbskala informiert über den Zustand der Abdichtung: Grüne Flächen sind intakt, ein signifikanter Widerstandsabfall wird gelb markiert, Undichtigkeiten oder überschrittene Grenzwerte sind rot dargestellt.

Quelle: ibac

32

Eine nachhaltige und effiziente Mobilität steht aufgrund der großen Verkehrsinfrastruktur zusammen mit einem stetig wachsenden Verkehrsaufkommen in Deutschland kontinuierlich im Fokus von Wirtschaft, Politik und Forschung. Eine Beschädigung von Brückenbauteilen führt zu einer verkürzten Lebensdauer des Bauwerks und impliziert weiterführende Probleme: Unterläufige Abdichtungen sowie schadhafte Fugen- oder Übergangsprofile

stellen aufgrund des Eintritts von Chloriden in den Beton eine Gefährdung für die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbrücken dar. Chloride gelangen beispielsweise durch Tausalzanwendungen oder in maritimen Gegenden durch Meerwasser auf die Brücken und zerstören die Oxidschicht – auch Passivschicht genannt –, die sich im alkalischen Milieu des Betons auf den Bewehrungsstählen bildet. Nach dieser Depassivierung der Stähle kann es zur Korrosion und somit zum Querschnittsverlust der Bewehrung kommen. Über längere Zeit unentdeckte Leckagen führen daher in der Regel zu massiven Korrosionsschäden. Diese können weder mit den heute verwendeten lokal begrenzt messenden Sensoren noch mit einer turnusmäßig stattfindenden Brückenprüfung

frühzeitig zuverlässig detektiert werden. Korrosionsschäden an der Bewehrung werden daher oftmals erst erkannt, wenn bereits ein erhebliches Schädigungsausmaß und eine Einschränkung der Tragfähigkeit vorliegen. Die Folge sind umfangreiche Instandsetzungsmaßnahmen – etwa Abfräsen von Belag, Erneuerung der Abdichtung und Einbau von Zulagebewehrung –, die je nach Ausmaß der Schäden zu erheblichen Verkehrsbehinderungen und signifikanten volkswirtschaftlichen Verlusten führen. Um diese kosten- und zeitintensiven Arbeiten zu vermeiden, soll mit „SMART-Deck“ ein innovativer dünner Brückenbelag aus Textilbeton erstellt werden, der die Lebensdauer und Tragfähigkeit von Brückenbauwerken maßgeblich erhöht. Dieser soll sowohl für

Neubauten als auch für Bestandswerke einsetzbar sein.

Seit Anfang September 2014 wird am Lehr- und Forschungsgebiet Baustoffkunde - Bauwerkserhaltung und -instandsetzung in Kooperation mit dem RWTH-Institut für Massivbau, der Bundesanstalt für Straßenwesen, der Eurovia Beton GmbH, der FTA Forschungsgesellschaft für Textiltechnik Albstadt mbH, der Massenberg GmbH, Sto SE & Co. KGaA am Projekt SMART-Deck geforscht. Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert, dieses hat die VDI Technologiezentrum GmbH als Projektträger mit der Beratung und der Umsetzung der Förderrichtlinien beauftragt.

SMART-Deck bietet im Vergleich zu bereits etablierten

tzsystem für Brückenbauwerke

Techniken Innovationen so ein vollflächiges Echtzeit-Feuchtemonitoring und damit ein frühzeitiges Erkennen von Schäden in der Abdichtungsebene. Der Betreiber des Brückenbauwerks soll über ein Monitoringkonzept in der Lage sein, den Zustand seiner Fahrbahnabdichtungen in Echtzeit zu überwachen. Die relevanten Daten in Form einer einfachen Zustandsanzeige als Farbbämpel, können über Mobilfunk oder Internet in die Zentrale übermittelt werden. Dabei ist die Anordnung der Bewehrung ein wesentliches Merkmal, indem diese in einzelnen Streifen quer zur Fahrbahnrichtung eingebaut wird, um eine ausreichend kleine Unterteilung der Mess- und gegebenenfalls Schutzfelder entlang der Brücke zu erzielen. Durch das System können somit zeitnah Maßnahmen ergriffen werden, falls Leckagen auftreten. Ist der Schaden nicht ohne weiteres zu beheben, kann ohne Beeinträchtigung des Straßenverkehrs in den betroffenen Zonen ein präventiver kathodischer Korrosionsschutz aktiviert werden.

Sofern der Einsatz eines präventiven Korrosionsschutzes aufgrund von Undichtigkeiten erforderlich ist, wird mittels Gleichrichtern örtlich begrenzt ein elektrisches Feld zwischen Carbon und Bewehrung aufgebaut. Alle negativ geladenen Ionen, also auch Chloridionen, wandern im elektrischen Feld zwischen Kathode und Anode in Richtung Anode und damit weg von der Bewehrung. Dieser zeitabhängige Prozess kann langfristig zu einer signifikanten Reduktionen des Chloridgehaltes nahe der Bewehrungsoberfläche führen und eine weitere Diffusion der Chloride in Richtung Bewehrung verhindern. Die Methodik bietet den Vorteil, dass eine notwendige Instandsetzung vom Betreiber gezielt terminiert oder sogar über viele Jahre hinausgezögert werden kann. Jedes Schutzfeld repräsentiert einen einzelnen Sensor und wird getrennt über ein Bussystem angesteuert. Dabei wird der elektrische Widerstand zwischen der oberen und unteren Textillage gemessen. Treten Undichtigkeiten in der Abdichtung auf,

kommt es zu einem Abfall im gemessenen Widerstand, da bei trockenem Mörtel deutlich höhere Widerstände vorliegen als im nassen Zustand. Somit können Undichtigkeiten im Frühstadium ermittelt und durch den präventiven kathodischen Korrosionsschutz behandelt werden.

Das System trägt zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit bei Bestandsbrücken bei und kann, in Kombination mit dem präventiven kathodischen Korrosionsschutz, mögliche Verkehrsbehinderungen vermeiden. Durch die Verstärkungsschicht soll sowohl die Biege- als auch die Querkrafttragfähigkeit der Fahrbahnplatte in Querrichtung vergrößert werden, ohne das Eigengewicht der Tragkonstruktion signifikant zu erhöhen.

Durch die Applikation von SMART-Deck wird erstmals eine vollflächige, ganzheitliche Überwachung von Brückenbauwerken realisiert. Vor allem durch den innovativen Einsatz von Carbongewebe entsteht ein Hightech-System, das aufgrund seiner Funktionalität auf dem Markt

nach aktuellem Stand nicht verfügbar ist. Alle bisherigen Monitoringsysteme arbeiten vergleichsweise punktuell und nicht vollflächig.

Eine zentrale Forschungsfrage im Rahmen des Projektes ist, ab welchem Widerstandsabfall von einer Undichtigkeit in der Abdichtung ausgegangen werden kann und ab welcher Größe Fehlstellen überhaupt detektierbar sind. Um die Beziehung zwischen Mörtelwiderstand und dem Feuchtegehalt des Mörtels zu untersuchen, werden Feuchte-Widerstands-Beziehungen erstellt. Hierfür werden Prüfkörper nach der Präparation wassergelagert und die Massen sowie der elektrische Widerstand mittels Wechselstrommessung im Zustand der Wassersättigung bestimmt. Im Anschluss daran werden die Prüfkörper bei einer Temperatur von 70 Grad Celsius ofengetrocknet, um einen möglichst geringen Wassergehalt zu erreichen. Von diesem Wassergehalt ausgehend werden an den Prüfkörpern unterschiedliche Wassergehalte durch abgestuf-

Bild 2: Detektierbarkeit von Fehlstellen.
Quelle: ibac

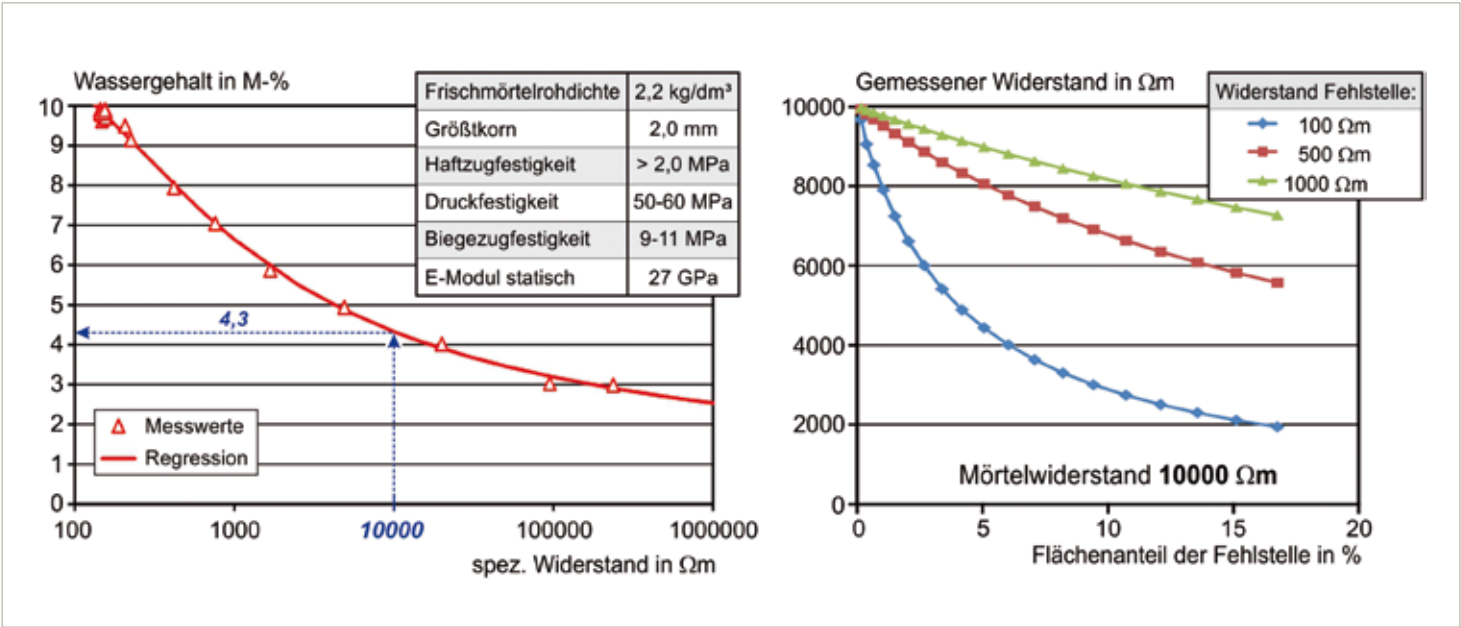




Bild 3: Im Rahmen des Projektes Smart-Deck bereiten Carla Driessen, Markus Zander und Professor Dr.-Ing. Michael Raupach (von links nach rechts) einen Prüfkörper im Lehr- und Forschungsgebiet Baustoffkunde, Bauwerks-erhaltung und -instandsetzung im Institut für Bauforschung für eine Messung vor.
Foto: Peter Winandy



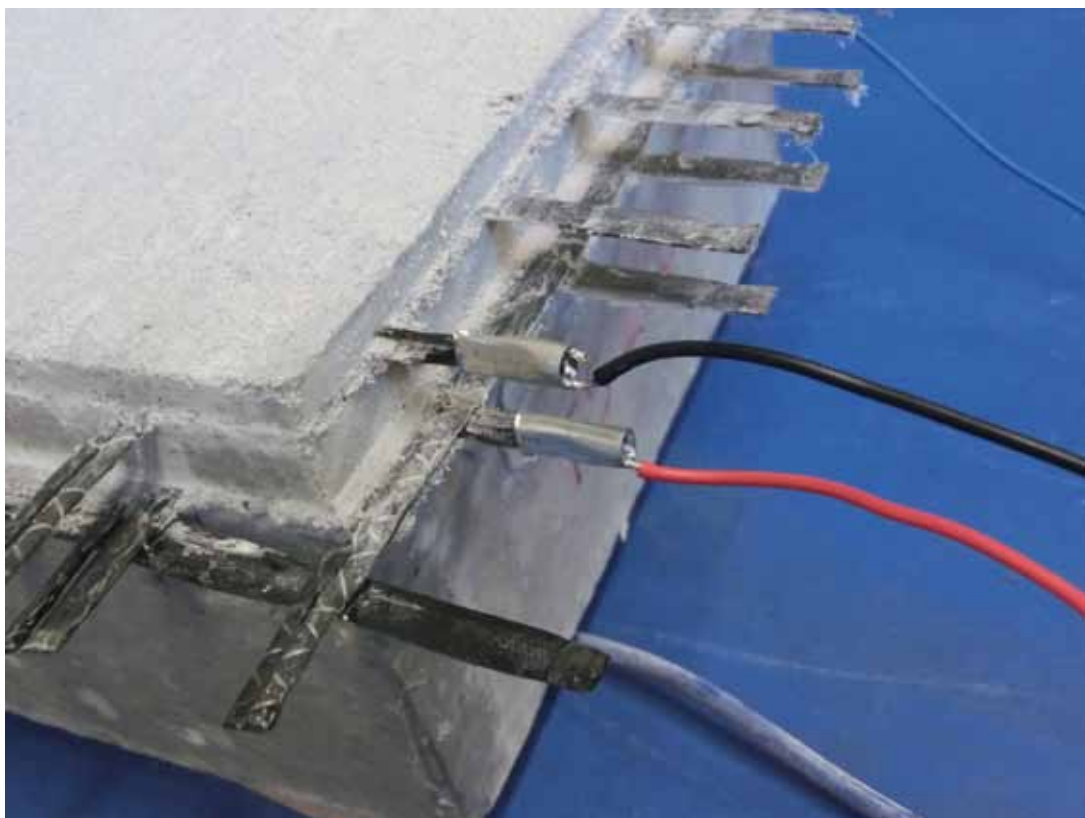
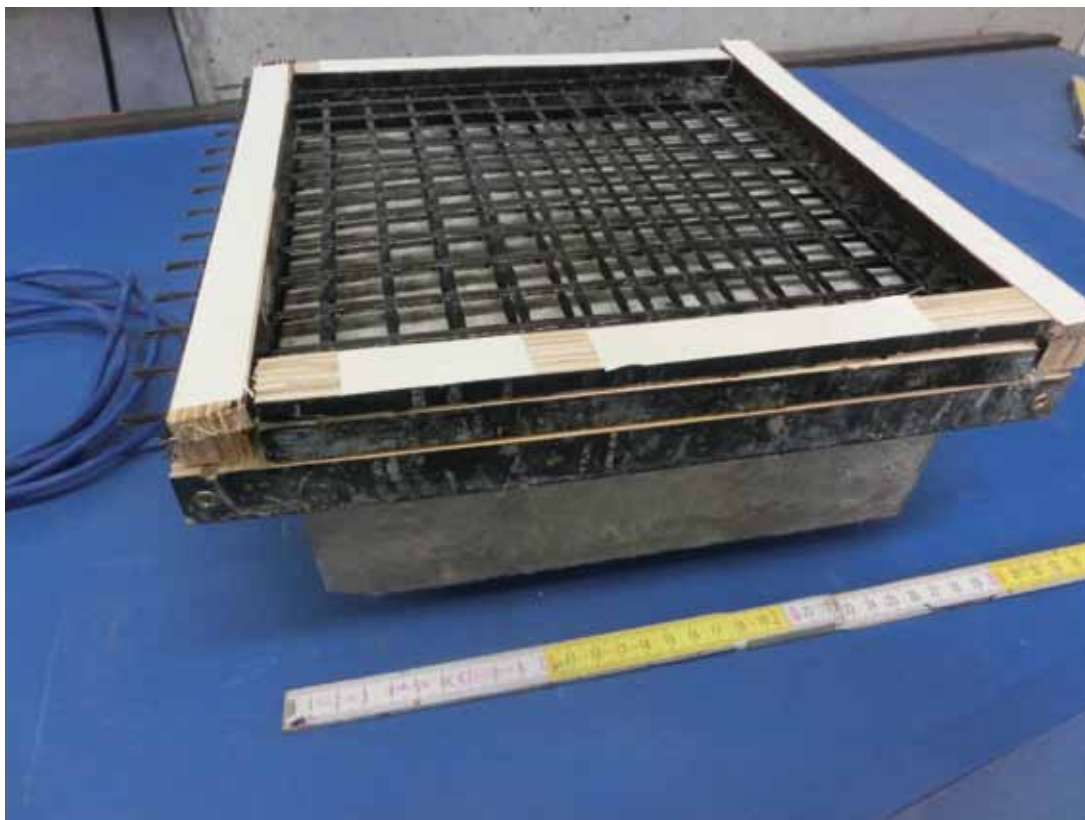
Bild 4: Prüfkörper mit Smart-Deck-Aufbau (oben) und Anschlüssen (unten).
Quelle: ibac

te Wasserzugaben eingestellt. Im Anschluss der Widerstandsmessung werden die Massen der Prüfkörper ermittelt und es erfolgt eine Ofentrocknung bei 105 Grad Celsius bis zur Massekonstanz. Aus den ermittelten Daten kann letztendlich der den gemessenen Widerständen zuzuordnende Wassergehalt bestimmt werden.

Mittels numerischer Simulation wurde für einen vom Projektpartner Sto SE & Co. KGaA ausgewählten Mörtel eine Parameterstudie durchgeführt, um zu untersuchen, bei welchem Mörtelwiderstand welche Fehlstellengröße bei welchem Widerstand der Fehlstelle detektierbar ist. Beispielhaft ist hier ein Diagramm dargestellt, für den Fall, dass der „trockene Zustand“ etwa 4,3 Massenprozent, kurz M-%, entspricht (Widerstand liegt bei 10000 Ohmmeter). Schon bei der kleinsten hier dargestellten Differenz im Feuchtegehalt zwischen Fehlstelle und restlichem Mörtelwiderstand, ist zu erkennen, dass bereits eine Fehlstelle, welche zwei Prozent des Messfeldes ausmacht, auffindbar ist. Je größer die Differenz im Mörtelwiderstand im nassen und trockenen Zustand ist, desto kleinere Fehlstellen sind auffindbar.

Hinsichtlich des kathodischen Korrosionsschutzes ist ein wichtiger Aspekt die Untersuchung des Einflusses der präventiven kathodischen Korrosionsschutzströme auf die mechanischen Eigenschaften der Bewehrung. Hierbei besteht eine Herausforderung darin, den Einfluss der elektrochemischen Prozesse am Carbon auf die Verbundfestigkeit Carbon-Mörtel und die Zugfestigkeit des Carbons zu untersuchen. Ferner werden die elektrischen Eigenschaften, wie Leitfähigkeit der Bewehrung, des Mörtels und die Polarisationsseigenschaften des Ladungsüberganges Carbon – Tränkung – Mörtel untersucht. Die Messfrequenz ist hierbei dem komplexen elektrischen Widerstandsverhalten des Mörtels anzupassen, um unerwünschte Polarisierungseffekte zu vermeiden.

Sowohl zur Untersuchung der Polarisationsseigenschaften der Textilien als auch für Widerstandsuntersuchungen werden zunächst Prüfkörper mit dem Smart-Deck-Aufbau in kleinerem Maßstab für Untersuchungen im Labor hergestellt.



Die Entwicklung von SMART-Deck liefert einen wesentlichen Beitrag zur Sicherstellung einer nachhaltigen Mobilität für die Volkswirtschaft und Gesellschaft:

- Stärkung der Bauwirtschaft bei gleichzeitiger Reduzierung der volkswirtschaftlichen Schäden
- Minimierung von Verkehrshinderungen und steigende Akzeptanz von Baumaßnahmen in der Gesellschaft
- Reduzierung der CO₂-Emission des Individualverkehrs
- Erhöhung der Verkehrssicherheit

Zukünftig soll das Projekt innerhalb eines Brückenabschnitts mithilfe eines „Klein Demonstrators“ installiert und erprobt werden. Dieser soll im Rahmen einer regulären Brückeninstandsetzungsmaßnahme unter realen Bedingungen ausgeführt werden. Vorstellbar ist außerdem eine Übertragung des Verstärkungs- und Schutzsystems auf andere Anwendungsfelder wie Parkbauten, Tunnel und Meeresbauwerke.

Autoren:
Carla Driessen, M. Sc., ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehr- und Forschungsgebiet Baustoffkunde - Bauwerkserhaltung und -instandsetzung. Univ. Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach betreut das Lehr- und Forschungsgebiet Baustoffkunde - Bauwerkserhaltung und -instandsetzung.

**DAMIT
KOMPLEXITÄT
BEHERRSCHBAR
BLEIBT.**

Wir suchen Software-Ingenieure und -Architekten (m/w) für Aachen

- die unsere weltweit eingesetzten IT-Systeme für den öffentlichen Verkehr mitgestalten wollen.
- die nicht nur ein paar Programmiersprachen, sondern Objektorientierung als Konzept beherrschen.
- die komplexe Anforderungen in modulare Architektur und robuste Software umsetzen können.
- die mitdenken, mit ihren Lösungen überzeugen und Verantwortung übernehmen wollen.
- Frauen und Männer, die mehr als nur einen Job suchen.

IVU-Systeme planen Routen, lassen Busse fahren, informieren Fahrgäste, sorgen für Anschlüsse, steuern Ampeln, disponieren Fahrer, überwachen Flotten, verkaufen Tickets, führen Daten zusammen und steigern die Effizienz. Davon profitieren mehr als 500 Kunden und Millionen Fahrgäste weltweit.

Interessiert?

Dann senden Sie Ihre vollständigen Bewerbungsunterlagen an:

Daniela Gajer-Grundmann
job@ivu.de

IVU Traffic Technologies AG

Borchersstr. 20
52072 Aachen

Mehr über uns und unsere Systeme erfahren Sie unter www.ivu.de

SYSTEME FÜR LEBENDIGE STÄDTE

IVU TRAFFIC
TECHNOLOGIES
AG

Schneller rechnen – Die Reduktion komplexer

Bild 1: Kanalbrücke in Flandern.
Quelle: Institut für Angewandte
Mechanik



38

Wie muss eine Brücke aussehen, damit sie jeglicher Belastung standhält? Und wie lange dauert es, das auszurechnen? Tatsächlich ist das eine sehr schwierige Berechnung, wenn Geometrie, Material und Belastung genau berücksichtigt werden sollen. Häufig ist es aber möglich, Vereinfachungen zu treffen.

