



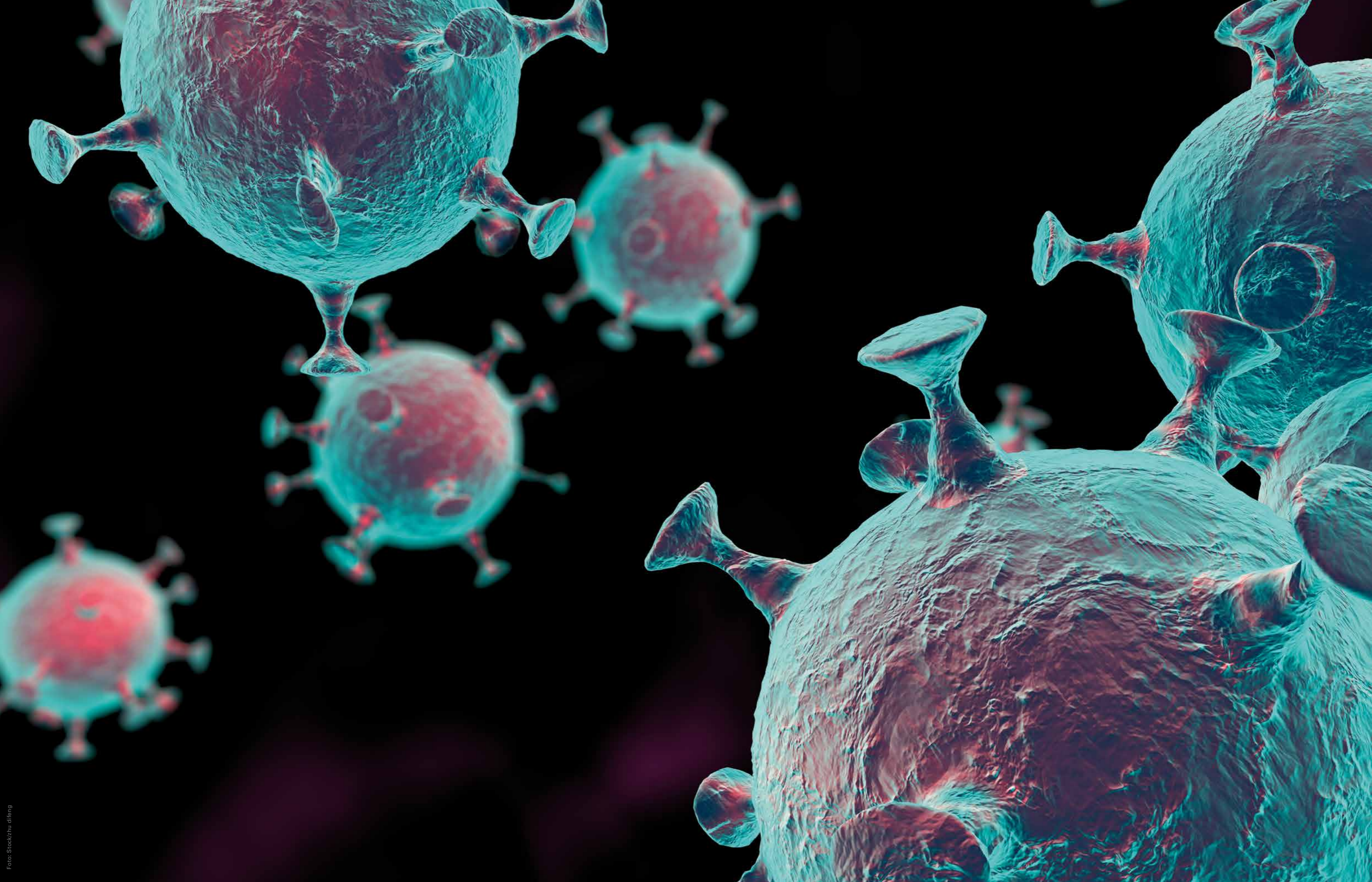
Universität Stuttgart

**GESUNDHEIT!**

# **FORSCHUNG LEBEN**

DAS MAGAZIN DER UNIVERSITÄT STUTTGART

NR. 11 NOVEMBER 2018



## Liebe Leserinnen und Leser,

Gesundheit! wünschen wir uns alle, und meistens rangiert dieses „höchste Gut“ bei den guten Wünschen noch vor den Kategorien Glück und Erfolg. Dementsprechend hat auch die Gesundheitsforschung einen hohen gesellschaftlichen Wert. Oft wird dabei Gesundheitsforschung mit dem Fach Medizin gleichgesetzt. Um jedoch die Potenziale dieses Forschungsfeldes zum Nutzen der Menschen umfassend ausschöpfen zu können, ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit aller Fachdisziplinen und Fakultäten notwendig.