In Bild 2 ist eine Straßenbrücke als einfacher Biegebalken dargestellt. Das ursprünglich dreidimensionale System wird dabei auf ein eindimensionales reduziert, die rechteckigen Elastomergelager durch Punktlager ersetzt. Man sieht nicht: Die Verformung der Brücke ist elastisch, das heißt reversibel. Eigentlich sind diese Einschränkungen nicht zutreffend. Trotzdem liefert der Biegebalken – das reduzierte Modell – in

kürzester Zeit ein Ergebnis, das zumindest als Anhaltspunkt dienen kann.

Die Herausforderung, reale Systeme zu reduzieren, tritt in vielen Bereichen auf. Ein Beispiel ist ein medizinischer Eingriff. Durch eine Computersimulation werden sonst nicht zugängliche Daten geliefert. Dies kann die Festigkeit von biologischem Material sein, das in einer Operation nicht durchtrennt werden darf. Oder man möchte a priori die Auswirkung eines Schnittes auf Weichgewebe und knöcherne Strukturen beurteilen können. Es liegt auf der Hand, dass das reduzierte Modell für ein biologisches System nicht offensichtlich ist. Auch in vielen anderen Bereichen ist es schwierig, das reduzierte Modell ohne weitere Berechnung zu erkennen. An dieser Stelle setzt das mathematische Instrument der Modellreduktion an.

Mit Hilfe von Modellreduktionsverfahren lassen sich extrem große Systeme schnell und effizient lösen. Ein besonders gut anwendbares Verfahren ist die

Proper Orthogonal Decomposition-Methode, kurz POD. Hier wird die Zahl der unbekannten Größen geschickt reduziert, diese beschreiben die Verschiebung der Struktur an jeder Stelle. Die Reduktion basiert auf einer mathematischen Projektion anstelle der im Beispiel der Brücke dargestellten ingenieurmäßigen Reduktion. Zunächst werden so genannte Testsimulationen offline durchgeführt. Für jede Testsimulation wird der berechnete Verschiebungszustand für unterschiedliche Zeitpunkte gespeichert. Es ergibt sich eine große Menge von möglichen Lösungen, den so genannten Schnappschüssen. Mit Hilfe einer Datenkorrelation wird nun versucht, diese n -dimensionalen Daten mit Hilfe eines sehr viel kleineren m -dimensionalen Raums möglichst exakt darzustellen. Dabei gilt m sei viel kleiner als n . Die ermittelten m Basen spannen den n mal m dimensionalen Projektionsraum, den wir mit Φ bezeichnen, auf. Mit dessen Hilfe kann der n -dimensionale Vektor U der un-

bekannten Verschiebungen einer Finite-Elemente-Berechnung mit $U = \Phi U_{\text{red}}$ approximiert werden. In U_{red} befinden sich die verbleibenden m Unbekannten. Diese werden in der online ablaufenden reduzierten Berechnung bestimmt. Anschließend können mit Hilfe der angegebenen Gleichung wieder alle in U gespeicherten Verschiebungen ausgerechnet werden.

Um eine Modellreduktion beispielsweise für eine Nasenmuschel, siehe Bild 3, durchzuführen, muss zunächst das nicht reduzierte Modell aufgestellt werden, die in finite Elemente zerlegte Struktur. Wir gehen außerdem davon aus, dass das Verhalten des biologischen Materials bekannt ist und rechnen die so genannten Basen aus, die das System repräsentieren. Diese Basen stellen vergleichbar die neuen Freiheitsgrade des Systems dar. Während in der Finite-Elemente-Simulation dieses Systems mit 22.135 Unbekannten umgegangen werden muss, enthält das reduzierte Modell nur noch acht Unbekannte!

aber trotzdem genau

Modelle auf wenige Unbekannte

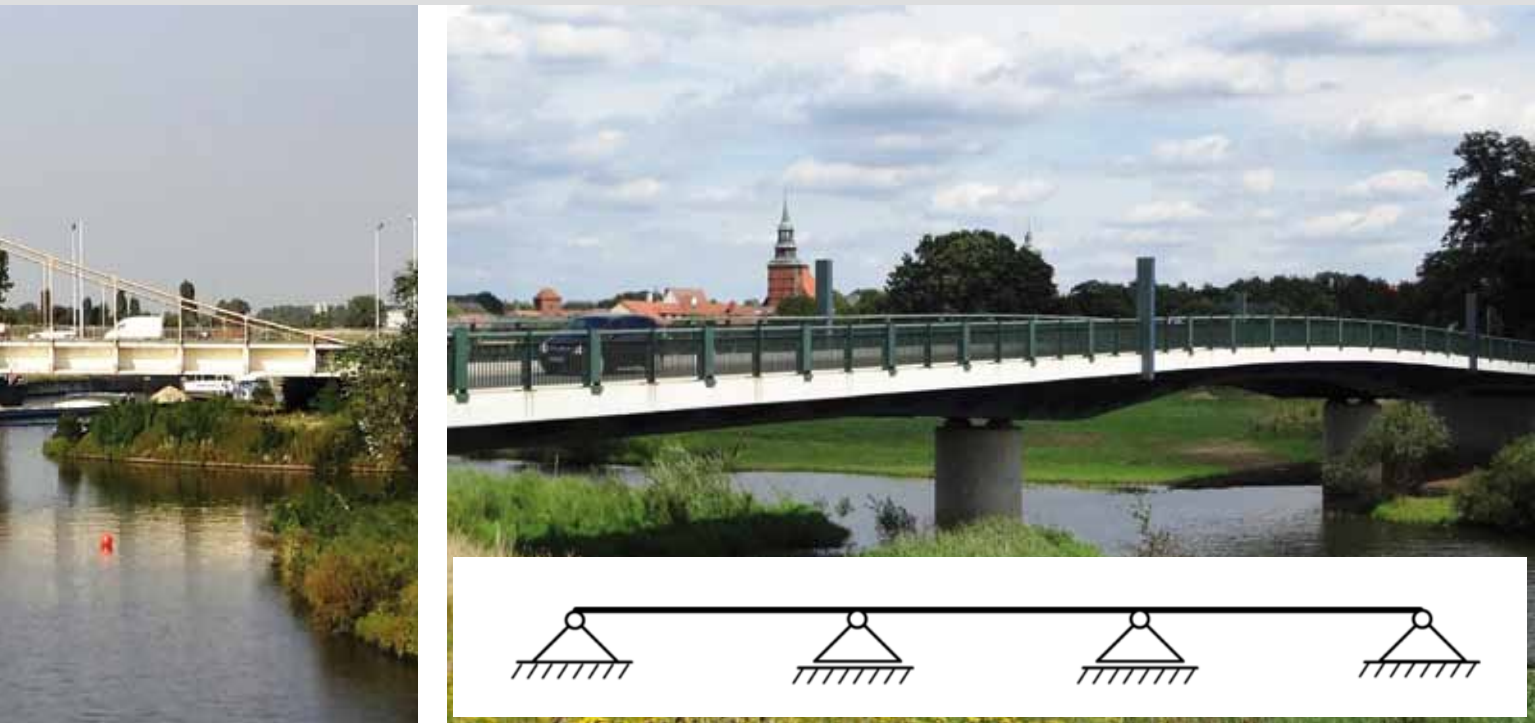


Bild 2: Straßenbrücke und reduziertes System.
Quelle: Institut für Angewandte Mechanik

Dies ist ein sehr großer Vorteil, denn so läuft die Berechnung 40-mal schneller.
Wie sieht es aber mit der Genauigkeit des Ergebnisses aus? Die mathematische Fehleranalyse liefert Fehler im Promillebereich. Dies ist absolut tolerabel, denn auch das komplexeste Modell kann die Realität nicht ohne jeden Fehler abbilden. Die hohe Qualität des reduzierten Modells lässt sich auch an den Span-

nungskonturen in Bild 4 ablesen. Zwischen den Ergebnissen des nicht reduzierten und des reduzierten Modells ist praktisch kein Unterschied zu erkennen.
Wo liegt der Forschungsansatz, wenn die Methode der POD bereits bekannt ist? Die Schwierigkeit besteht in der Nichtlinearität des Systems. Bisherige Anwendungen der POD beschäftigen sich mit linear-elastischen Systemen oder Problemstel-

lungen aus der Fluidmechanik, denen andere Modellgleichungen zugrunde liegen. Die Innovation der Forschungsarbeit des Lehrstuhls und Institutes für Angewandte Mechanik liegt in der Entwicklung von Modellreduktion im Zusammenhang mit komplexen Materialverhaltensweisen und festen Strukturen. Solche Anwendungen kommen im Bauingenieurwesen und Maschinenbau sowie in der Medizintechnik

extrem oft vor. Daher ist es erstaunlich, dass bisher nicht mehr Forschung auf diesem Sektor betrieben wurde. Aufgrund der Nichtlinearität müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden.
Der erste wichtige Punkt ist die Einbeziehung des sich ständig ändernden aktuellen Zustandes des Materials und der Struktur. Bei den klassischen linear-elastischen Systemen gilt das Superpositionsprinzip, hier leider nicht.

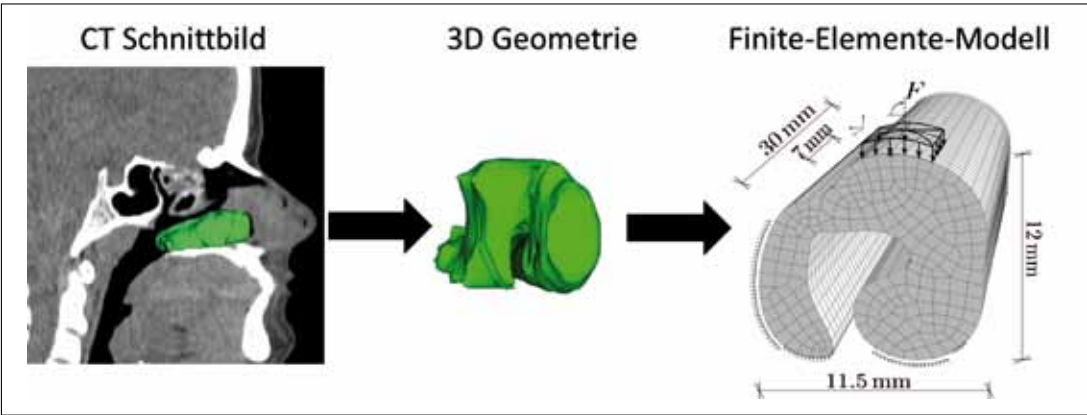


Bild 3: Erstellung des Finite-Elemente-Modells der Nasenmuschel aus medizinischen Computertomographie-Bildern.
Quelle: Institut für Angewandte Mechanik

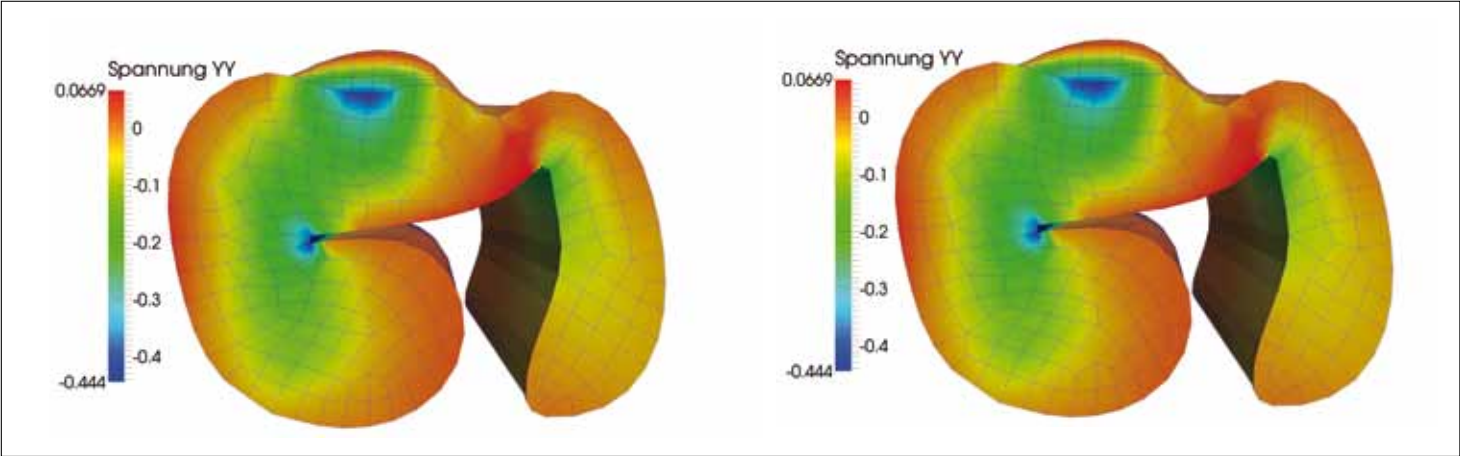


Bild 4: Spannungskontur der Nasenmuschel, ermittelt ohne (links) und mit Reduktionsverfahren (rechts).
Quelle: Institut für Angewandte Mechanik

Ein weiterer Aspekt ist die bei Standardberechnungen sehr große Zahl von Auswertepunkten für das Materialverhalten. Wenn man sich nichts Neues einfallen ließe, müssten auch bei dem reduzierten Modell die komplizierten Gleichungen in sehr, sehr vielen Punkten ausgewertet werden. Das verschlingt viel Rechenzeit. In der Mathematik hat man aber bereits Methoden entwickelt, die Zahl dieser Punkte signifikant zu reduzieren und trotzdem eine sehr genaue Lösung zu erhalten. Eine solche Methode wurde auf die hier interessierenden Anwendungen übertragen. Ergebnis ist eine erhebliche Reduktion der Rechenzeit! Tatsächlich gelingt es, mit nur 0,036 Prozent der ursprünglichen Anzahl von Freiheitsgraden und neun statt 22.135 Auswertungspunkten in 0,5 Prozent der ursprünglichen Rechenzeit eine Lösung mit 0,01 Prozent Fehler zu generieren. Dieses Resultat übertrifft die höchsten Erwartungen.

Doch leider muss etwas Wasser in den Wein gegossen werden. Obige Ergebnisse gelten für nichtlinear-elastisches Materialverhalten. Es wird schwieriger, wenn bleibende Verformungen, so genannte Plastifizierungen, ins Spiel kommen. Auch dann ist

Modellreduktion möglich, aber leider ist die Fehlerquote recht hoch. Dieses Problem kann mit Hilfe einer so genannten Substrukturtechnik überwunden werden. Die Idee dabei ist, nur die elastischen Bereiche der Struktur mit Modellreduktion zu behandeln. Die plastischen Bereiche werden herkömmlich gerechnet. Dies erfordert eine physikalisch und numerisch sinnvolle Verbindung der reduzierten und nicht reduzierten Bereiche. Eine sehr gut geeignete Methode dafür ist eine neue Art der Substrukturtechnik, die sich sogar an den aktuellen Zustand des Materials anpasst! Mit wachsendem Anteil an bleibender Deformation werden also die mit der Modellreduktion behandelten Bereiche immer kleiner. Mit Hilfe dieser Methode lassen sich komplexe plastische Umformprozesse reduzieren. Bild 5 zeigt den Versuchsaufbau des so genannten Grabenversuchs, eines roboterbasierten Umformprozesses. Ein Roboter zieht eine horizontale Furche in eine festgeklemmte Metallplatte. Das entsprechende Finite-Elemente-Modell dieses Versuchs ist ebenfalls in Bild 5 gezeigt.

Wie sieht es hier mit der Genauigkeit des Ergebnisses aus? Wie viel schneller lässt sich die

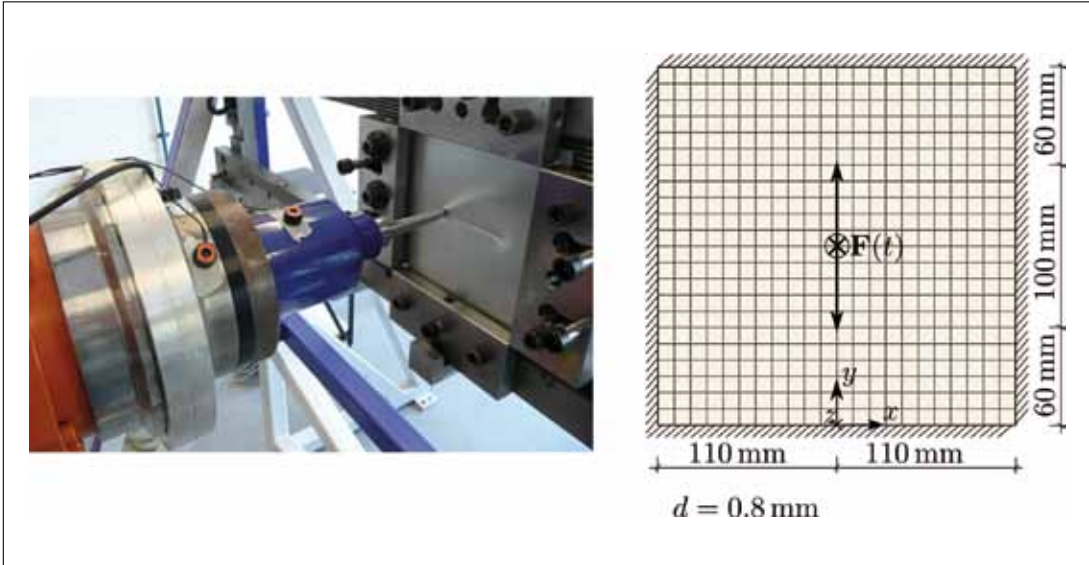
Berechnung durchführen? Durch die unterschiedliche Behandlung elastischer und plastischer Bereiche liefert die reduzierte Rechnung höchst genaue Ergebnisse mit Abweichungen im Promillebereich. Bild 6 zeigt die Verschiebungskonturen. Mit bloßem Auge lassen sich keine Unterschiede zwischen den Ergebnissen des nicht reduzierten und des reduzierten Modells ausmachen. Die Schnelligkeit des reduzierten Modells wird durch den zusätzlichen Arbeitsanteil der Substrukturtechnik natürlich etwas verringert. Das reduzierte Modell liefert die Ergebnisse in diesem Beispiel viermal schneller als das nicht reduzierte Modell.

Welche Anforderungen stellt der Flugzeugbauer an sein Material? Es soll hochbelastbar und trotzdem extrem leicht sein. Moderne faserverstärkte Kunststoffe können diesen hohen Anforderungen gerecht werden. Solche Werkstoffe bestehen aus einzelnen Fasern, die je nach Anforderung gewebt oder einzeln in eine geeignete Matrix gelegt werden. Das Verformungsverhalten des so entstandenen Materials wird durch das Verhalten der einzelnen Komponenten geprägt. Um in einer numerischen Berechnung

das Verformungsverhalten exakt darzustellen, müsste das numerische Modell jede Faser einzeln auflösen. Dies führt zu Modellen mit einer extrem großen Anzahl von Freiheitsgraden, die aufgrund des sich ergebenden Rechenaufwands nicht in realistischer Zeit zu lösen sind. Abhilfe schafft hier die Mehrskalensimulation. Bild 7 zeigt die Idee der Mehrskalensimulation. Es werden einzelne in-einander verschachtelte Modelle in Abhängigkeit von der Größenordnung definiert. Die Informationen über den Belastungszustand werden von der Makro- über die Meso- zur Mikro-Skala weitergeleitet. Die Reaktion des Materials auf diesen Belastungszustand wird in umgekehrter Reihenfolge bis zum Makromodell zurückgegeben.

Eine solche Mehrskalensimulation ist extrem rechenintensiv. Um den Rechenaufwand insgesamt zu verringern, kann die Modellreduktion genutzt werden. Das Modell auf der Mikro-Skala wird mit Hilfe der POD-Methode reduziert. Dies beschleunigt die Berechnung des Mikromodells, das in jedem Materialpunkt der Meso-Skala aufgerufen wird. Bild 8 zeigt die Spannungskontur des nicht reduzierten und reduzierten RVEs mit nur sechs Unbekann-

Bild 5: Der Grabenversuch: realer Versuchsaufbau.
Quelle: Meier et al., Key Engineering Materials 410 – 411, 2009) und Finite-Elemente-Modell (rechts).



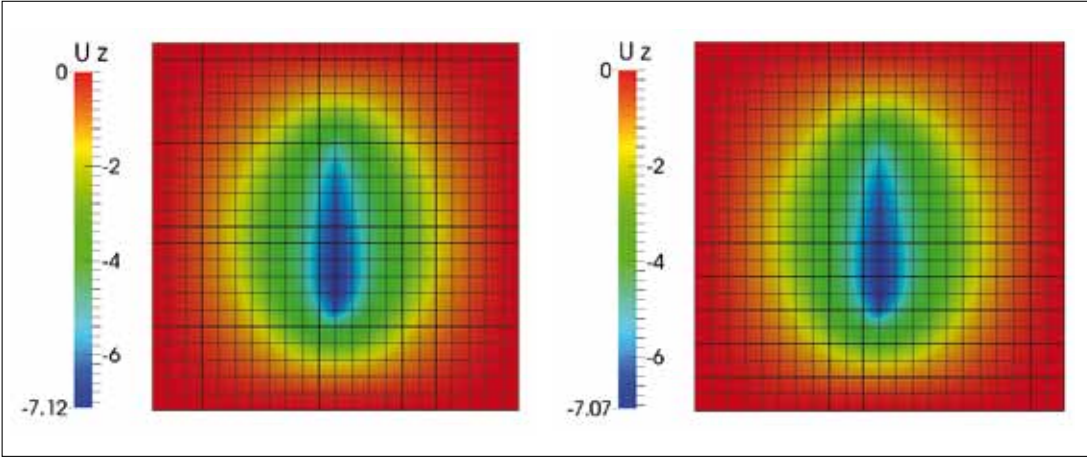


Bild 6: Vergleich der Berechnung der Verschiebungskontur der Platte: Links sind die Ergebnisse ohne und rechts mit Reduktionsverfahren zu sehen. Quelle: Institut für Angewandte Mechanik

Bild 7: Die Idee der Mehrskalensimulation. Weitere Informationen unter: Stiehr, Simon & Reese, Composite Structures 122, 2015.

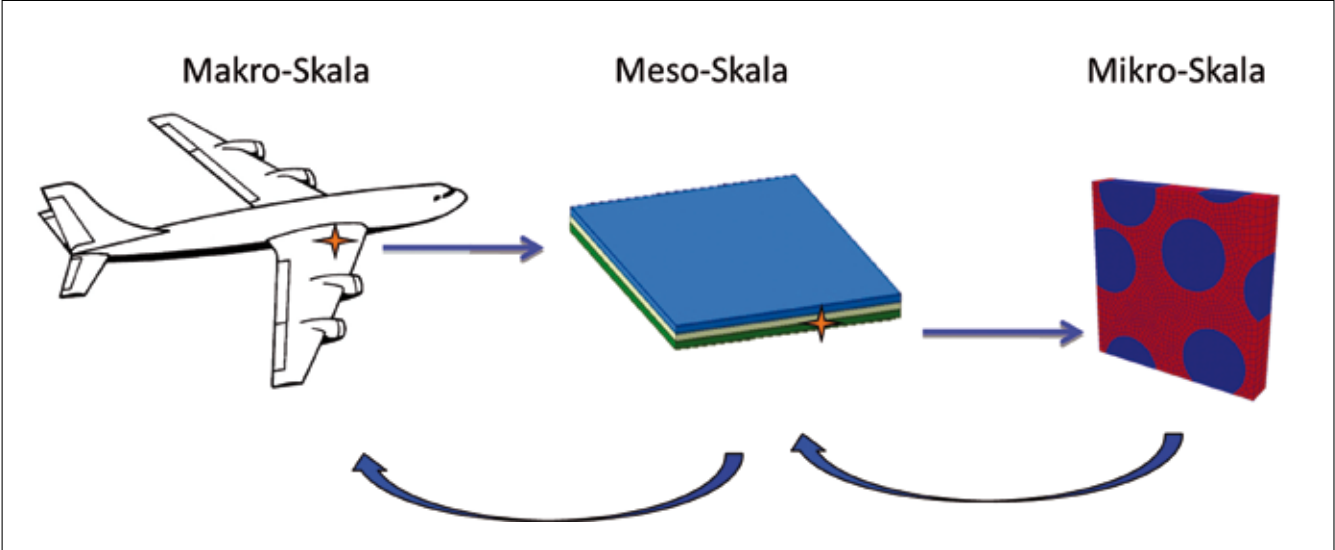
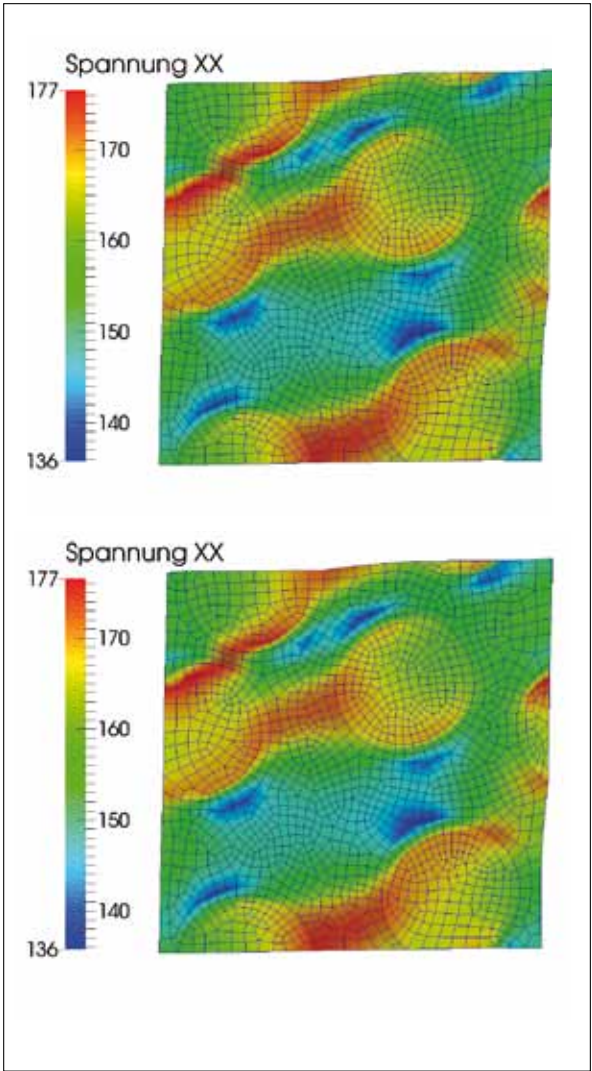


Bild 8: Vergleich der Spannungskontur des repräsentativen Volumenelements. Dieses wurde ohne (oben) und mit Reduktionsverfahren (unten) ermittelt. Quelle: Institut für Angewandte Mechanik



ten. Wiederum lässt sich auf den ersten Blick kein Unterschied feststellen.

Das reduzierte Mikromodell liefert die Ergebnisse dabei rund 200-mal schneller als das nicht reduzierte RVE. Bei einer Einbettung des reduzierten RVEs in die Meso-Skala oder Makro-Skala lassen sich so extreme Rechenzeitverkürzungen erreichen, ohne die Genauigkeit wesentlich zu beeinflussen.

Abschließend sollte noch einmal betont werden, dass es sich bei der Modellreduktion nicht um ein neues Modell handelt. Es geht vielmehr um ein leistungsstarkes mathematisches Instrument, mit dem sich Rechenzeiten signifikant reduzieren lassen. Im Fokus standen zunächst mechanische Problemstellungen, wie sie im Bauingenieurwesen, in der Medizin und im Maschinenbau vorkommen. Aber es steht außer Frage, dass

man darauf nicht beschränkt ist. Tatsächlich befinden wir uns erst am Anfang dieser Entwicklung. Die gezeigten Anwendungen sind nur ein Ausschnitt der unzähligen Einsatzmöglichkeiten. Auch werden sich die Rechenzeiten weiter reduzieren lassen. Ein lohnendes Arbeitsfeld für die Zukunft!

Autorinnen:
 Dr.-Ing. Annika Radermacher ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl und Institut für Angewandte Mechanik.
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefanie Reese ist Inhaberin des Lehrstuhls für Angewandte Mechanik und Leiterin des Instituts.

Die Leichtigkeit des Dünnwandige Schalentrag hochleistungsfähigen

D

Der Verbundwerkstoff Carbon-Beton nutzt hochfeste technische Textilien als Bewehrung in Kombination mit einer feinkörnigen Betonmatrix und eröffnet damit neue Möglichkeiten der Gestaltung im Bauwesen, insbesondere für leichte, frei geformte Schalentragwerke.

Die Entwicklung einer Herstellungstechnologie für Textilbeton sowie Methoden zur Materialcharakterisierung, Modellierung und Bemessung wurden in den letzten Jahren intensiv am Lehrstuhl und Institut für Massivbau vorangetrieben. Als Anwendungsbeispiele lassen sich die vier großformatigen Textilbetonschalen des T3-Pavillons in Aachen, siehe Bild 1, sowie eine Überdachung aus zylindrischen Carbonbeton-Dachschalen, siehe Bild 2, nennen. Beide wurden als Fertigteillösung effizient realisiert und bilden die Basis weiterer innovativer Entwurfskonzepte für leichte Betonschalen.

Das Prinzip des Faltens bietet die Möglichkeit einer eleganten Formgebung in Anlehnung an die Origami-Methodik. Die dünnwandigen, eben hergestellten Textilbetonplatten lassen sich durch das Falten in räumliche Schalentragwerke überführen, siehe Bild 3. Diese Technologie, die bei Betonbauteilen als Oricrete bezeichnet wird, verspricht ein hohes Potenzial für frei geformte Schalentragwerke, die sich ohne aufwändige räumliche Schalungen einfach herstellen lassen.

Als weitere Entwicklungsrichtung werden Sandwichschalen aus Betondeckschichten und

Polyurethan-Kerndämmung untersucht, siehe Bild 4. Der Ausnutzungsgrad der hochfesten Deckschichten kann durch zusätzliche Maßnahmen weiter gesteigert werden: Die Vorspannung von stabförmiger Carbonbewehrung oder Carbon-Spannlitzen kombiniert mit gekrümmter Geometrie und Sandwichtragwirkung sind hier untersuchte Ansätze. Durch die entwickelten Konzepte eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Realisierung von Tragelementen, die den aktuellen Anforderungen der schonenden Nutzung von Ressourcen entsprechen.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger ist Inhaber des Lehrstuhls und Instituts für Massivbau. Dr.-Ing. Rostislav Chudoba und Dr.-Ing. Norbert Will sind Oberingenieure am Lehrstuhl und Institut für Massivbau. Dr.-Ing. Alexander Scholzen, Dipl.-Ing. Ehsan Sharei, Dipl.-Ing. Alexander Stark und Dipl.-Ing. Jan van der Woerd sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl und Institut für Massivbau.



Bild 1: Großformatige Textilbetonschalen des T3-Pavillons in Aachen mit einer Grundform aus hyperbolischen Paraboloiden.
Fotos: Robert Mehl

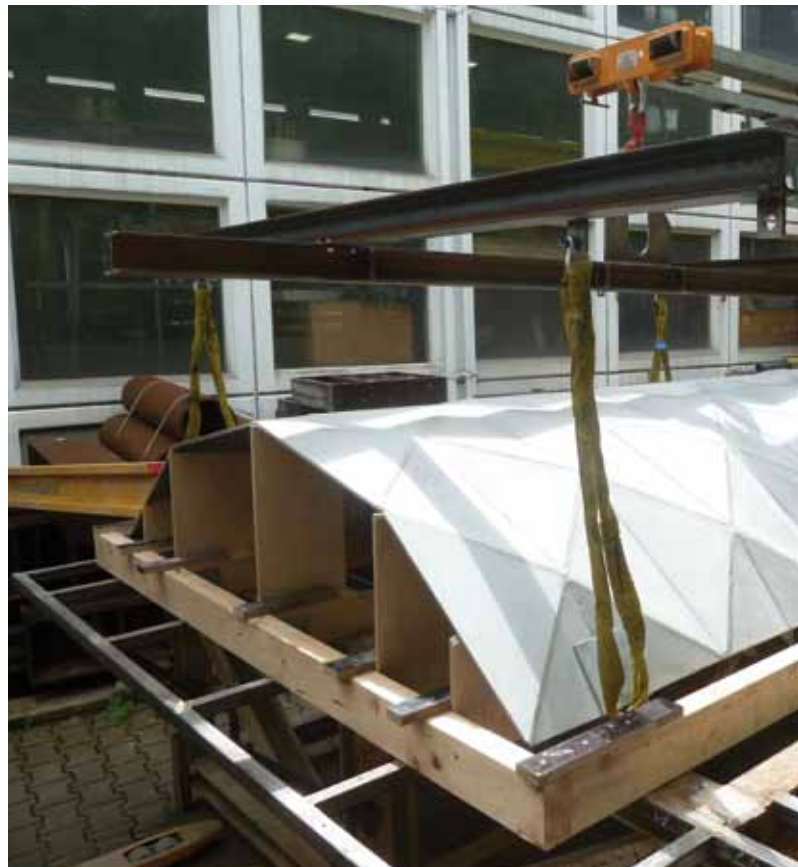


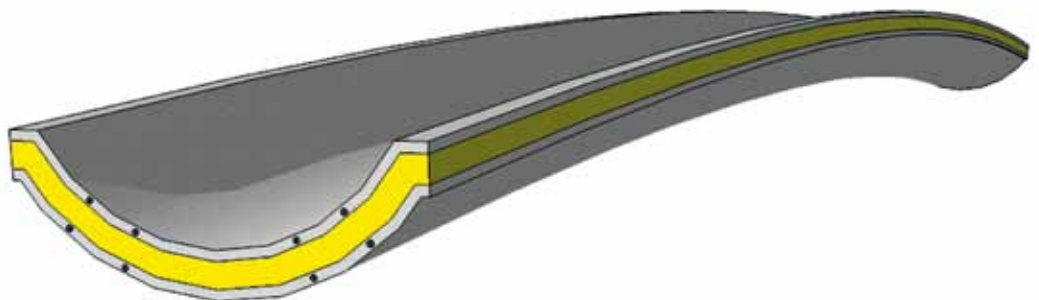
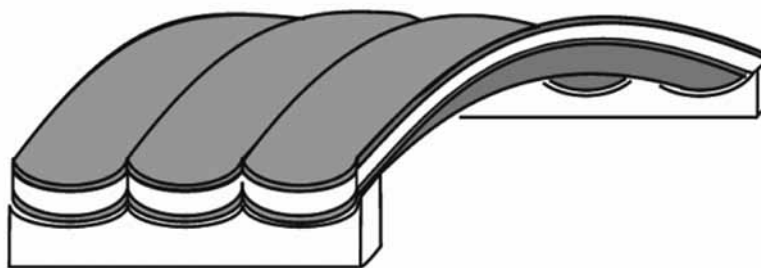
Bild 3: Prototyp einer gefalteten Textilbetonschale.
Foto: IMB, RWTH Aachen

Betons

werke aus zementartigen Verbundwerkstoffen



Bild 2: Fertigteile für Textilbeton-Dachelemente
am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen.
Foto: Robert Mehl



43

Bild 4: Sandwichkonstruktion mit Deckschichten aus
ultrahochfestem Beton und wärmedämmendem Schaumkern.
Quelle: IMB, RWTH Aachen



Foto: Peter Winandy



Bitte umweltfreundlich!

Umweltschutz als Wettbewerbsfaktor

Aktuell wird im Ruhrgebiet das offene Schmutzwassersystem Emscher in ein unterirdisches Kanalsystem umgebaut. Das Großprojekt umfasst neben der Renaturierung der oberirdisch verlaufenden Schmutzwasserkanäle den Bau von etwa 400 Kilometern unterirdischer Infrastruktur, um zukünftig das Schmutzwasser den Kläranlagen zuzuführen. Über einen Zeitraum von 30 Jahren investiert die Emschergenossenschaft mit Sitz in Essen insgesamt 4,5 Milliarden Euro. Der Umbau erfolgt aus Umweltschutzgründen, Ziel ist die Verbesserung der Lebensqualität im Emschertal. Zunächst sind jedoch umfangreiche Bauarbeiten erforderlich. Etwa 260 Baustellen werden in einer der am dichtesten besiedelten Regionen Europas parallel betrieben. Bei der Projektabwicklung achtet die Emschergenossenschaft bei der Durchführung der Bauarbeiten auf Aspekte des Umweltschutzes. Inhalt eines Forschungsprojekts am Lehrstuhl und Institut für Baubetrieb und Projektmanagement ist es, Ansätze und Methoden für eine umweltfreundliche Bauprojektabwicklung zu entwickeln und zu erproben. In der Baubranche werden ökologische Aspekte zwar im Rahmen gesetzlicher Vorgaben berücksichtigt, gelten aber nicht als relevanter Wettbewerbsfaktor. Im Allgemeinen herrscht ein reiner Preiswettbewerb. Eines der Ziele des Forschungsprojekts ist es, ökologische Aspekte in den Ausschreibungs- und Vergabeprozess einzufügen, sodass der Umweltschutz einen höheren Stellenwert bei der Projektabwicklung erfährt.

Erforschung umweltfreundlicher Ansätze

Zunächst werden aus fortgeschrittenen Baulosen projektbegleitend Erkenntnisse gesammelt und ausgewertet, um daraus Konzepte für eine ökologisch ausgerichtete Bauproduktion zu entwickeln und zu erproben. Da öffentliche Auftraggeber bereits in der Phase der Ausschreibung und Vergabe die Randbedingungen und Anforderungen für die Projektdurchführung festlegen müssen, beschäftigt sich das Forschungsprojekt in erster Linie mit dem Thema der umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung bei Tiefbauprojekten. Durch Definition entsprechender Anreize und Rahmenbedingungen wird eine Grundlage für eine baubetriebliche Optimierung der Umweltbelange geschaffen. Insbesondere durch die Unterstützung der Emschergenossenschaft bei der Formulierung umweltbezogener Zuschlagskriterien und zusätzlicher technischer Vertragsbedingungen zum Immissionsschutz kann der Beschaffungsprozess umweltfreundlicher gestaltet werden. Unter Berücksichtigung weiterer Bauprojektphasen, Handlungsfelder, Projektbeteiligter und Prozessebenen werden weitere Ansätze zur Verbesserung des Umweltschutzes entwickelt. Bei ersten Testprojekten werden Umweltkennzahlen erfasst, um die Baustellen hinsichtlich ihres CO₂-Ausstoßes zu bewerten. Weiterhin werden Ansätze für das Projektmarketing entwickelt, um die durchgeführten Umweltschutzmaßnahmen imagewirksam zu kommunizieren.



bei öffentlichen Bauprojekten



*Bild 1: Die ehemals an der Oberfläche verlaufenden Abwasserkanäle werden unter die Erde verlegt und es entstehen renaturierte Fließgewässer, die eine nachhaltige und moderne Umwelt sichern. Maximale Umweltschutzanforderungen während der Bauphase werden durch eine entsprechende Gestaltung des öffentlichen Beschaffungsprozesses ermöglicht.
Foto: Jochen Durchleuchter, Emschergenossenschaft*



*Bild 2: Infrastrukturprojekte erfordern ein hohes Maß an begleitenden Bauarbeiten. Im Bereich einer Unterquerung eines bestehenden oberirdischen Abwasserkanals werden Maßnahmen zur Sicherung der unterirdischen Bauarbeiten am neuen Abwasserkanal getroffen.
Foto: Rupert Oberhäuser, Emschergenossenschaft*

Vergabe soll Umweltschutzbemühungen des Bieters berücksichtigen

Die derzeitigen Marktverhältnisse bieten keine Anreize für Unternehmen der Bauindustrie, Bauprojekte umweltfreundlich, ressourcenschonend und nachhaltig abzuwickeln. Ein großes Problem besteht in der Einzigartigkeit eines jeden Bauprojekts und in den sich immer verändernden zu berücksichtigenden projektspezifischen Rahmenbedingungen. Für öffentliche Auftraggeber sind die bauprojektbezogenen Umweltaspekte nach der Vergabe nur noch schwer zu beeinflussen. Daher muss die adäquate Ausschreibung und Vergabe unter Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten ein wesentlicher Bestandteil einer Umweltstrategie öffentlicher Auftraggeber werden. Bei einer öffentlichen Ausschreibung ist der Auftraggeber aufgrund der geltenden Rechtslage dazu befähigt, Bauaufträge nach ganzheitlichen Wertmaßstäben zu vergeben. Gesetzlich können neben dem Preis weitere mögliche Kriterien

für die Ermittlung des wirtschaftlich günstigsten Angebots angegeben werden, soweit die Ausschreibung objektiv, bieterneutral und chancengleich bleibt. In der Praxis wird jedoch meist nur der Herstellungspreis als Entscheidungskriterium für die Vergabe von Bauleistungen herangezogen. Im Rahmen des Forschungsprojekts werden daher Kriterien, die eine umwelt- und ressourcenschonende Bauabwicklung berücksichtigen, formuliert, erprobt und bewertet. Durch diese Kriterien werden beispielsweise Impulse für den Einsatz alternativer Bauverfahren und Baustoffe sowie umweltfreundlichere Transportmittel gesetzt.

Impulse für eine umweltfreundlichere Bauwirtschaft

Aktuell rücken große Bauprojekte immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit und werden häufig kritisiert. In der Bevölkerung hat die Baubranche insbesondere hinsichtlich des Umgangs mit dem Umweltschutz ein schlechtes Image. Im Zeitalter nachhaltiger Entwicklungen und zunehmend

umweltfreundlicher gestalteter Lebensweisen muss es selbstverständlich werden, dass auch die Bauproduktion nachhaltiger gestaltet wird. Der öffentliche Auftragsmarkt muss sich zu einem Qualitätswettbewerb entwickeln. Nachhaltigkeitsthemen müssen dazu als Qualitätsanspruch durch die Auftraggeber eingefordert werden, um vom Markt wahrgenommen zu werden. Durch ökologisch vorausschauendes Handeln können Impulse an die Baubranche gegeben werden, die zu einer umweltfreundlicheren Bauproduktion führen.

Die Baubranche hat ein verbesserungsfähiges Umweltimage. So finden fast 90 Prozent der deutschen Bevölkerung, dass die Bauwirtschaft nicht viel für den Umweltschutz tut. Bemühungen zum Umweltschutz können dazu beitragen, positive Informationen zu den Bauprojekten zu veröffentlichen und damit das Branchenimage zu verbessern. Vorreiterorganisationen wie die Emschergenossenschaft verwenden die Informationen zu umgesetzten Umweltschutz-

aktivitäten im Rahmen ihres Projektmarketings. Innerhalb des vorgestellten Forschungsprojekts wurde eine Broschüre „Umweltfreundlich Bauen“ entwickelt, die bei der Emschergenossenschaft/Lippe Verband erhältlich ist.

Autoren:

Dipl.-Ing. Jan-Simon Schmidt ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl und Institut für Baubetrieb und Projektmanagement. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainard Osebold ist Inhaber des Lehrstuhls und Instituts für Baubetrieb und Projektmanagement.

Anzeige

Stahl für das Automobil – Holt für Sie und die Umwelt das Beste raus.



Your Life. Our Steel. Individuelles Design, hoher Komfort, maximale Sicherheit, minimale CO₂ Emissionen – das sind die Faktoren, die in Zukunft für das richtige Fahrgefühl sorgen.

Nachhaltig vereinen lassen sie sich nur mit Langprodukten aus modernem Hightech-Edelstahl. Als Hersteller und Verarbeiter von Edelbaustahl, Werkzeugstahl sowie rost-, säure- und hitzebeständigem Stahl, sind wir Ihr Partner für maßgeschneiderte

Lösungen rund ums Automobil. Ob hochbelastbare Antriebs- und Motorenkomponenten, anspruchsvoller Karosseriebau, komplexer Formenbau für die Innenausstattung oder Druckgusswerkzeuge aus dem neuen Thermodur E 40 K Superclean – lassen Sie uns gemeinsam für Freude am Fahren sorgen.

SCHMOLZ + BICKENBACH GROUP
www.dew-stahl.com

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft Aachen untersucht Bodenfilter als Technik zur Mischwasserbehandlung, um Arzneimittelrückstände zurückzuhalten und abzubauen.
Foto: Peter Winandy





Arzneimittelrückstände in der aquatischen Siedlungswasserwirtschaftler a



52

Arzneimittel erhöhen sowohl die Lebensqualität als auch die Lebenserwartung. Sie werden als unverzichtbare Produkte geschätzt. In Deutschland werden jährlich rund 8.000 Tonnen an Humanarzneimitteln mit potenzieller Umweltrelevanz verbraucht. Dabei werden circa 1.200 Arzneimittelwirkstoffe eingesetzt. Der wachsende Wohlstand, das zunehmende Durchschnittsalter der Bevölkerung und der damit verknüpfte steigende Arzneimittelkonsum lassen einen weiteren Anstieg der Nutzung dieser Produkte in Zukunft vermuten.

Die meisten Arzneimittel werden im Körper nicht vollständig abgebaut, sondern nur metabolisiert. Die Rückstände gelangen durch menschliche Ausscheidungen ins Abwasser. Durch eine nicht sachgerechte Entsorgung von Altarzneimitteln über die Toilette oder den Ausguss erreichen Wirkstoffe ebenfalls das Abwasser und damit die kommunalen Kläranlagen. Aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften werden Arzneimittelrückstände oft nur unzureichend durch die Verfahren der konventionellen Abwasserreinigung aus dem Abwasser entfernt. Durch Einleiten des nach heutigem Standard geklärten Abwassers in die Ge-

wässer gelangen diese Stoffe in die Oberflächengewässer.

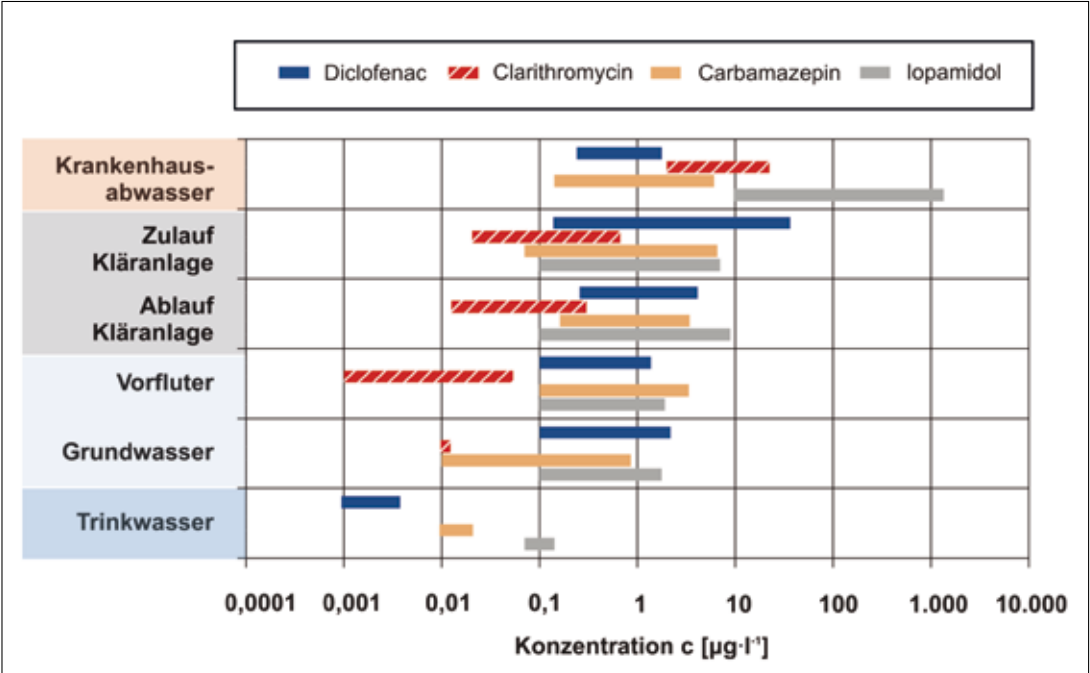
Tierarzneimittel gelangen durch Gülleausbringung auf Felder sowie durch direkte Auswaschung tierischer Ausscheidungen bei Regen in die aquatische Umwelt. Diese diffusen Quellen lassen sich aufgrund ihrer großflächigen Ausbreitung jedoch nur schwierig erfassen.

In den Oberflächengewässern und im Grundwasser sowie im daraus gewonnenen Trinkwasser sind Arzneimittelrückstände mit moderner Analytik in sehr geringen Konzentrationen messbar, siehe Bild 2. Toxikologische Wirkungen auf Mensch und Umwelt werden für einzelne Stoffe

Umwelt auf Spurensuche

Bild 1: Mitarbeiterinnen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen nehmen Proben im Belebungsbecken der Abwasserreinigungsanlage Aachen-Soers.
Foto: Peter Winandy

Bild 2: Konzentration ausgewählter Arzneimittelrückstände in der aquatischen Umwelt. Diclofenac ist ein Schmerzmittel, Clarithromycin ein Antibiotikum zur Behandlung bakterieller Infektionen wie Lungen- oder Mandelentzündungen. Carbamazepin wirkt gegen Epilepsie und bei psychischen Erkrankungen. Iopamidol wird als Kontrastmittel zur Darstellung von Blutgefäßen eingesetzt.
Quelle: Beier, 2010



vermutet beziehungsweise nachgewiesen. Aus diesen Gründen rücken Arzneimittelrückstände im Wasser zusehends in das Blickfeld der Öffentlichkeit.

Zur Minderung der Belastung der aquatischen Umwelt mit Arzneimittelrückständen sind breit gefächerte Bestrebungen unerlässlich. So gilt es, umweltfreundlichere Arzneimittel zu entwickeln, die bei gleicher Wirksamkeit im Körper besser in der Umwelt abgebaut werden können. Eine Gesundheitsförderung kann ebenfalls dazu beitragen, den Bedarf an Arzneimitteln zu reduzieren. Eine angemessene Kommunikation mit Arzneimittelnutzern sowie Fortbildungen von Ärzten und pflegendem Personal zu Umweltauswirkungen von Arzneimitteln sind notwendig. Solche Maßnahmen wurden im Rahmen eines vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) koordinierten Projektes entwickelt. Bei den Kommunikations- und Bildungsmaßnahmen ist wichtig zu vermitteln, dass es sich bei den Bestrebungen zur Minderung von Arzneimittelrückständen in der Umwelt zuallererst um Vorsorge handelt und nicht um den Schutz vor konkreten

Gefährdungen. Zudem kann durch Ertüchtigung der Abwasserreinigung mit weitergehenden Verfahren der Eintrag von Arzneimittelrückständen in die aquatische Umwelt vermindert werden.

Am Institut für Siedlungswasserwirtschaft werden solche Verfahren und Verfahrenskombinationen vom Labormaßstab bis hin zur Großtechnik untersucht. Schwerpunkt der Untersuchungen ist die Bestimmung der Effizienz der Verfahren sowie der optimalen Betriebseinstellungen, etwa Verweilzeit, Kontaktzeit oder Dosis. Fragen der Prozessführung und der Integration der neuartigen Verfahren in den Kläranlagenprozess stehen ebenfalls im Mittelpunkt.

Die verschiedenen Verfahren zur Elimination von Arzneimittelrückständen lassen sich in oxidative, adsorptive und membranbasierte Verfahren einteilen. Zu den oxidativen Verfahren zählt die Anwendung von Ozon, einem sehr starken Oxidationsmittel. Hierbei werden die Inhaltsstoffe des Abwassers, darunter auch Arzneimittelrückstände, chemisch oxidiert. Da Ozon sehr instabil ist, wird es kurz vor seiner

Anwendung auf der Kläranlage erzeugt und direkt in Kontakt mit dem Abwasser gebracht. Dabei sind Aspekte der Prozessführung, wie ein effizienter Ozoneintrag und eine ausreichende Reaktionszeit, von großer Bedeutung für die Effizienz. Ebenfalls wichtig für die Effizienz, aber auch für den Energiebedarf und die Kosten einer Ozonung, ist die eingesetzte Ozondosis. Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft begleitet wissenschaftlich die großtechnische Ozonbehandlung – erstmalig mit dem gesamten Volumenstrom einer Kläranlage – in der Anlage Aachen-Soers wissenschaftlich begleiten.

Mit den in der Praxis angewendeten Ozondosen werden die Inhaltsstoffe des Abwassers nicht vollständig mineralisiert, sondern zu neuen Substanzen umgewandelt. Diese so genannten Transformationsprodukte sind meistens, jedoch nicht immer, leichter biologisch abbaubar als die ursprünglichen Arzneimittel. Zum Schutz der Gewässer vor den Transformationsprodukten wird nach der Ozonung eine biologische Nachbehandlung empfohlen.

Bild 3 und Bild 4: Einsatz von Aktivkohle zur Elimination von Arzneimittelrückständen – vom Labormaßstab (rechts) bis hin zur großtechnischen Umsetzung auf Kläranlagen (links).
Quelle: ISA



Als Erweiterung der Ozonung wurden die so genannten Advanced Oxidation Processes, kurz AOP, entwickelt. Dabei handelt es sich um Kombinationen von Ozon, UV-Bestrahlung und chemischen Oxidationsmitteln. Bei diesen Verfahren ist die Bildung von Hydroxyl-Radikalen maßgeblich, da sie eines der stärksten Oxidationsmittel im Wasser sind. Dadurch können die meisten organischen Verbindungen oxidiert werden. Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft ermittelt die optimalen Dosismengen und Kontaktzeiten verschiedener Kombinationen für die Elimination von Arzneimitteln.

Zu den adsorptiven Verfahren gehört der Einsatz von Aktivkohle. An der sehr großen Oberfläche des porigen Materials – in der Größenordnung von 1.000 Quadratmeter pro Gramm – lagern sich organische Verbindungen an, darunter auch Arzneimittelrückstände. Die Aktivkohle wird entweder in pulverisierter Form als konzentrierte Suspension in das vorgereinigte Abwasser eingerührt oder in Form von granulierter Aktivkohle in durchströmten Filtern eingesetzt.

In verschiedenen Projekten wird die Eignung unterschiedlicher Aktivkohlen untersucht. Dabei zeigt sich ein komplexer Zusammenhang zwischen der Abwasserzusammensetzung und der Elimination einzelner Stoffe. Betriebsparameter wie die not-

wendige Dosiermenge, Kontaktzeit oder Filtergeschwindigkeit werden optimiert. Kosten sowie Energie- und Betriebsmittelbedarf sollen dabei minimal gehalten werden. Verfahrenstechnisch stehen Fragen zur Bauweise und Rückspülung von Filtern, zur Abtrennung der pulverisierten Kohle, zum Beispiel mit Sandfiltern, Tuchfiltern oder Membranen, sowie zu deren Rückführung in die biologische Stufe im Mittelpunkt. Bei der Verwendung von granulierter Kohle ist eine Reaktivierung der Kohle nach Erschöpfung ihrer Aufnahmefähigkeit möglich. Hierzu werden thermische und neuartige Verfahren, beispielsweise mit Mikrowellen, untersucht.

Neben der Behandlung des Abwassers auf kommunalen Kläranlagen stellt die Minderung der Emissionen von Arzneimittelrückständen an der Eintragsquelle einen möglichen Ansatz dar. Dieser konnte für allgemeine Krankenhäuser und andere Einrichtungen des Gesundheitswesens in verschiedenen Projekten verfolgt werden.

Im Pilotmaßstab wurde die Leistungsfähigkeit einer Membrananlage mit nachgeschalteten weitergehenden Behandlungsstufen hinsichtlich der Elimination von Arzneimitteln aus Krankenhausabwasser untersucht. Es zeigte sich, dass die Membrantechnik eine gute Vorbehandlung ermöglicht. Weitergehende Behandlungsstufen wie Aktivkohleadsorption, Ozonung oder

Nanofiltration bewirkten eine signifikante Elimination von Arzneimitteln. Die Ozonung erwies sich in diesem Fall als die wirtschaftlichste Option, sodass dieses Verfahren großtechnisch umgesetzt wurde.

Für weitere Einrichtungen des Gesundheitswesens, wie psychiatrische Kliniken oder Pflegeheime, wurden Kombinationen von Membranbioreaktor und einer weiteren Technologie halbttechnisch sowie labortechnisch untersucht. Die drei eingesetzten Verfahrenskombinationen sind zur Elimination der untersuchten Arzneimittelrückstände sowie von antibiotikaresistenten Krankheitserregern und toxisch wirkenden Substanzen geeignet. Keine Technologie eliminiert jedoch alle Verunreinigungen vollständig. Die konkreten Dosismengen sowie Betriebseinstellungen sind an die organische Belastung des jeweiligen Abwassers und die Zielsetzung anzupassen. Hierzu wurden im Rahmen des Projektes Empfehlungen zur Verfahrensauslegung in Abhängigkeit der organischen Belastung und des Einrichtungstyps erarbeitet. Dabei ist zu beachten, dass eine separate Behandlung der Abwässer aus Einrichtungen des Gesundheitswesens nur in Einzelfällen sinnvoll ist.

Bei starken Niederschlägen kann ein Teil des mit Regenwasser gemischten Abwassers aufgrund bautechnischer Beschränkungen nicht in der Kläranlage

gereinigt werden. In solchen Situationen erfolgt in der Regel lediglich ein Rückhalt der Feststoffe und somit keine Elimination der gelösten Arzneimittelrückstände aus dem Abwasser. Untersucht wird daher der Einsatz von Bodenfiltern als Technik zur Mischwasserbehandlung mit dem Ziel, diese Stoffe zurückzuhalten und gegebenenfalls abzubauen.

Für die Untersuchung der Arzneimittelrückstände in Umweltproben in sehr niedrigen Konzentrationen, dem so genannten Ultraspurenbereich, verfügt das Institut für Siedlungswasserwirtschaft über ein modernes umweltanalytisches Laboratorium. Hier werden durch ein interdisziplinäres Team aus Biologen, Ökotoxikologen und Chemikern unter anderem an Großgeräten Analysen zu organischen Spurenstoffen, Elementen, Nährstoffen und summarischen

Parametern sowie mikrobiologische und ökotoxikologische Tests durchgeführt. Seit 2014 ist das umweltanalytische Labor auch ein Gerätezentrum an der RWTH, das internen und externen Forschergruppen, unter anderem in DFG-Vorhaben, sein Know-how zur Verfügung stellt.

In der Zukunft wird – basierend auf dem Vorsorgeprinzip – ein Ausbau einzelner Kläranlagen mit Verfahren zur gezielten Elimination von Arzneimittelrückständen und anderen Spurenstoffen erfolgen. In welchem Umfang dies geschehen wird, ist derzeit nicht absehbar. Die Ergebnisse der unternommenen Forschungsprojekte demonstrieren die Eignung der untersuchten Technologien für die bevorstehende Aufgabe. Eine vollständige Elimination aller unerwünschten Stoffe ist jedoch mit keinem der Verfahren möglich. So bleibt für

jede Anwendung das beste Verfahren mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis zu ermitteln.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp ist Direktor des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Inhaber des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Siedlungsabfallwirtschaft. Dr.-Ing. Laurence Palmowski ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und leitet die Forschungsgruppe Abwasserbehandlung.

Dr.agr. Dipl.-Chem. Volker Linnemann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und leitet das Umweltanalytische Laboratorium.



Bild 5: Eine Mitarbeiterin entnimmt eine Probe aus der Lemna-Kühltruhe. Im Vordergrund ein Reagenzglas mit Arzneimitteln, deren Spuren im Abwasser gefunden wurden. Foto: Peter Winandy

Innovative Mobilitätskonz Region Aachen sowie euro Mobilität 2.0 muss nutzerorientiert



56

Bild 1: Weiterentwicklung der Verkehrsverbünde zu einem Mobilitätsverbund.
Quelle: Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr

Mobilität ist eine Grundvoraussetzung für das Funktionieren unserer arbeitsteiligen und vernetzten Gesellschaft. Sie dient der Gewährleistung von Austauschbeziehungen der Menschen untereinander sowie für Güter. Dabei beschreibt der Begriff Mobilität zunächst Grundbedürfnisse zur Arbeit, zur Ausbildung, zum Einkaufen und zu Besorgungen oder Freizeitaktivitäten und wieder nach Hause zu gelangen. Diese Grundbedürfnisse äußern sich in Aktivitäten zu den genannten Zwecken an bestimmten Zielen beziehungsweise Orten. Werden die Aktivitäten dann verwirklicht und der Mensch verändert dazu seinen Standort, sprechen wir von Verkehr, der sich

Lepte für RWTH, Stadt und päische Metropolen und vernetzt gedacht werden



dann zu Fuß, mit dem Fahrrad, mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder im so genannten motorisierten Individualverkehr (meist mit dem Auto) abspielt. Analoges gilt für den Güterverkehr, wo Rohstoffe, Halbfertig- oder Fertigteile sowie Waren mittels Fahrzeugen (Lieferwagen oder Lkw), der Bahn, dem Schiff oder durch Leitungen transportiert werden.

Vom Verkehr gehen vielfältige Wirkungen und in hohem Maße Belastungen für Mensch und Umwelt aus, unter anderem durch Abgas- und Lärmemissionen oder die Zerschneidung von Landschaft und Städten für die Verkehrswege. In Aachen führen die Emissionen des Verkehrs derzeit zum Beispiel zu einer

intensiven Diskussion um die Einführung einer Umweltzone. Einer solchen Umweltzone kann zum Beispiel durch eine nachhaltigere Mobilität und ein intensives Mobilitätsmanagement wahrscheinlich besser begegnet werden als durch Fahrverbote. Mobilitätsmanagement versucht durch Kooperationen verschiedener Akteure, gezielte Informationen, eine intensive Beratung und Appelle an die Verkehrsteilnehmer sowie durch innovative Mobilitätsangebote, die Menschen zu einem umweltbewussteren Verkehrsverhalten zu animieren.

Durch die Erweiterungen der RWTH in den Gebieten „Campus Melaten“ und „Campus West“ sowie die dadurch

entstehenden zusätzlichen Verkehre wird es erforderlich, das Thema Mobilität in einem integrierten Ansatz aus Verkehrsinfrastrukturplanung, Verkehrs- und Mobilitätsmanagement zu betrachten. Daher wurde ab 2010 das Verkehrs- und Mobilitätskonzept „Masterplan Mobilität der RWTH“ entwickelt. Darin wurde unter anderem die Einführung eines Jobtickets angeregt und durch das Institut für Stadtbaugesundheitswesen und Stadtverkehr fachlich begleitet. Gleichzeitig ist es sinnvoll – und für die Finanzierung auch notwendig – kostenloses Parken zu reduzieren. Grundsätzlich sollten Parken und Jobticket zu gleichen Preisen als Option vorhanden sein, damit eine

Bild 2: Michael Bosshammer vom Institut für Stadtbaugesundheitswesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen beim Aufladen eines Carsharing-Elektrokraftfahrzeuges.
Foto: Peter Winandy



*Bild 3 und 4: Die Erweiterungen der RWTH und die damit entstehenden zusätzlichen Verkehre erfordern einen integrierten Ansatz aus Verkehrsinfrastrukturplanung sowie aus Verkehrs- und Mobilitätsmanagement. Daher wurde 2010 das Konzept „Masterplan Mobilität der RWTH“ unter Koordination des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr entwickelt. Die Luftaufnahmen zeigen links den Kernbereich der RWTH um Hauptgebäude und SuperC, rechts die Gebäude an der Forckenbeckstraße in Melaten.
Fotos: Peter Winandy*

Kostengleichheit für den Nutzer besteht. Neben dem Mobilitätsmanagement bedarf es allerdings auch einer Verbesserung der Bedingungen in Infrastruktur, gesetzlichen Rahmenbedingungen und im Betrieb, sowohl für den Öffentlichen Personennahverkehr, kurz ÖPNV, als auch für den Radverkehr.

Dazu forscht das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr in den Projekten „CIVITAS DYN@MO“ mit nationalen und internationalen Partnern sowie im Projekt „eMove“ mit Partnern aus der RWTH sowie aus Stadt und Region Aachen. Im Rahmen von CIVITAS-Dyn@mo wird im Arbeitspaket „Sustainable University traffic“ auch der Masterplan Mobilität an der RWTH weiter umgesetzt und umfassend evaluiert. Am Projekt CIVITAS DYN@MO nehmen die vier Städte Aachen, Gdynia (Polen), Palma de Mallorca (Spanien) und Koprivnica (Kroatien) teil. Das Projekt läuft seit Dezember 2012



bis Dezember 2016, wird durch die Europäische Union finanziert sowie durch die Stadt Aachen koordiniert. Zu den strategischen Zielen des Projektes gehören die Entwicklung eines „Mobility 2.0 - Systems“, die Förderung umweltfreundlicher Verkehrsmittel in den Städten und die Integration der Bewohnerinnen und Bewohner in die Planungsprozesse. Dabei geht es um die Entwicklung eines nachhaltigen, regionalen Verkehrsentwicklungsprozesses durch die Erweiterung und Stärkung lokaler Partnerschaften von Akteuren und Profiteuren. Mittels eines Sustainable Urban Mobility Plan, kurz SUMP, sollen die Rahmenbedingungen für eine nachhaltige und emissionsarme Mobilität beschrieben und konkrete Maßnahmen auch für und innerhalb der RWTH mit den neuen Campus-Arealen erarbeitet werden.

Des Weiteren wird angestrebt, durch Nutzung regenerativer Energie, vor allem Photovol-

taikanlagen, Mobilitätsstationen für E-CarSharing, Pedelecs oder ÖPNV an Wohnstandorten zu implementieren, die eine nachhaltige und umweltfreundliche Mobilität ermöglichen. Darüber hinaus hat das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr das Planspiel „Mobilität 2050“ entwickelt, welches die Einflussfaktoren auf Mobilität und Verkehrsnachfrage sowie deren mögliche Entwicklungen darstellen soll. Ziel des Planspiels ist es, die verschiedenen Akteure aus den unterschiedlichen Arbeitsfeldern im Rahmen des SUMP-Prozesses an die Komplexität von Verkehrsprognosen und die Bildung von zugrundeliegenden Szenarien heranzuführen. Schlussendlich soll ein Mobilitätsverbund mit einer einheitlichen, intermodalen Informationsplattform als ein zentraler Baustein etabliert werden. Über diesen sollen die Nutzer Angebote des ÖPNV, des CarSharing und des im Aufbau befindlichen Pedelec-Verleihsystems Velo-

City in Echtzeit unter anderem über nutzerfreundliche Apps einsehen und buchen können. Hier besteht auch eine Verknüpfung zum Projekt „eMoVe“, in dem Verknüpfungspunkte elektromobiler und konventioneller Mobilitätsdienstleistungen an einer klar erkennbaren Mobilitätsstation angeboten werden sollen. Hier werden in erster Linie zusammen mit Partnern der Fachhochschule Aachen das Design und der Funktionsumfang der Station erarbeitet. Die Station soll stadtverträglich gestaltet werden und einen einfachen Wechsel zwischen konventioneller und elektromobiler Mobilität ermöglichen. Ein erster Prototyp wird im Herbst 2015 an der Bushaltestelle Mies-van-der-Rohe-Straße in Aachen zusammen mit der vorhandenen Bushaltestelle, der CarSharing-Station sowie einer neuen Velo-City-Station aufgebaut. Weitere Stationen werden im Campus Melaten sowie in Herzogenrath folgen.

Innovative Mobilitätskonzepte wie Elektromobilität, „Park and Ride“ oder Mitfahrgelegenheiten, die sich zugleich an den Bedürfnissen der urbanen Bewohner orientieren, sind also notwendig und zielführend. Denn auf der anderen Seite zeigen Projekte wie Stuttgart 21, der Flughafen Berlin oder die CampusBahn in Aachen, dass eine vornehmlich technikzentrierte Planung solcher infrastrukturellen Mobilitätskonzepte ohne eine konsequente Berücksichtigung von Bedarfen und ohne eine sensible Informations- und Kommunikationsstrategie mit Bürgern und Anwohnern nicht umsetzbar ist. Im RWTH-Projekthaus HumTec befasst sich das interdisziplinäre Projekt „Future Mobility“, kurz FuMob, daher mit Fragen nach den Bedarfen, Potenzialen und Grenzen öffentlicher Kommunikation und Information bei der strukturellen Planung und Umsetzung neuer Mobilitätskonzepte. Future Mobi-

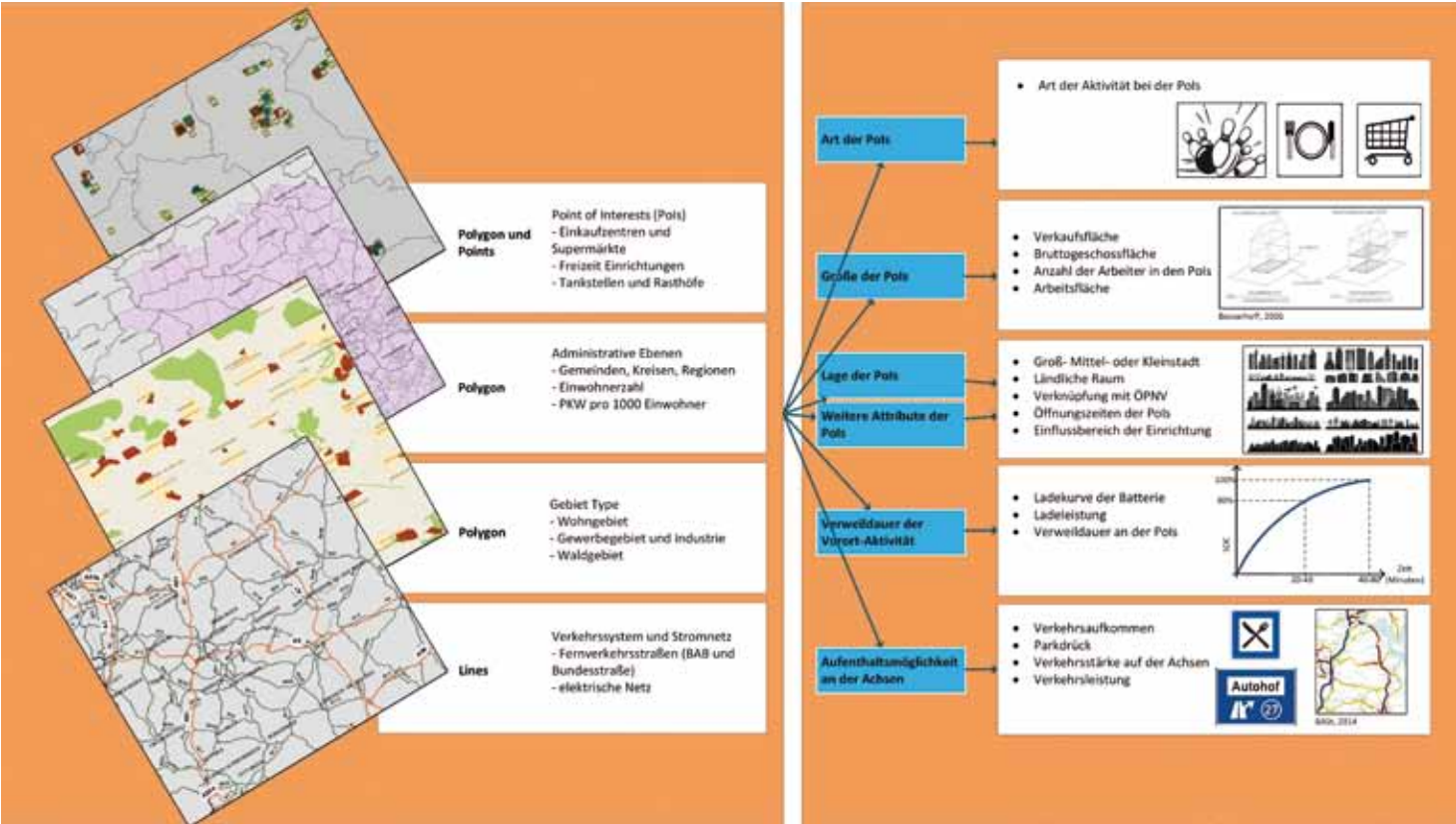


Bild 5: Modellierungsschritte für die Bestimmung von Standorten für die Schnellladeinfrastruktur. Quelle: Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr

lity ist eines von drei Projekten im Programm Urban Future Outline und hat zum Ziel, interdisziplinäre Spitzenforschung zwischen den Geistes- und Sozialwissenschaften und den Ingenieur- und Naturwissenschaften zu fördern. Ziel ist, aus den Diskussionen und Schwierigkeiten der Umsetzung von Großprojekten sowie deren mangelhafter Akzeptanz zu lernen und zusammen mit den Lehrstühlen für Textlinguistik und Technikkommunikation, Informationssysteme und Datenbanken, Gender and Diversity in den Ingenieurwissenschaften, Germanistische Sprachwissenschaft und dem Human-Computer Interaction Center-Lehrstuhl für Communication Science, neuartige Zugänge für die Planung und Realisierung von Infrastrukturentscheidungen zu entwickeln sowie die Stakeholder, Bürger, Entscheider und Experten systematisch und nachhaltig in den Planungsprozess einzubeziehen. Hierzu werden zum einen aus der Perspektive der Stadtplanung und aus Sicht der Informations- und Kommunikationstechnik zukünftige urbane Mobilitätsbedarfe und -formen analysiert sowie nachhaltige Mobilitätsketten und Infrastrukturszenarien auch unter Berücksichtigung genderspezifischer Aspekte entwickelt, die mittels moderner Informations- und Kommunikationstechnologi-

en intermodale Lösungsansätze für Mobilitätsprobleme zukünftiger Städte bieten. Schließlich wird mithilfe computergestützter Auswertungsmethoden eine Diskurs- und Argumentationsanalyse zur Wahrnehmung und Bewertung von Infrastrukturbauprojekten vorgenommen. Dabei werden relevante Medien als Ort der Information und politischen Meinungsbildung, Zeitpunkte und Inhalte für Informations- und Kommunikationskonzepte identifiziert. Neben den benannten Fragen zur Organisation und nutzerfreundlichen Umsetzung von Mobilitätsangeboten forscht das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr auch zur Modellierung von Verkehr sowie neuen Mobilitätsformen wie der Elektromobilität. So wurde in den letzten Jahren für die Stadt Aachen und die Städteregion einschließlich der benachbarten Bereiche Süd-Limburg in den Niederlanden, der Deutschsprachigen Gemeinschaft in Belgien und die Kreise Euskirchen, Düren und Heinsberg ein multimodales Verkehrsmodell aufgebaut, mit dessen Hilfe in Zukunft vielfältige Veränderungen in der Verkehrsinfrastruktur wie der Aus- und Neubau von Straßen, ÖPNV-Angeboten und auch Radwegeverbindungen und Radschnellwege evaluiert und die verkehrlichen Auswirkungen

prognostiziert werden können. Damit steht erstmals ein grenzüberschreitendes multimodales Verkehrsmodell für die Region, und eines der ganz wenigen überhaupt, zur Verfügung. Die besondere Herausforderung lag in der Harmonisierung unterschiedlicher statistischer Daten aus den drei Staaten sowie einer Abbildung der unterschiedlichen Mobilitätsgewohnheiten. Unterschiede im Verhalten der Menschen, den Erfassungsmethoden dazu sowie der Statistik haben aus wissenschaftlicher Sicht eine Vielzahl von Forschungsfragen nach den Ursachen oder Harmonisierungsmöglichkeiten ausgelöst. Zuletzt stellt die Elektromobilität einen aktuellen interdisziplinären Forschungsschwerpunkt des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr dar. In den Projekten „SLAM - Schnellladeinfrastruktur an Achsen und in Metropolen“ und „HansE - Aufbau einer auf Verkehrsströme abgestimmten Ladeinfrastruktur in der Metropolregion Hamburg“ geht es um die bedarfsgerechte und flächendeckende Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität. Im Projekt SLAM fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie den Aufbau eines bundesweiten Schnellladenetzes, mit dessen Hilfe das Aufladen der Batterien auf rund 80 Prozent

der Gesamtkapazität in weniger als einer halben Stunde ermöglicht wird. Hier kooperiert das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr mit den RWTH-Instituten für Hochspannungstechnik, für Kraftfahrzeuge und dem Human-Computer Interaction Center. Entwickelt werden Betreiber- und Geschäftsmodelle zum Schnellladen sowie Kriterien für geeignete Standorte und der Aufbau eines Forschungsladenetzes. Schwerpunkt der Arbeiten des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr ist hier der Aufbau eines übertragbaren und adaptierbaren Modells für die Standortallokation der Schnellladesäulen unter verschiedenen Aspekten wie der Reichweite, geringen Umwege und möglicher Aktivitäten während des Ladens. Dieses wird durch Nutzerstudien am Forschungsladenetz evaluiert und durch Untersuchung der Auswirkungen des Schnellladenetzes auf die Stromnetze

in Deutschland abgerundet. Die Laufzeit ist von Januar 2014 bis August 2017.

Im Projekt HansE geht es in Ergänzung und Erweiterung des Projektes SLAM um den Aufbau einer auf konkrete Verkehrsströme abgestimmten Ladeinfrastruktur in der Metropolregion Hamburg. Damit soll Pendlern, dem Wirtschaftsverkehr sowie speziellen Flotten ein Umstieg auf Elektrofahrzeuge erleichtert werden. Ziel ist der systematische Aufbau einer bedarfsorientierten Ladeinfrastruktur in der Metropolregion Hamburg mit einem Zielwert von 50 gut erreichbaren Ladestationen. Um dies zu erreichen, wird geprüft, inwieweit das Zugangskonzept für die Ladestationen auf die im Stadtgebiet Hamburg hierzu geltenden Standards abgestimmt werden kann. Ein weiterer Schwerpunkt soll auf den barrierefreien und interoperablen Zugang zur Ladeinfrastruktur gelegt werden. Das

Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr entwickelt hier ein skalierbares Standortmodell als Basis für einen Masterplan zum weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur sowohl zum Normalladen als auch zum Schnellladen im regionalen Kontext. Als Ergebnisse werden interaktive Karten für ausgewählte Standorte auf der Basis von Hochrechnungen und Simulationen angestrebt, die Grundlage für einen Masterplan zum Ausbau der Ladeinfrastruktur in der Metropolregion Hamburg bilden sollen. Das Projekt startete im März 2015, läuft bis Dezember 2017 und wird vom Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur gefördert. Projektpartner sind die hySOLUTIONS GmbH in Hamburg, die E.ON Technologies GmbH in Essen, der Landkreis Harburg und die Metropolregion Hamburg.

Autoren:
Univ.- Prof. Dr.- Ing. Dirk Vallée ist Inhaber des Lehrstuhls und Leiter des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr.
Dr.-Ing. Andreas Witte ist Akademischer Oberrat am Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr.

Anzeige

Verantwortung. Chance. Leidenschaft. Machen.
Zukunft. Veränderung. Energie. Netzwerk.
Bewegen. Innovation. Sicherheit. Team >

Gestalten Sie mit uns die Energiewelt von morgen. Die EnBW ist eines der bedeutendsten Energieversorgungsunternehmen in Deutschland. Wir werden viel bewegen, bauen erneuerbare Energien aus, machen unsere Städte nachhaltiger und entwickeln für unsere Kunden intelligente Energieprodukte. In dieser sich stark verändernden Energiewelt stellen wir auch weiterhin eine zuverlässige Versorgung sicher.

Dazu brauchen wir Talente, die ihr Fachwissen und neue Impulse einbringen. Ob **Praktikum**, **Abschlussarbeit** oder **Werkstudententätigkeit**: Wir bieten Ihnen spannende Perspektiven und Freiraum für eigene Ideen.

Machen Sie mit und entdecken Sie die Vielfalt der EnBW unter www.enbw.com/karriere



Küstenschutz in Aachen

Deiche und Sturmfluten im Labor



*Bild 1: Der „Blanke Hans“ auf Sylt.
Foto: Wöffler, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft*

*Bild 2: Ein Boulder auf Bonaire, der vermutlich durch einen Paläotsunami transportiert wurde.
Foto: Oetjen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft*



Ein nachhaltiger Küstenschutz stellt weltweit eine der größten Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte dar. Eine Vielzahl von Fakten belegen diese Aussage: So sind 70 Prozent der Küsten durch Erosion betroffen. Der Rückgang der Küsten wird durch den klimabedingten Meeresspiegelanstieg von bis zu 80 Zentimeter pro Jahrhundert sowie die erwartete Zunahme von Sturmfluthäufigkeit und -intensität in den kommenden Jahrzehnten sogar noch zunehmen. Eindrucksvoll zeigt Bild 1 Dünenerosion bei Sturmflut an der Sylter Küste. 18 von 29 Megacitys mit einer Einwohnerzahl von mehr als zehn Millionen Einwohnern liegen an der Küste. Dies bedeutet, dass hohe ökonomische Werte sowie wertvolle Infrastrukturen in potenziell gefährdeten Gebieten liegen. Andererseits sind die Küstensysteme und -gewässer wertvolle und unersetzliche Naturräume, die bis zu 40 Prozent zu den Ökosystemdienstleistungen aller Ökosysteme beitragen. Diesen Natur- und Lebensraum mit einem einmaligen Spannungspotenzial aus Gefährdungen, Naturschutz, Ökonomie und Gesellschaft gilt es, in den kommenden Jahren und Jahrzehnten nachhaltig zu gestalten und zu schützen.

In Deutschland gefährden Sturmfluten die Küsten Niedersachsens, Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns sowie die Ästuar von Weser, Elbe, Ems und Eider. Über Jahrtausende haben Nord- und Ost-

see sowohl die norddeutschen Küstenlandschaften wie auch die Gesellschaft in unseren Küstenländern geprägt. Die als erste Große Manndränke bezeichnete Katastrophensturmflut im Jahr 1362 mit vermutlich 100.000 Toten führte zur Entstehung von Jadebusen und Dollart. Die zweite Große Manndränke im Jahr 1634 mit etwa 8.000 Toten ließ die nordfriesischen Inseln und Halligen entstehen. Während diese verheerenden Sturmfluten vielfach aus dem Gedächtnis der Menschen verschwunden sind, ist die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 mit rund 340 Toten in Hamburg noch sehr präsent. Sie hat zu einem Umdenken im Küstenschutz geführt und ist noch heute prägend für das moderne Küsteningenieurwesen.

Am Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft ist ein Forschungsschwerpunkt dem Küstenschutz gewidmet. Ziel ist es, die vielfältigen physikalischen Prozesse im Naturraum „Küste“ zu verstehen und zu analysieren, Verfahren zur Bemessung von Küstenschutzbauwerken abzuleiten und nachhaltige Küstenschutzkonzepte zu entwickeln. Zwar steht der Schutz des Menschen im Fokus, zunehmend finden aber ökosystemare Ansätze Berücksichtigung in modernen Küstenschutzstrategien. Eingesetzt werden verschiedene numerische Modellverfahren, klein- und großmaßstäbliche Modellversuche sowie diverse Möglichkeiten von Feldmessungen beziehungsweise die Kombination der verschiedenen Methoden. Außerdem erfordert ein nachhaltiger Küstenschutz eine interdisziplinäre Herangehensweise mit Partnern unter anderem aus den Bereichen Biologie, Landwirtschaft, Soziologie, Geographie und Ozeanographie.

Extremereignisse

Für jeden Küsteningenieur ist es zwingend erforderlich, die möglichen Belastungen auf Küstenschutzbauwerke bei Extremereignissen wie Sturmfluten, Taifunen, Hurrikanen oder Tsunamis zu bestimmen. Bemessungsrelevant sind hier sehr seltene Ereignisse, die üblicherweise seltener als einmal im Jahrhundert auftreten. Diese Belastungen zu bestimmen, ist aufgrund der Seltenheit der Ereignisse nicht einfach. Ein sehr eindrucksvolles Beispiel in diesem Zusammenhang sind Tsunamis.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Geographie der Universität Köln werden derzeit am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft die Auswirkungen von Paläotsunamis auf Bonaire / Niederlande in den kleinen Antillen (Südliche Karibik) untersucht. Auch wenn Tsunamis wie beispielsweise 2004 in Südostasien oder 2011 in Japan derzeit sehr präsent sind, ist es nach wie vor schwierig, die möglichen Gefährdungen durch Tsunamis zu bestimmen. Um zu ermitteln, welche Eintrittshäufigkeiten und Intensitäten Tsunamis haben können, hilft ein Blick in die Vergangenheit. Ablagerungen marinen Ursprungs können in vielen Gebieten weltweit als Indikatoren verwendet werden, um extreme Ereignisse zu identifizieren. Das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft bedient sich in diesem Zusammenhang großer Felsbrocken, so genannter Boulder, die durch einen Tsunami transportiert wurden, siehe Bild 2. Durch inverse numerische Modellierung werden dann die verursachenden Kräfte sowie das verantwortliche Erdbeben ermittelt. Auf diese Weise kann die für die Bemessung von Küstenschutzwerken relevante Belastung ermittelt werden.

Schutz der Halligen

Ein Forschungsschwerpunkt lag in den letzten Jahren auf den nordfriesischen Halligen. Diese zehn kleinen unbedeichten Inseln, von denen sieben ganzjährig bewohnt sind, befinden sich im nordfriesischen Wattenmeer und sind in besonderer Weise den Gefahren durch Sturmfluten ausgesetzt. Der „Blanke Hans“, wie Sturmfluten in Norddeutschland auch bezeichnet werden, führt jedes Jahr zu mehreren so genannten „Landunter“ und nur noch die Warften mit ihren Gebäuden sind nicht überflutet. Diese Warften, die dem Schutz der Halligbewohner dienen, haben ein großes Problem. Während der Meeresspiegel ansteigt und damit die wirkenden Kräfte des Meeres zunehmen, können die Warften nicht gleichzeitig anwachsen. Damit nimmt die Gefährdung der Halligen stetig zu.

Um sich dieser Herausforderung zu stellen, wurden in Zusammenarbeit mit den Halligbewohnern und dem Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie mögliche Küstenschutzkonzepte entwickelt und auf ihre technische Machbarkeit vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft untersucht. Hierzu war es erforderlich, die gesamte Nordsee in ein numerisches Modell zu übertragen, um die verschiedenen physikalischen Prozesse naturnah nachzubilden, siehe Bild 4. Nur so ist es möglich, Sturmflutwasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten, Wellen sowie eine sich verändernde Morphodynamik bei einem steigenden Meeresspiegel als Grundlage für die Bemessung von Küstenschutzbauwerken zu bestimmen. Gleichzeitig wurden Küstenschutzkonzepte entwickelt, die technisch sicher und naturverträglich sind, das Land-



*Bild 3: Frühwarnsystem EarlyDike des Instituts für
Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen.
Foto: Peter Winandy*



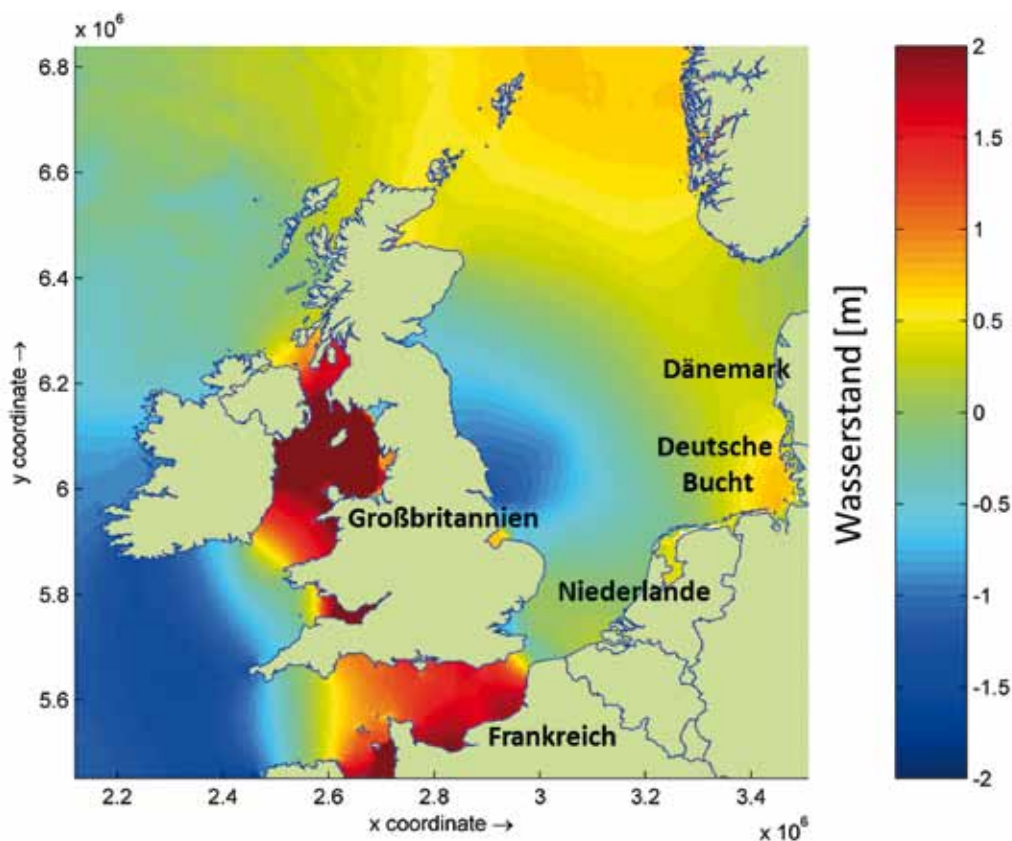


Bild 4: Die Nordsee im numerischen Modell. Quelle: Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Bild 5: Sturmflut im physikalischen Modell – Großmaßstäbliche Modellversuche zur Belastung von Deckwerken. Foto: Schüttrumpf, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

schaftsbild bewahren, die geringe Anzahl an Personen auf den Halligen berücksichtigen sowie ökonomisch sinnvoll sind.

Forschung an Deichen und Deckwerken

Neue Küstenschutzkonzepte wie für die Halligen müssen im großmaßstäblichen Modellversuch getestet werden. Aufgrund der extremen Belastungen bei Sturmflut und der komplexen Prozesse sind numerische Verfahren dazu derzeit nicht in der Lage. Daher wurden großmaßstäbliche Modellversuche zur Widerstandsfähigkeit von verzahnten Deckwerkssteinen im Großen Wellenkanal des Forschungszentrums Küste in Hannover durchgeführt. Hier war es möglich, die Widerstandsfähigkeit dieser speziellen Deckwerkssteine bis zu einer Wellenbelastung von zwei Metern Wellenhöhe zu testen. Dies entspricht den Verhältnissen, die bei extremen Sturmfluten an der Deutschen Nordseeküste auftreten können. Das Deckwerk wurde dazu naturgetreu im Maßstab von 1:1 nachgebildet, siehe Bild 5. Es konnte gezeigt werden, dass die verwendeten Steine eine erheblich höhere Widerstandsfähigkeit gegen Wellenbelastung als traditionelle Steine haben. Somit kann entweder kostengünstiger oder mit mehr Sicherheit geplant und gebaut werden.

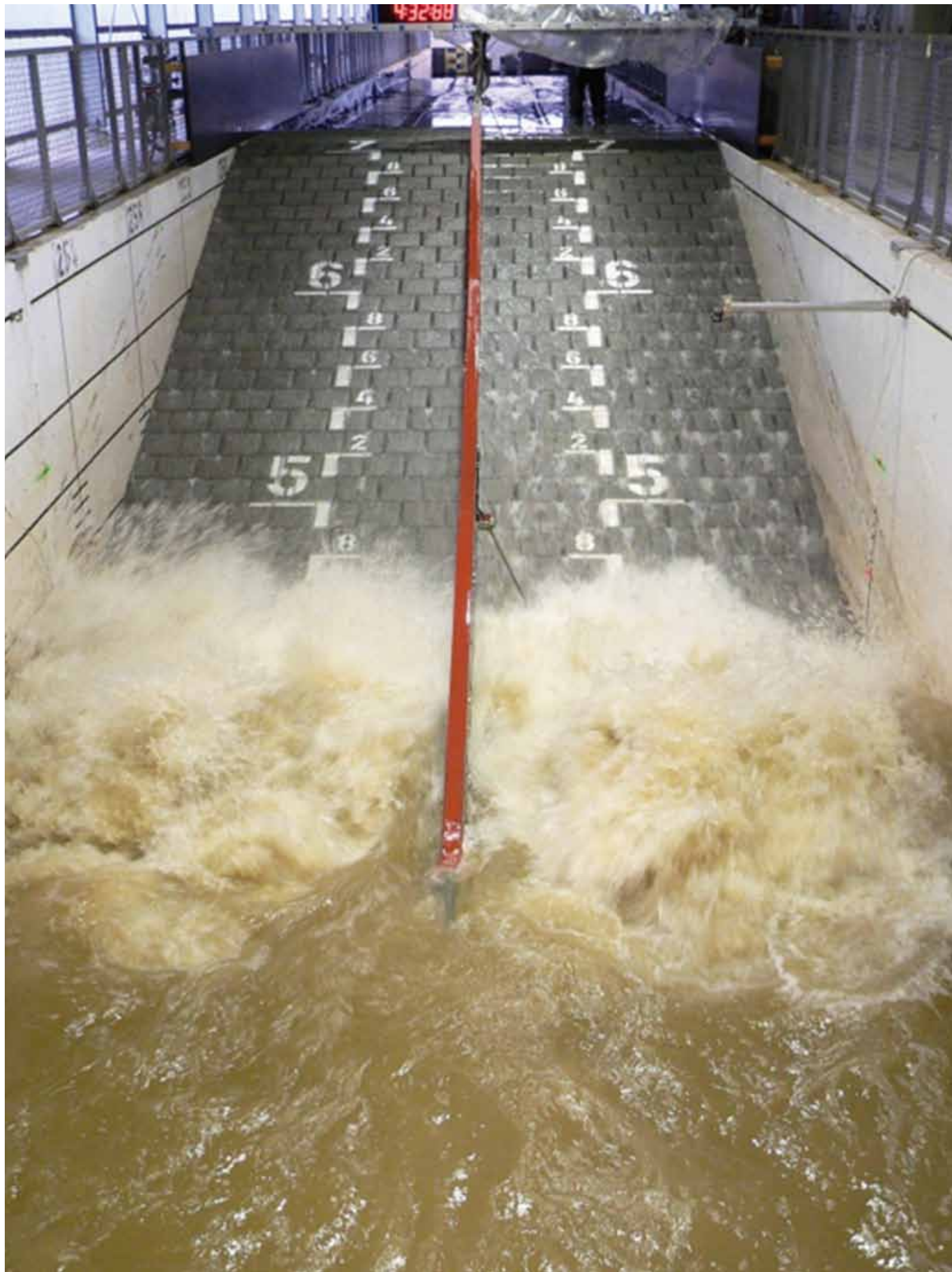
Frühwarnsysteme

Trotz aller Anstrengungen wird es niemals gelingen, eine hundertprozentige Sicherheit zu gewährleisten. Es kann immer ein Ereignis geben, das höhere Belastungen als das Bemessungsereignis verursachen kann. Daher ist es erforderlich, durch geeignete Frühwarnsysteme auch diesen sehr seltenen Fall frühzeitig erfassen und durch Maßnahmen des Katastrophenschutzes managen zu können. Hier setzt ein neues Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Bauinformatik und Geoinformationssysteme, dem Institut für Textiltechnik und weiteren Partnern an.

Frühwarnsysteme für Sturmfluten und Hochwasser basieren bislang ausschließlich auf der Vorhersage von Wasserständen. Andere Belastungsgrößen wie Wind und Wellen sowie die Widerstandsfähigkeit der Deiche und Hochwasserschutzmauern selber werden nicht berücksichtigt. Dennoch kann es bereits vor Erreichen des Bemessungsereignisses aufgrund kaskadierender Effekte sowie des frühzeitigen Versagens der Hochwasserschutzanlage selber zu einem Überflutungsereignis und damit zur Gefährdung kommen. Dieses Ereignis kann auf der Grundlage bestehender Frühwarnsysteme weder im Fluss- noch im Küstenbereich rechtzeitig erkannt

werden. Daher ist es erforderlich, für Hochwasserschutzanlagen am Beispiel von Seedeichen ein sensor- und risikobasiertes Frühwarnsystem zu entwickeln, das alle relevanten Prozesse inklusive kaskadierender Effekte berücksichtigt, eine rechtzeitige Warnung veranlasst und den Verantwortlichen zuverlässige und robuste Echtzeitdaten in einem GeoPortal zur Verfügung stellt. Um dieses Ziel zu erreichen, wird derzeit in der neuen Versuchshalle des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft ein Deich aufgebaut, der im Rahmen der Modellversuche durch- und überströmt wird.

Autor:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf ist Inhaber des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft.



Künstliche Intelligenz i

Intelligente Dämpfersysteme zum

220.000 Menschen haben während des Erdbebens 2010 in Port au Prince, Haiti, ihr Leben verloren. Über 100.000 Häuser wurden dabei zerstört. Zahlreiche Regionen weltweit sind stark erdbebengefährdet. In 2012 hat beispielsweise allein die Emilia-Romagna-Erdbebenserie in Italien einen wirtschaftlichen Gesamtschaden von über 11,5 Milliarden Euro verursacht.

Nicht nur Erdbeben, sondern auch Wind beeinträchtigt die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken. Ein Beispiel hierfür sind die Windkraftwerke. Aufgrund der starken Turmschwingungen liegt die geplante Lebensdauer einer Windenergieanlage nur bei 20 Jahren, dies ist im Vergleich zu den Herstellungs- und Wartungskosten aus wirtschaftlicher Sicht bei Weitem nicht effizient genug.

Die Lebensdauer von Bauwerken wird auch durch die betriebsbedingten dynamischen Einwirkungen beeinflusst, etwa die verkehrsinduzierten Schwingungen von Brücken. Um die angeforderten Sicherheitskriterien zu gewährleisten, müssen diese Bauwerke ständig überwacht und gewartet werden. Allein im Fernstraßennetz von Deutschland gibt es jedoch über 38.000 Brücken.

Zur Vermeidung von Schwingungen müssen Bauwerke grundlegende konstruktive Kriterien erfüllen. Bei Bestandsbauten können konstruktive Maßnahmen nur durch aufwändige bauliche Eingriffe durchgeführt werden. Bei modernen Bauwerken können diese Anforderungen häufig nicht eingehalten werden, da die Tragstrukturen durch gestiegene architektonische und wirtschaftliche Anforderungen zunehmend filigraner sind. Ein

Beispiel hierfür ist die Millennium Bridge in London, die wenige Tage nach der Eröffnung wegen Schwingungsproblemen wieder geschlossen wurde. Zur Unterdrückung der Schwingungen und ohne den filigranen Charakter des Bauwerks zu beeinträchtigen ist es erforderlich, zusätzliche Dämpfersysteme anzuordnen. Diese können dann die Schwingungsenergie des Bauwerks analog zu den Stoßdämpfern von Kraftfahrzeugen dissipieren und damit das Bauwerk schützen.

Es ist bekannt, dass sich die dynamischen Eigenschaften eines Bauwerks ständig ändern. Die Hauptursachen sind dabei Temperatureinwirkungen, Alterung des Bauwerks, durch dynamische Einwirkungen verursachte große Auslenkungen und veränderte Untergrundeigenschaften. Diese veränderlichen Randbedingungen führen zu einem erheblichen Effektivitätsverlust der konventionellen passiven Dämpfersysteme. Um die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Bauwerke vor den dynamischen Einwirkungen effektiver schützen zu können, werden neue intelligente adaptive Schwingungsreduktionsmethoden benötigt. Der Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik erforscht, entwickelt und testet daher hochmoderne, innovative Dämpfersysteme für Bauwerke.

Semi-aktiver Flüssigkeitssäulendämpfer

Der vor kurzem am Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik entwickelte und patentierte semi-aktive Flüssigkeitssäulendämpfer S-TLCD zählt zu den neuartigen intelligenten Schutzsystemen. Passive, im Englischen Tuned Liquid Column Damper (TLCD)

genannte, Flüssigkeitssäulendämpfer werden bereits seit über 100 Jahren zur Reduktion von Schwingungen in Schiffen und Bauwerken eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein mit einer Flüssigkeit befülltes, U-förmiges Rohrsystem, in dem die Schwingungsenergie des Bauwerks durch Turbulenzen und Reibung innerhalb der Flüssigkeit umgewandelt wird. Hierzu wird der Dämpfer so ausgelegt, dass eine auf die Eigenfrequenzen der Struktur abgestimmte gegenphasige Schwingung der Flüssigkeit mit optimierter Dämpfung auftritt.

Üblicherweise sind solche Systeme vollkommen passiv, also in ihren Eigenschaften während des Betriebs nicht veränderbar. Kommt es aber nach Inbetriebnahme zu einer Änderung der dynamischen Eigenschaften, so ist ein passiver Dämpfer nicht mehr optimal wirksam. Dies kann wiederum sogar zu einer noch weiteren Vergrößerung der Schwingungsamplituden führen.

Der semi-aktive Flüssigkeitssäulendämpfer löst das Problem, indem die Eigenfrequenz des Dämpfers durch eine Verstellung der inneren Geometrie dynamisch an die sich ändernden Bedingungen angepasst werden kann. In Kombination mit entsprechenden Schwingungssensoren am Bauwerk, die die Regelparameter liefern, ist damit immer eine optimale Wirkung der Dämpfer gewährleistet. Durch eine Verstellbarkeit der vertikalen Tankwände kann so die Eigenfrequenz der Wassersäulenschwingung direkt und unabhängig von anderen Größen autark verändert werden.

Bei sehr hohen Gebäuden und Schornsteinen ist ein wir-

m Bauwesen

Schutz von Menschen und Bauwerken



*Bild 1: Prototyp des semi-aktiven Flüssigkeitssäulendämpfers zur Reduktion wind- und erdbebeninduzierter Bauwerksschwingungen.
Foto: Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik*

kungsvolles Dämpfungssystem zwingend notwendig. Die hier vorgestellte Technologie bietet einen wirtschaftlichen Kompromiss aus verbesserter Wirksamkeit gegenüber rein passiven Dämpfern und moderaten Kosten gegenüber voll aktiven Systemen mit Aktoren zur Erzeugung einer gezielten Gegenschwingung. Solche Systeme sind zwar wirksamer, aber auch sehr teuer und im Notfall störanfällig.

Der wachsende Markt der Windkraftenergieanlagen bietet für den semi-aktiven Flüssigkeitssäulendämpfer ein viel versprechendes weiteres Anwendungsfeld. Die Problematik der zum Teil unbefriedigenden Lebenserwartung von großen On- und Offshore-Windenergieanlagen lässt sich in der Regel auf ungelöste Schwingungsprobleme und dadurch bedingten erhöhten Verschleiß zurückführen. Gleichzeitig ermöglicht die Anwendung der semi-aktiven Dämpfungstechnik für Windenergieanlagen ein hohes Einsparpotenzial bei der statischen Auslegung der Masten, bedingt durch die Verringerung der Ermüdungslasten.

Einsatz von Smart-Materials

Aufbauend auf den Ergebnissen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des semi-aktiven Flüssigkeitssäulendämpfers erfolgte der Übergang zu weiteren Dämpfersystemen. Konventionelle Dämpfersysteme, wie die Stahl-Hysterese-Dämpfer, tragen sehr effektiv zur Schwingungsreduktion bei, müssen aber aufgrund der nichtreversiblen Verformungen des Stahls nach jeder dynamisch starken Beanspruchung, beispielsweise Erdbeben, ausgetauscht werden. Formge-



Bild 2: Schwingtischuntersuchungen an Modellkonstruktionen – Entwicklung eines neuartigen Dämpfers aus Formgedächtnislegierungen.

Foto: Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik

Bild 3: Experimentelle Untersuchungen am semi-aktiven Flüssigkeitsdämpfer – interdisziplinäre Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Baustatik und Baudynamik der Fakultät für Bauingenieurwesen mit dem Institut für Regelungstechnik der Fakultät für Maschinenbau.

Foto: Peter Winandy



dächtnislegierungen, kurz FGL, stellen hierbei ein alternatives Dämpfermaterial dar, sie können sich nach einer mechanischen Belastung durch Erhitzen wieder an ihren Ausgangszustand „erinnern“ und zurückverformen. Bei diesem Effekt, welcher der Legierung ihren Namen gab, handelt es sich um eine Phasenumwandlung. Oberhalb einer bestimmten Temperatur verhalten sich die FGL superelastisch und können in diesem Zustand große Dehnungen aufnehmen, ohne dass es zu plastischen verbleibenden Verformungen kommt.

Aufgrund dieser beiden außergewöhnlichen Fähigkeiten zählen FGL zu den intelligenten Funktionswerkstoffen. FGL findet derzeit beispielsweise in der Medizin in Form von Stents Anwendung. Der Stent wird gekühlt, in einer kompakten Form mit geringem Durchmesser gelagert. Sobald das verengte Gefäß implantiert ist und sich bei Körpertemperatur zu seiner ursprünglichen Gestalt ausdehnt, wird das Gefäß geweitet.

Im superelastischen Zustand können Nitinollegierungen aus Nickel und Titan sich stark dehnen und nach der Beanspruchung wieder in ihren Ursprungs-

zustand zurückkehren. Damit verhalten sich FGL oberhalb einer bestimmten Temperatur superelastisch und im Vergleich zum Dämpferwerkstoff Stahl können somit reversible Verformungen mit einem bis zu 50-fach höheren Verformungsgrad erreicht werden. Aufgrund der sehr hohen Materialkosten besteht jedoch im Hinblick auf bautechnische Anwendungen noch erhöhter Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um Dämpfersysteme aus FGL für Bauwerke flächendeckend nutzbar zu machen.

Die am Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik durchgeführten Versuche mit FGL aus Nitinol haben gezeigt, dass der Werkstoff Dehnungen von bis zu sieben Prozent ohne verbleibende Verformung aushalten kann. Ausgehend von diesem Prinzip wurde an der Entwicklung eines neuartigen nitinolbasierten Dämpfers gearbeitet. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden numerische Modellierungen des Materialverhaltens durchgeführt. Die Ergebnisse der numerischen Studien wurden anhand experimenteller Schwingtischversuche an Modellkonstruktionen unter seismischer Anregung validiert.

Piezokeramik

Der große Vorteil der Piezokeramiken gegenüber anderen Materialien ist der wechselseitige Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und mechanischer Dehnung. Hierbei kann durch eine aufgezwungene Verformung in der Kristallstruktur elektrische Energie erzeugt werden. Im Umkehrschluss ist es möglich, den Werkstoff durch eine definierte elektrische Spannung abhängig von seiner Polarisationsrichtung zu verformen. Diese Eigenschaften ermöglichen

ten bis heute eine Vielzahl von unterschiedlichen Innovationen. Beispielsweise werden im Bereich der Werkstoffmodifikation piezoelektrische Stäbchen dem Beton hinzugegeben. Durch Zwischenschaltung eines zusätzlichen Widerstandes soll dieser beton-dämpfende Eigenschaften aufweisen. Im Bereich der Energierückgewinnung wird das piezoelektrische Material dazu verwendet, bei mechanischer Beanspruchung Energie zu erzeugen.



Das Ziel der Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik ist die Entwicklung eines neuartigen Dämpfers, der die mechanischen Körperschallschwingungen einzelner Bauteile in einem breiten Frequenzbereich effektiv reduzieren kann. Diese innovative Dämpfungsmethode wird aufgrund der semi-aktiven Wirkungsweise der Piezoelemente eine effektive Alternative zu den bisher entwickelten Maßnahmen darstellen.

Bauwerke der Zukunft

Zunehmende Bevölkerungszahl sowie Ressourcenknappheit führen Menschen dazu, an Orten zu siedeln, die sich in unmittelbarer Nähe der Naturgefahren, beispielsweise Sturm und Erdbeben, befinden. Die industriellen und wirtschaftlichen Herausforderungen bestimmen dabei die architektonischen Trends. Dadurch wird die Erfüllung dieser Randbedingungen mit den konventionellen Bauweisen immer schwerer. Intelligente Dämpfersysteme können aufgrund ihrer Adapta-

tionsfähigkeit und des hierdurch erreichten hohen Wirkungsgrads das angeforderte Sicherheits- und Konformniveau gewährleisten. Zu diesem Zweck wird intensiv an der Forschung und Entwicklung weiterer Dämpfersysteme gearbeitet.

Autoren:

Dr.-Ing. Okay Altay ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Sven Klinkel ist Inhaber des Lehrstuhls für Baustatik und Baudynamik.

Studierende und Serious Games

72



Bild 1: Da besteht noch Verbesserungspotential: Ein Abschnitt (grün) ist ausreichend geschützt; bei dem anderen (rot) war der Spieler zu langsam.
Quelle: Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie

Praktiker lernen mit

SeCom2.0 bereitet auf Hochwasserrisikomanagement vor



73

Bild 2: Der Spieler hat die Aufgabe nicht in der vorgegebenen Zeit lösen können; ein Teil der Kölner Innenstadt wird vom Hochwasser überschwemmt.
Quelle: Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie



Die Aufgabe der Bauingenieurinnen und Bauingenieure ist es, Daseinsvorsorge für die Gesellschaft zu realisieren. Im Fall der Wasserwirtschaft besteht diese unter anderem darin, Menschen vor Hochwasser zu schützen. Heute geben Bauingenieure der Gesellschaft kein allgemeines Schutzversprechen mehr, sondern machen deutlich, dass für jeden ein gewisses (Rest-)Risiko besteht. Bei dem Hochwasserrisikomanagement geht es um die Bewusstmachung dieses Risikos.

Ein möglicher Ansatz dies zu erreichen, ist es, den menschlichen Spieltrieb auszunutzen. Eine direkte Rückkopplung im Spiel macht deutlich, welche Szenarien im Zusammenhang mit dem Hochwasserrisikomanagement auf die Gesellschaft zukommen werden. Am Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie wurde hierzu das Serious Game „SeCom2.0“ entworfen, programmiert, getestet und nach vielen Iterationen in Betrieb genommen. An der Entwicklung waren Wasserwirtschaftler und Informatiker von drei europäischen Universitäten und ein professioneller, mehrfach ausgezeichneteter Spieleentwickler beteiligt. Das Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie hat das Projekt konzipiert und führte die Gesamtkoordination aus.

Anforderungen an die Ausbildung

Die heutigen Schülerinnen, Schüler und Studierenden sind mit der Nutzung der digitalen Medien und Geräte, sei es das Internet, Spielekonsolen und Computer, Handys oder soziale Netzwerke, aufgewachsen. Diese „Digital Natives“ haben eine Sozialisation erfahren, aus der die Neuen Medien nicht mehr wegzudenken sind. Ein Leitspruch dieser Generation lautet: „Leben ist da, wo ich Netz habe“. Das heißt auch, dass Situationen, in denen kein Netz verfügbar ist, als nicht lebenswert angesehen werden. Diese veränderten Voraussetzungen müssen bei der zukünftigen Ausbildung der Studierenden berücksichtigt werden.

Ein möglicher Ansatz könnte es sein, in Gänze auf die Mediensozialisation einzugehen

und damit die neuen Medien in den Fokus aller Ausbildungsbestrebungen beim Prozess des Lehrens und Lernens zu stellen. Das ist aber weder zielführend noch sinnvoll, wie Vergleichsstudien belegen. Untersucht wurde, ob mediengestütztes Lernen erfolgreicher als eine konventionelle Ausbildung ist und die Neuen Medien den Alten Medien vorzuziehen wären. Die Studien haben gezeigt, dass die Effektivität der Neuen gegenüber den Alten Medien oder gegenüber konventionellem Unterricht nicht zwingend größer ist.

Wichtig ist vielmehr, dass ein guter Lehrender ein guter Geschichtenerzähler ist, der mit Enthusiasmus und Begeisterung für das Fach agiert und die Studierenden zu einer aktiven Beteiligung motivieren kann. Ob dabei die Medien digital oder analog sind, ist nicht entscheidend; erst-rangig ist nur die Frage, ob das Medium dabei hilft, Informationen beim Studierenden in Wissen zu wandeln und für den Prozess geeignet ist, bei dem sich der Lernende Kompetenzen erarbeitet.

Blended Learning für das Hochwasserrisikomanagement

Insofern ist die Kopplung des personalen Lehrens mit den Möglichkeiten der mediengestützten Wissensvermittlung, die mit dem Begriff des Blended Learning bezeichnet wird, eine sehr gute Form der Ausbildung. Als Leitidee steht eine Wissensvermittlung im Vordergrund, die auf die unterschiedlichen Lerntypen der auditiven und visuellen Lerner eingeht. Die Komponenten des mediengestützten Lernens offerieren den Studierenden Materialien zum selbstgesteuerten Lernen.

Die notwendigen Kenntnisse und Kompetenzen, die sich die Teilnehmer selbstständig erarbeiten sollen, werden in SeCom 2.0 über ein Multi-Player-Spiel vermittelt. Die Anwender müssen dabei die anfallenden Aufgaben, wie Aufbau mobiler Hochwasserschutzwände, Kommunikation zwischen unterschiedlichen Einsatzkräften oder das Durchspielen von konkreten Pannen während des Einsatzes mit anderen Teilnehmenden simulieren. Das Spiel bildet ein reales Einsatzszenario zum Hochwasserrisikomanagement für die Stadt Köln ab.

Zielgruppe der Anwendung sind einerseits Studierende der Wasserwirtschaft sowie zusätzlich

wasserwirtschaftliche Praktiker. Dies können etwa Mitarbeiter in Wasserwirtschaftsverwaltungen und Verbänden, kommunale Mitarbeiter oder auch Vertreter von Bürgerinitiativen sein. Die Anwendung vereint somit die Anforderungen an die universitäre Ausbildung sowie die Aspekte der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Die erstellten Selbstlernmedien müssen daher die inhomogenen Kenntnisstände der Zielgruppen berücksichtigen.

Für Studierende liegen die diversen Aufgaben der Kommunikation und der praktische Ablauf eines operativen Hochwassermanagements bisher außerhalb ihres Erfahrungsbeereiches. In einer spielerischen Wettbewerbssituation können sie ihr fachliches Wissen testen und sich zusätzliche Kompetenzen im Zusammenspiel mit anderen Studierenden sowie wasserwirtschaftlichen Praktikern erarbeiten.

Die Europäische Union finanzierte die Entwicklung von SeCom2.0 im Rahmen der Förderlinie des Lifelong Learning. Die EU hat für Serious Games das eigenständige Netzwerk European Network for Growing Activity in Game-based learning in Education, kurz ENGAGE, gegründet. Dieses soll die großen Potenziale der Spiele für das Lernen befördern, indem beispielsweise erfolgreiche Ansätze für unterschiedlichste Interessensgruppen aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden.

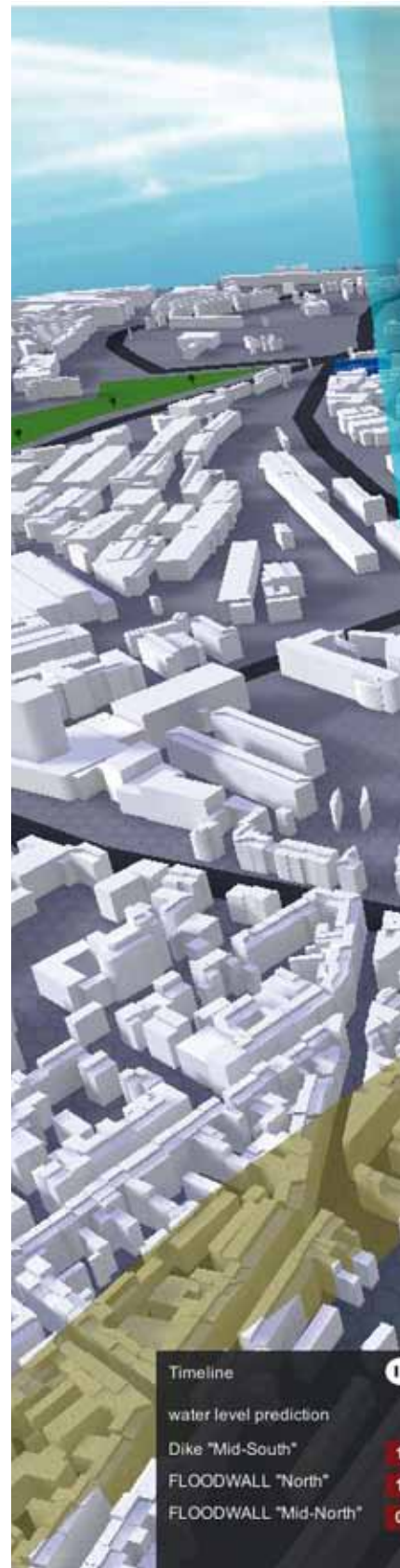
<http://www.secom20.eu>

Autor:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heribert Nacken betreut das Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie.

Bild 3: So sieht das Ergebnis für einen erfolgreichen Spieler aus: Das Hochwasser ist da und sein Flussabschnitt ist ausreichend geschützt.

Quelle: Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie





Pünktlichere Züge

Fahrplankonstruktion und

In Deutschland ist es ein verkehrspolitisches und umweltpolitisches Ziel, in den kommenden Jahren mehr Verkehr auf die Schiene zu bringen. Für die Zukunft wird vor allem im Bereich des Schienengüterverkehrs ein hohes Verkehrswachstum prognostiziert, so wird insbesondere für den Seehafen hinterlandverkehr von einem hohen Zuwachs ausgegangen.

Eine Voraussetzung für ein solches Wachstum auf der Schiene stellt eine leistungsfähige Eisenbahninfrastruktur dar. Viele Strecken und Knoten sind jedoch bereits stark ausgelastet und stoßen an ihre Kapazitätsgrenzen. Infolge der prognostizierten Mehrverkehre entstehen folglich weitere Engpässe und Überlastungen sowohl auf Strecken als auch in Knotenbereichen. Um die Leistungsfähigkeit der Eisenbahninfrastruktur auch nachhaltig sicherstellen zu können, ist neben einzelnen Neu- und Ausbaumaßnahmen eine laufende Instandhaltung der bestehenden Infrastruktur unumgänglich, welche wiederum zu temporären Einschränkungen führen kann.

Da Neu- und Ausbaumaßnahmen sehr kostenintensiv und nur mit langem Planungsvorlauf umsetzbar sind, ist es wichtig, die bestehende Infrastruktur möglichst optimal zu betreiben. Es ist also von entscheidender Bedeutung, sowohl den Eisenbahnverkehr bereits während der Fahrplanerstellung gut zu planen, als auch bei auftretenden Abweichungen im Betrieb optimal zu disponieren. Im Fokus der Forschung am Lehrstuhl für Schie-

nenbahnwesen und Verkehrswirtschaft steht somit die Weiterentwicklung der Verfahren aus der Eisenbahnbetriebswissenschaft in den beiden Prozessebenen Fahrplanerstellung und Betriebsdurchführung.

Mathematische Optimierung verbessert den Fahrplan im Eisenbahnwesen

Bei der Fahrplankonstruktion und der Disposition ist eine genaue, mikroskopische Betrachtung von Zugfahrten und Infrastruktur erforderlich, da für die Konstruktion von im tatsächlichen Betrieb umsetzbaren Fahrplänen eine exakte Modellierung der Infrastruktur und der Züge notwendig ist. Bereits kleine Abweichungen können zu Konflikten und somit zu Problemen im Betrieb führen.

Der Kapazitätsverbrauch einer einzelnen Zugfahrt wird durch die Inanspruchnahme der Infrastruktur durch ebendiese Zugfahrt beschrieben. Hierzu kann das so genannte Sperrzeitenmodell verwendet werden, welches die Zeitspanne ermittelt, während der ein Infrastrukturelement durch eine Zugfahrt belegt ist. Die Sperrzeitentreppe eines Zuges ergibt sich anschließend aus der Aneinanderreihung der Sperrzeitenblöcke der jeweiligen Infrastrukturelemente eines Streckenabschnitts. Die Verwendung von Sperrzeitenmodellen im Rahmen der Fahrplankonstruktion entspricht dabei dem anerkannten Stand der Technik. Die am Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft entwickelten Grundlagen der Fahrplan-IT „Rechnergestütztes

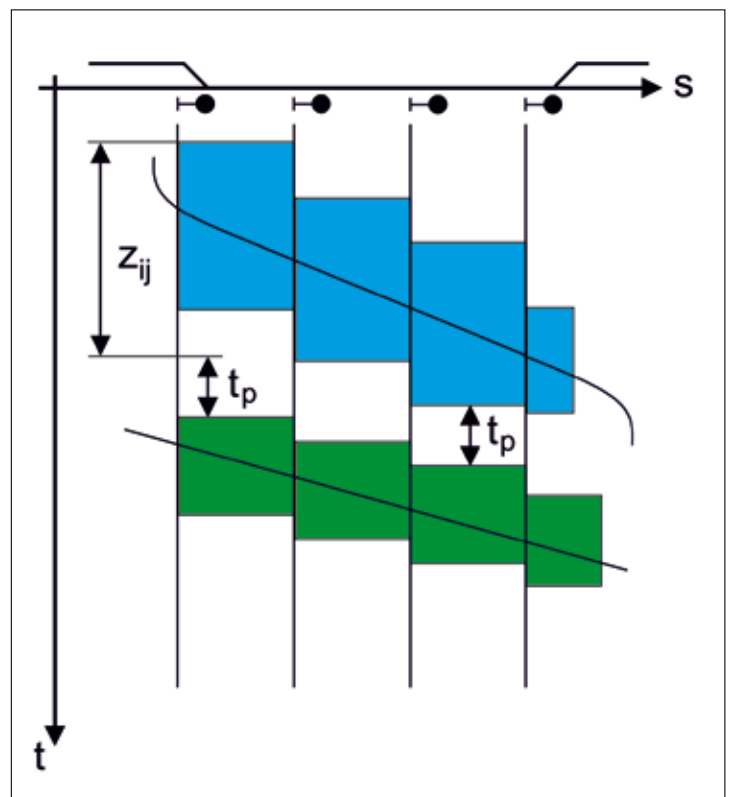


Bild 1: Pufferzeiten im Eisenbahnwesen.

Quelle: Verkehrswissenschaftliches Institut

Trassenmanagement“, kurz RUT-K, werden seit vielen Jahren als Standardsoftware zur Fahrplankonstruktion bei der DB Netz AG angewendet.

Der Prozess der Fahrplanerstellung gestaltet sich aufwändig und zeitintensiv. Ziel eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsvorhabens war es, ein Verfahren zur Unterstützung des Fahrplankonstrukteurs zu entwickeln. Grundsätzlich erfolgt die Fahrplanerstellung durch das Eisenbahninfrastrukturunternehmen. Dieses koordiniert die Trassenwünsche der verschiedenen Eisenbahnverkehrsunternehmen mit dem Ziel, einen fahrbaren und gleichzeitig robusten Fahrplan zu konstruieren. Überlagern sich mehrere

Trassenwünsche, liegt ein Belegungskonflikt vor. Da ein finaler Fahrplan jedoch keine Konflikte aufweisen darf, sind sämtliche Belegungskonflikte durch geeignete Maßnahmen aufzulösen. So können Trassen in ihrer zeitlichen Lage verschoben, Geschwindigkeiten und Haltezeiten der Züge angepasst oder aber Laufwegänderungen vorgenommen werden. Können die Konflikte nicht gelöst werden, kann dies in seltenen Fällen zum Abweisen einer Trasse führen.

Neben der reinen Konfliktlösung sind zudem ausreichende Reserven zur Absicherung des Betriebs gegen Störungen im Fahrplan vorzusehen. Dies können einerseits so genannte Pufferzeiten sein, die die Zeitlücke

durch IT-Verfahren

Disposition im Eisenbahnwesen

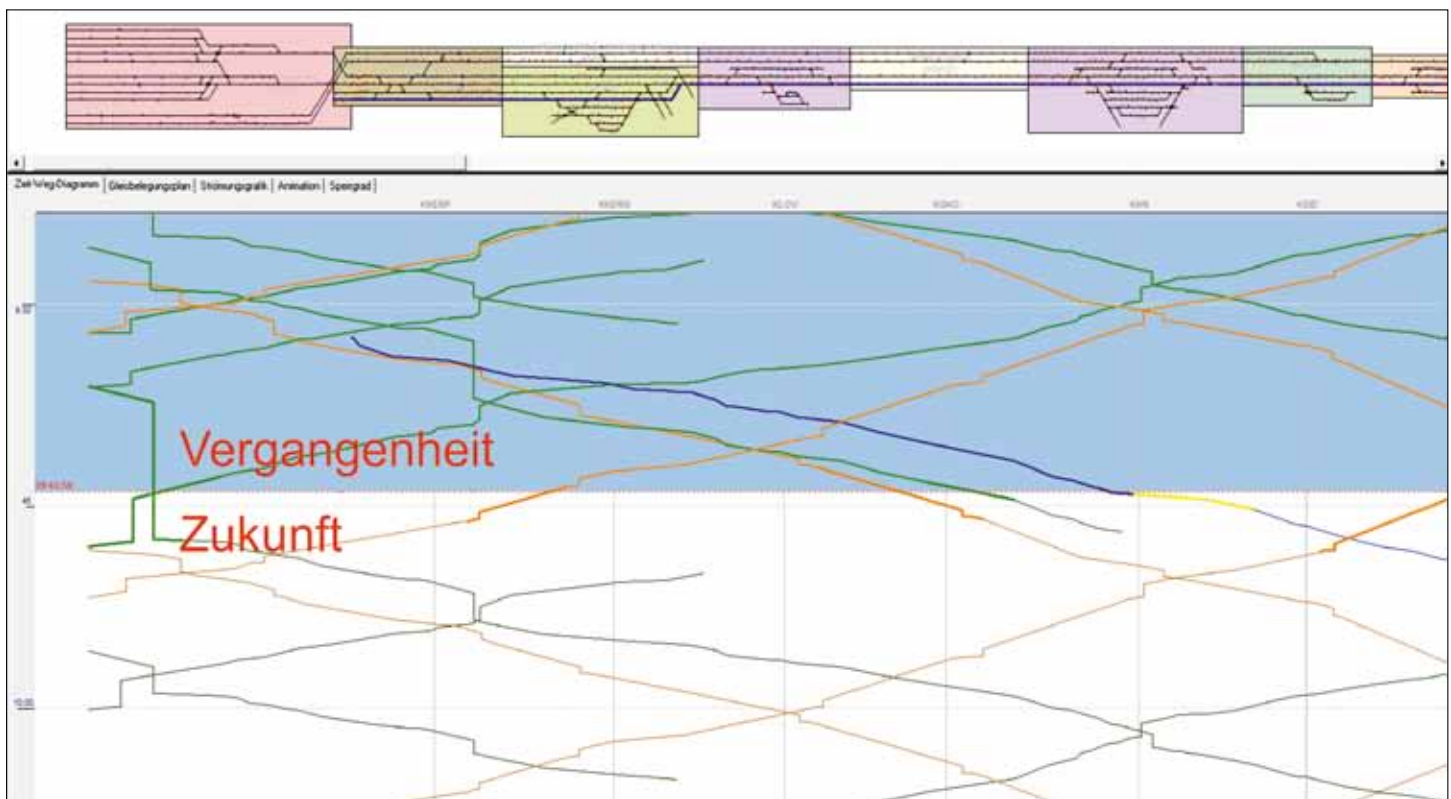


Bild 2: Zeit-Weg-Linien-Diagramm mit Prognoserechnung.
Quelle: Verkehrswissenschaftliches Institut

cken zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sperrzeitentrepfen darstellen und im Betriebsablauf die Verspätungsübertragung von einem Zug auf einen anderen Zug verhindern beziehungsweise dämpfen, siehe Bild 1. Zusätzlich können aber auch längere Fahr- und Haltezeiten als technisch und betrieblich notwendig vorgesehen werden. Diese Fahrzeitreserven können dann im Verspätungsfall zum Abbau der Verspätung genutzt werden.

Bei dem entwickelten Verfahren handelt es sich um ein mathematisches Optimierungsverfahren, das die unterschiedlichen Ziele im Rahmen der Fahrplanerstellung berücksichtigt. Hohe Pufferzeiten und Fahrzeitzuschläge stehen dabei im Wider-

spruch zu einer möglichst hohen Auslastung der Infrastruktur. Das erarbeitete Verfahren liefert dem Fahrplankonstrukteur Vorschläge für einen konfliktfreien Fahrplan. Die Ergebnisse mehrerer Beispielanwendungen zeigten, dass sich sämtliche Trassenwünsche mit nur geringen Abweichungen von der Wunschlage konstruieren ließen. Für die hohe Güterzugnachfrage konnte auf diese Weise ein robuster Fahrplan mit hohen Pufferzeiten und Fahrzeitzuschlägen realisiert werden. Das Verfahren ermöglichte somit die freien Lücken des Fahrplans für neue Güterzugtrassen zu nutzen, ohne die Betriebsqualität signifikant zu verschlechtern.

IT-Unterstützung im Rahmen der Betriebsführung

Die Disposition im Eisenbahnwesen wird manuell durchgeführt und basiert dabei neben einfachen Regeln vor allem auf der Erfahrung des Disponenten. Das zentrale Problem ist die Erkennung und Lösung von Belegungs-, Anschluss- und Umlaufkonflikten. Eine große Herausforderung bei der Entwicklung einer Automatisierung stellt die Wahl des richtigen Abstraktionsniveaus dar. So muss die Lösung der Konflikte in der Regel in einem extrem kurzen Zeitraum erfolgen, was für den Einsatz eines makroskopischen Ansatzes spricht. Dagegen müssen die erarbeiteten Lösungen möglichst detailliert und realitätsnah sein, da bereits kleine Abweichungen zu vermeintlich optimalen Lösungen führen können, welche aber in der Realität nicht umsetzbar sind.

Derzeit arbeitet die rechnergestützte Disposition wie folgt: Mit Hilfe von diskreten Statusmeldungen der Zugfahrten in Form von Telegrammen bestimmt das Dispositionssystem die aktuelle Betriebssituation. Darauf aufbauend wird der zukünftige Verlauf der Zugfahrten prognostiziert, siehe Bild 2. Anhand dieser Hochrechnung werden schließlich eventuelle Konflikte erkannt und dem Disponenten visualisiert. Schließlich führt der Disponent manuell eine Konfliktlösung durch, wobei hierzu oftmals die Abstimmung mehrerer Akteure erforderlich ist.

Bei dem im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeiteten Dispositionsverfahren handelt es sich um ein mathematisches Optimierungsverfahren, welches neben der Konflikterkennung direkt auch eine Konfliktlösung durchführt. Da der Disponent im Rahmen der Disposition eine Vielzahl von Zielen verfolgen muss, sind diese in eine allgemein akzeptierte Zielfunktion zu überführen. Hierzu gehören eine möglichst schnelle Rückkehr zum Regelbetrieb, eine Verbesserung der Gesamtpünktlichkeit und eine Maximierung der Infrastruktur- auslastung.

78

Reduktion von Verspätungen durch vorausschauende Disposition

Zur Umsetzung und Evaluation des erarbeiteten Verfahrens wurde ein Simulationsverfahren verwendet, welches auf der am Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft entwickelten eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Anwendung „Leistungsfähigkeitsuntersuchung Knoten und Strecken“, kurz LUKS®, basiert. Anhand mehrerer Praxisbeispiele konnte gezeigt werden, dass es gelingt, die Verspätungsübertragung effektiv zu vermeiden und Verspätungen der Zugfahrten im Schnitt zu reduzieren. Dabei wurde eine optimale



Lösung in den meisten Fällen in weniger als 30 Sekunden gefunden. Da die Lösungssuche zudem schrittweise erfolgt, besteht bei einem Praxiseinsatz zusätzlich die Möglichkeit, die Lösungssuche bereits vorzeitig zu beenden und die bis dahin errechnete (suboptimale) Lösung zu verwenden.

Der Praxistest zeigte, dass der Disponent mithilfe einer (teil-) automatischen Disposition spürbar entlastet werden kann und eine deutliche Reduzierung der Folgeverspätungen erzielt wird. Aufgrund der vorausschauenden Disposition könnten zudem unnötige Brems- und Beschleu-

nigungsvorgänge verhindert und damit der Energieverbrauch gesenkt werden. Dies gilt insbesondere bei stark und nachhaltig gestörten Betriebssituationen, in denen der Disponent besonders von einer Unterstützung durch den Rechner profitieren würde.

Die entwickelten Verfahren stellen insgesamt eine deutliche Unterstützung der Fahrplankonstrukteure und Disponenten dar. Nach einer intensiven Validierungsphase ist eine Überführung in die Praxis geplant.

Autoren:

Dipl.-Ing. Bastian Kogel ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen ist Inhaber des Lehrstuhls für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft.



*Bild 3: Hohes Verkehrswachstum
im Schienengüterverkehr
Quelle: Verkehrswissenschaftli-
ches Institut der RWTH Aachen*



Mitarbeiterinnen des Instituts für Siedlungswasservirtschaft der RWTH Aachen nehmen Proben im Belebungsbecken der Abwasserreinigungsanlage Aachen-Soers.
Foto: Peter Winandy



Freigeist-Fellowship der Volkswagen-Stiftung für Dr. Christina Büsing

Dr. rer. nat. Christina Büsing vom Lehrstuhl für Operations Research wurde mit dem Freigeist-Fellowship der Volkswagen-Stiftung gefördert. Sie überzeugte das internationale Gutachtergremium mit ihrem Projekt „Robuste Planung in der medizinischen Versorgung für ein stabiles Gesundheitssystem“. Die Stiftung unterstützt das Forschungsvorhaben mit 864.000 Euro.

Das Projekt beschäftigt sich mit der organisatorischen Prozessverbesserung zweier Kernprobleme unseres Gesundheitssystems: die medizinische Versorgung im ländlichen Raum und ein effizientes Management von Krankenhäusern und ähnlichen arbeitsteiligen Einrichtungen.

Büsing setzt mathematische Methoden ein: Sie entwickelt Modelle, mit denen der Gesundheitssektor auf die häufigen Bedarfsveränderungen und wandelnden Umwelteinflüsse reagieren kann. Diese müssen einerseits stabil sein, um einen zuverlässigen Ablauf zu ermöglichen. Andererseits sollen sie sich auch an veränderte Umstände und Unsicherheiten anpassen. Dies möchte die Wissenschaftlerin, die am Lehrstuhl II für Mathematik der RWTH forscht, erreichen, indem sie unter anderem Methoden aus der mathematischen Modellierung, der kombinatorischen und ganzzahligen Optimierung sowie der Simulation und Heuristik einbindet.

Stahl-Innovationspreis 2015

Das Projekt „HiPerComp“ wurde mit dem Stahl-Innovationspreis 2015 ausgezeichnet. Hieran waren neben dem RWTH-Institut für Eisenhüttenkunde unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck die Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau der TU München, der Lehrstuhl für Werkstoffkunde der TU Kaiserslautern und die Stiftung Institut für Werkstofftechnik in Bremen aktiv. Im Rahmen des Berliner Stahldialogs nahmen die Preisträger ihre Auszeichnungen von Schirmherrin Prof. Dr. Johanna Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung, entgegen.

Ranking der Wirtschaftswoche

Jährlich befragt die WirtschaftsWoche rund 500 Personalverantwortliche sowohl großer als auch mittelständischer deutscher Unternehmen, von welchen Universitäten die am besten ausgebildeten Absolventen kommen. Besonderes Augenmerk wird bei der Befragung auf die Praxisrelevanz gelegt. Das Hochschulranking der Wirtschaftswoche bescheinigt der RWTH erneut eine TOP-Reputation bei deutschen Unternehmen.

Die Aachener Absolventen der Natur- sowie der Ingenieurwissenschaften werden von den Personalverantwortlichen als sehr gut beurteilt.

Der Maschinenbau der RWTH lag an der Spitze der Tabelle. Gleiches gilt auch für das Wirtschaftsingenieurwesen, hier wird Aachen ebenfalls wieder als beliebteste Hochschule der deutschen Personaler genannt. Souverän verteidigen die Naturwissenschaftler der RWTH ihren Spitzenplatz, den sie bereits seit der ersten Veröffentlichung des Rankings 2009 halten. Auch in der Elektrotechnik und der Informatik sind die Absolventen bei den Entscheidungsträgern in der Wirtschaft sehr beliebt: Beide Fächer schaffen es wie in den letzten Jahren in die Top 3.

Als RWTH Lecturer ausgezeichnet

RWTH-Prorektorin Professorin Doris Klee zeichnete acht Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als RWTH Lecturer aus. Diese Ehrung wird an promovierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vergeben, die sich in herausragender Art und Weise für ihre Lehre engagieren. Auf diese Weise soll der akademische Mittelbau geehrt und gefördert werden. Die Auszeichnung ist mit einem Geldpreis in Höhe von 15.000 Euro verbunden. Der RWTH Lecturer wurde in der Maßnahme Place to Be des Zukunftskonzepts II der Exzellenzinitiative eingeführt. Der Ehrentitel wird unbefristet für die Dauer des Beschäftigungs- beziehungsweise aktiven Beamtenverhältnisses an der RWTH verliehen.

Aktuell wurden ausgezeichnet Dr. phil. Viktoria Arling (Philosophische Fakultät), Dr.-Ing. Christoph Butenweg (AOR, Fakultät Bauingenieurwesen), Priv.-Doz. Dr. phil. Roger De Souza (Fakultät Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften), Dr. rer. pol. Robin Kleer (AR Fakultät Wirtschaftswissenschaften), Dr.-Ing. Matthias Meinke (Numerik Fakultät Maschinenbau), Dr. phil. Stefanie Schuch (Philosophische Fakultät), Priv.-Doz. Dr. med. Timo Vloet (Oberarzt, Medizinische Fakultät) und Dr.-Ing. Mathias Wien (Fakultät der Elektrotechnik und Informationstechnik).

Namen & Nachrichten

**Millionenförderung für
Aachener Physikprojekte –
Staatssekretär Thomas Rachel
übergibt RWTH-Rektor
Bewilligungsbescheide**

Die Aachener Elementarteilchenphysiker werden insbesondere durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt. Gefördert werden Projekte am LHC am CERN in Genf mit wesentlicher Beteiligung von RWTH-Wissenschaftlern.

LHC ist die Kurzform für den Large Hadron Collider – er ist der größte und leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger der Welt. Mit ihm lassen sich nach neuen Teilchen suchen und Erkenntnisse darüber gewinnen, wie sich das frühe Universum entwickelte.

Im Sommer 2015 begann eine neue dreijährige Förderperiode, mehrere Millionen Euro gehen an die RWTH für die LHC-Projekte CMS-Experiment +Theorie, LHCb-Experiment, CMS-Upgrade. Aachen ist der Standort in Deutschland, der die meisten Mittel in diesem Bereich aus der BMBF-Verbundforschung erhält.

**Projekt zur Bekämpfung von
Brustkrebs erhält Förderung**

Das Forschungsprojekt HYPMED der Uniklinik RWTH Aachen und der Fachgruppe Physik der RWTH erhielt von dem EU-Programm „Horizont 2020“ eine Förderung von sechs Millionen Euro.

Das Brustkrebs-Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der Entwicklung eines hybriden MRT/PET-Systems für die Diagnose von Brustkrebs.

Das neue Untersuchungsgerät wird eine bislang unerreichte Kombination aus Brust-MRT und PET (Positronen-Emissions-Tomographie) ermöglichen und damit weltweit den Stand der Technik auf diesem Gebiet neu definieren. „Mit unserem Ansatz wird es möglich sein, jedes beliebige MR-System bei Bedarf in ein so genanntes ‚Hybridsystem‘ zu verwandeln, mit dem wir auch kleinste Veränderungen erkennen oder die biologische Aggressivität von Tumoren besser einschätzen können“, erläutert Professorin Dr. Christiane Kuhl, Leiterin des Projekts und Direktorin der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie an der Uniklinik RWTH Aachen. „Solche Bildgebungsverfahren werden für die zielgerichtete Therapie dringend benötigt.“

**Erstes Ford RWTH
Alliance Executive Event**

Die Forschungsk Kooperation „Ford – RWTH Aachen University Alliance“ mit dem Automobilhersteller Ford besteht seit 2013. Jetzt fand das erste Ford RWTH Aachen University Alliance Executive Event statt, bei dem ausgewählte Projekte vorgestellt wurden.

Die Forschungsprojekte der Alliance werden in enger Kooperation zwischen Ford und der RWTH Aachen ausgewählt. Aus den ersten beiden erfolgreichen Runden sind 20 thematisch breit gefächerte Projekte hervorgegangen. Vier Fakultäten forschen übergreifend zu Automobilthemen der Zukunft. Die Laufzeit der Projekte beträgt jeweils zwei Jahre.

Die RWTH ist neben den US-amerikanischen Universitäten MIT, University of Michigan und Stanford die einzige Universität außerhalb der USA, die diese neue und innovative Form der Zusammenarbeit mit der Ford Motor Global Company eingehen konnte. Ford stellt das zentrale Budget zur Verfügung und ermöglicht Planungssicherheit für die Projekte.

**Leif Kobbelt ist neues Mitglied
in der Academia Europaea**

Professor Dr. rer. nat. Leif Kobbelt vom Lehrstuhl für Informatik 8 (Computergraphik und Multimedia) der RWTH Aachen wurde in die Academia Europaea aufgenommen. Die Academia Europaea ist eine der renommiertesten europäischen Akademien für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aller Disziplinen, die auf ihren jeweiligen Fachgebieten führend sind. Sie verfolgt das Ziel, die Öffentlichkeit über aktuelle wissenschaftliche Themen und Trends zu informieren sowie europäische Forschungsorganisationen und Regierungen unabhängig zu beraten. Der 48-jährige Informatiker genießt national und international einen hervorragenden Ruf im Bereich Computergraphik. Er wurde 2013 mit dem hochdotierten ERC Advanced Grant und 2014 mit dem Leibniz-Preis ausgezeichnet. Zu seinen Themenschwerpunkten gehören 3D-Anwendungen, Interaktive Visualisierung und Mobile Multimedia-Anwendungen.

Elektromobilitätslabor unterstützt Automobil-Zuliefererindustrie

Das Elektromobilitätslabor (eLab) auf dem Campus Melaten wurde nach neun Monaten Bauzeit fertiggestellt.

Auf 3.600 Quadratmetern befinden sich Büroräume, eine Halle mit einem Batterieteststand (Battery Abuse Center, kurz BAC) sowie ein Maschinenpark. Über 60 Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft werden in dem Elektromobilitätslabor tätig sein. „Wissenschaftler und Industriepartner erforschen im eLab die kompletten Prozessketten von der Technologieentwicklung über das Testing bis hin zur Prototypenproduktion und entwickeln diese weiter“, so Professor Dr.-Ing. Achim Kampker, Leiter des Chair of Production Engineering of E-Mobility Components, PEM, der RWTH am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen und Leiter des Zentrums für Elektromobilproduktion.

Das neue Labor legt den Fokus auf die Komponentenentwicklung und die Prototypenproduktion rund um den elektrischen Antriebsstrang: Batteriezellenproduktion, Batteriesystem, Leistungselektronik, Steuerung und Elektromotor. Primäres Ziel ist es, die deutsche Automobil-Zulieferindustrie dabei zu unterstützen, Forschung und Entwicklung an einzelnen Komponenten für Elektrofahrzeuge zu betreiben und die Ergebnisse in marktfähige Produkte umzusetzen.

RWTH-Professor ausgezeichnet

Die International Federation of Classification Societies (IFCS) in Bologna hat die „Medal for Outstanding Research Achievements“ an Professor Hans-Hermann Bock verliehen. Prof. Bock war von 1978 bis 1999 im Lehr- und Forschungsgebiet Angewandte Statistik der RWTH Aachen tätig und übernahm von 1999 bis 2005 die Vertretung des Lehrstuhls für Statistik und Wirtschaftsmathematik.

Bock erhielt die Auszeichnung für seine entscheidenden Beiträge im Bereich der Clusteranalyse und seine Impulse bei der Etablierung von Klassifikationsgesellschaften. Er war maßgeblich an der Gründung der deutschen Gesellschaft für Klassifikation (GfKl) beteiligt und brachte die 1985 gegründete IFCS auf den Weg, die derzeit siebzehn nationale Klassifikationsgesellschaften mit insgesamt rund 2000 Mitgliedern vertritt. Außerdem war er in beiden Institutionen zeitweise als Präsident tätig.

Seine wissenschaftlichen Arbeiten thematisieren im Wesentlichen Probleme und Methoden aus dem Bereich der Statistik, Datenanalyse, Klassifikation und neuronaler Netze. Bis heute ist er Mitherausgeber der Springer-Zeitschrift „Advances in Data Analysis and Classification“ sowie der Springer-Reihe „Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization“.

Graduiertenschule AICES der RWTH ist neues Intel Parallel Computing Center

Die Graduiertenschule AICES der RWTH ist das vierte Intel Parallel Computing Center (IPCC) in Deutschland und damit Teil einer ausgewählten Gruppe von Instituten, die mit Unterstützung des US-amerikanischen Halbleiterherstellers Intel im Bereich der parallelen Programmierung forschen. Als Bestandteil des IPCC-Programms werden die Forscherinnen und Forscher der RWTH eng mit Intel-Ingenieuren zusammenarbeiten, die in Hinblick auf die konzerneigenen Tools und die Anwendungscodes beraten und unterstützen werden.

Geleitet von Professor Paolo Bientinesi und Professor Ahmed E. Ismail befasst sich das IPCC der RWTH mit der Entwicklung und Optimierung von schnellen und skalierbaren Algorithmen für Molekulardynamik. Dies ist eine weit verbreitete Simulationsmethode zur Bestimmung thermodynamischer, kinetischer Eigenschaften sowie der Transporteigenschaften verschiedener Materialien. Eines der Ziele ist es, die Parallelität und Rechenleistung der verschiedenen Intel-Prozessoren und Ko-Prozessoren voll auszunutzen. Das Ergebnis dieser Forschung wird in Form von optimierter Software in das weit verbreitete Molekulardynamik-Simulationsprogramm LAMMPS integriert und somit für jeden frei verfügbar sein.

Familiengerecht Arbeiten und Studieren – RWTH Aachen zum dritten Mal mit Audit ausgezeichnet

Die RWTH Aachen hat sich diesen Sommer zum dritten Mal erfolgreich dem Verfahren „audit familiengerechte hochschule“ der berufundfamilie gGmbH unterzogen. In diesem Rahmen wurde die Hochschule mehrfach besucht und zahlreiche Leitungs-, Gruppen- sowie Einzelgespräche geführt. Grundlegende Fragen dabei waren, inwieweit bestehende Angebote bekannt sind – etwa zu mobiler Arbeit, der Flexibilisierung des Studienortes oder des Familienservice des Gleichstellungsbüros – und worin weitere Entwicklungspotentiale gesehen werden. Hintergrund ist die Herausforderung, entsprechende Angebote und Aktivitäten innerhalb einer großen Hochschule wie der RWTH Aachen bekannt zu machen.

Das Re-Audit beinhaltet neben einer Analyse der aktuellen Situation den Abschluss einer Zielvereinbarung zwischen dem Rektorat und der berufundfamilie gGmbH. Die Hochschulleitung unterstützt das Verfahren ausdrücklich, wie Professorin Doris Klee für das Rektorat betont: „Die familiengerechte Gestaltung der Arbeits- und Studienbedingungen sind ein grundlegender Baustein einer erfolgreichen Personalgewinnung und -entwicklung der RWTH Aachen. Als zukunftsweisende Hochschule wollen wir neue Wege gestalten. Daher lege ich im Re-Audit besonderen Wert auf die Sicherung der Qualität bestehender Angebote und auf die Ansprache diverser Zielgruppen in unterschiedlichen Lebenslagen.“

Wissenschaftspreis für RWTH-Wissenschaftler der Neutrinophysik

Für die Entdeckung der Neutrino-Oszillationen geht der mit drei Millionen US-Dollar dotierte „Breakthrough Prize for Fundamental Physics“ zu gleichen Teilen an fünf internationale Forschergruppen. Darunter ist das T2K-Experiment, an dem das III. Physikalische Institut der RWTH Aachen beteiligt ist. Sieben Mitglieder des Instituts befinden sich unter den mehreren Hundert Ausgezeichneten. Der Preis wurde im Rahmen einer Gala im NASA Ames Research Center in Moffett Field, Kalifornien, an die Leiter der einzelnen Forschergruppen übergeben. Die Stifter des Breakthrough-Preises sind neben anderen der Facebook-Gründer Mark Zuckerberg, der Internet-Unternehmer Yuri Milner sowie Alibaba-Chef Jack Ma.

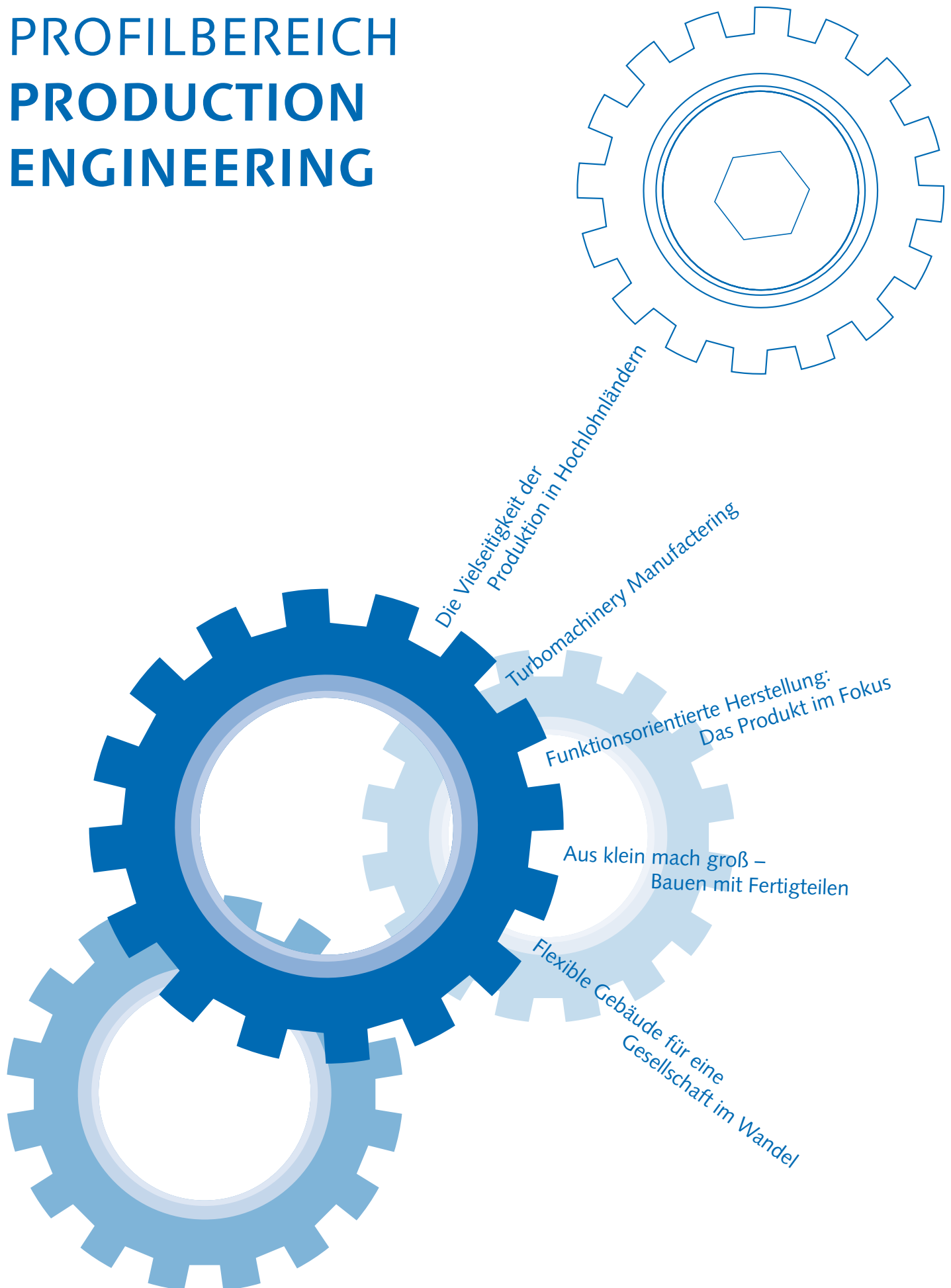
Neutrinos sind Elementarteilchen, die nur mit hohem Aufwand nachgewiesen werden können. Im T2K-Experiment nutzt man hierfür beispielsweise einen Detektor, der mit 50.000 Tonnen hochreinem Wasser gefüllt ist. Dieser Detektor, genannt Super-Kamiokande, befindet sich in der japanischen Provinz Kamioka tief unter der Erdoberfläche in einem Bergwerk, um vor Störungen durch die kosmische Höhenstrahlung geschützt zu sein. Man weist damit Neutrinos

nach, die an einem Beschleuniger im Forschungszentrum J-PARC an der japanischen Ostküste erzeugt wurden. Der Neutrinostrahl wird über eine Entfernung von rund 300 Kilometern quer durch Japan nach Super-Kamiokande geschickt. Auf dem Weg wandelt sich ein Teil der ausgesandten Myon-Neutrinos in andere Neutrino-Arten um, was man als Neutrino-Oszillation bezeichnet. Vorher wird der ausgesandte Strahl mit Hilfe eines Nah-Detektors untersucht und vermessen.

Im Forschungszentrum J-PARC waren die Aachener Wissenschaftler unter Leitung von Privatdozent Dr. Stefan Roth am Aufbau des Nahdetektors beteiligt und tragen nun zu seinem Betrieb bei. Er besitzt drei große Driftkammern, die Teilchenspuren aufzeichnen und rekonstruieren können. Roth baute mit seiner Gruppe unter anderem ein System zur kontinuierlichen Kalibration dieser Kammern auf. Das System ist in Japan installiert, wird aber von Aachen aus betrieben. An der RWTH werden die Daten ausgewertet und in eine Datenbank in Japan übertragen. Auch die Analyse der Neutrino-Wechselwirkungen innerhalb des Nahdetektors ist ein wichtiges Thema, mit dem sich die Aachener Teilchenphysikerinnen und -physiker befassen.

IN DER NÄCHSTEN AUSGABE

PROFILBEREICH PRODUCTION ENGINEERING



Mehr Raum für Sie. Und Ihren Wissensdurst.

Was jemand kann, sieht man, wenn man ihm die Chance gibt, es zu zeigen. Deshalb lassen wir Ihnen vom ersten Tag an den nötigen Freiraum: Für Ihre Begeisterung, Ihre Kreativität und den Mut, Neues auszuprobieren. Egal ob während Ihres Praktikums, Ihrer Werkstudententätigkeit oder Ihrer Abschlussarbeit.

www.careers.rohde-schwarz.com





**RWTHAACHEN
UNIVERSITY**