Die Universität Stuttgart wird gemäß ihrer Vision „Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft“ die medizinaffinen Fachdisziplinen im Kontext von Ingenieur-, Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften noch stärker fokussieren. Welche gesundheitswissenschaftlichen Erkenntnisse und Leistungen unsere Universität aber bereits heute der Gesellschaft übergeben kann, lesen Sie in der vorliegenden Ausgabe unseres Universitätsmagazins FORSCHUNG LEBEN. Die Beiträge informieren aus den interdisziplinären Forschungsprojekten in den Bereichen Simulationstechnologien, Quantentechnologien, System Mensch, Medizintechnik, personalisierte Medizin, Digitalisierung in Medizin und Pflege, Materialwissenschaften, Herstellung und Entsorgung von Medikamenten sowie Sport und Prävention.

In die Schlussphase der Produktion dieser Ausgabe von FORSCHUNG LEBEN fiel die Entscheidung, dass zwei Cluster, mit denen sich die Universität Stuttgart im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder beworben hatte, von der Exzellenzkommission ausgewählt und nunmehr ab dem 1. Januar 2019 für sieben Jahre gefördert werden: das Exzellenzcluster „Daten-integrierte Simulationswissenschaft“, das auf eine neue Klasse von Modellierungs- und Berechnungsmethoden zielt und somit die Anwendbarkeit und Genauigkeit von Simulationen sowie die Verlässlichkeit der darauf basierenden



Foto: Uli Regenscheit

„Die interdisziplinäre Spitzenforschung unserer Universität wird auch künftig wertvolle Beiträge dazu leisten, die Gesundheit der Menschen zu erhalten oder wiederherzustellen.“

Wolfram Ressel  
Rektor der Universität Stuttgart

”

Entscheidungen auf eine qualitativ neue Stufe hebt, und das Exzellenzcluster „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“, das auf das volle Potenzial digitaler Technologien setzt, um das Planen und Bauen neu zu denken.

Mit diesen Erfolgen wird die Universität Stuttgart in den kommenden Jahren alles daran setzen, ihre Ziele auf den definierten Strategiefeldern mit Nachdruck zu verfolgen. Die erfolgreiche Spitzenforschung unserer Universität wird also auch künftig neue wertvolle Beiträge dazu leisten, die Gesundheit der Menschen zu erhalten oder wiederherzustellen.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre – bei hoffentlich exzellenter Gesundheit!

Ihr

Wolfram Ressel



Exzellently

INHALT

4

**FREIRAUM** 02  
Editorial

**EXZELLENZSTRATEGIE** 06  
Auf dem Weg zur Exzellenzuniversität

**NACHRICHTEN** 09

**GEMEINT** 14  
Spitze bleibt nur, wer die Zukunft mitgestaltet

BIOPRO-Geschäftsführer Prof. Ralf Kindervater fordert angesichts des Wandels in der Gesundheitsindustrie ein Umdenken für Wissenschaft und Forschung.

**WIE SOLL DAS GEHEN?** 18  
Gläserner Tumor  
Über die Systembiologie zur personalisierten Krebstherapie

**PATENT** 24  
Ermittlungen in Sachen Nahrung

Jens Brockmeyer spürt Allergene und gefälschte Lebensmittel auf

**IM BILDE** 28  
Die Menschmodellierer



Mit digitalen Menschmodellen trägt das Exzellenzcluster SimTech zum medizinischen Fortschritt bei

**FAKTOR X** 46  
Follower der besonderen Art



Computerlinguisten analysieren, was Patienten im Internet berichten

**RPM – REVOLUTIONS PER MINUTE** 48

**FUTUR 22** 82  
Koordinationsstörung auf Knopfdruck  
Mit menschenähnlichen Robotern neuronalen Erkrankungen auf der Spur

**SATELLIT** 90  
„Das Ende der Fahnenstange ist längst nicht erreicht“



Künstliche Intelligenz in der Medizintechnik

**WELTSICHT** 92  
Globale Konzepte für starke Infrastrukturen

**Dr. Do und die Detektive** 94



... und die netzweite Suche nach den Fehlern im Code

**IMPRESSUM** 96

**FORSCHUNG ERLEBEN**

50 **MIT DEM MUSKEL AUF DU UND DU**  
Simulationen der komplexen Abläufe im menschlichen Bewegungsapparat

54 **KOMBINIERTER SCHÄRFE**  
Mit künstlicher Intelligenz zu besseren Aufnahmen des Körperinneren

56 **AUF DEN SPUREN VON SUPERMAN**  
Neuartige Blicke unter die Haut

59 **DER RICHTIGE RIECHER FÜR EXAKTE DIAGNOSTIK**  
Präzisionsspektroskopie misst winzige Stickoxid-Gasmengen dank Rydberg-Anregung

62 **GEBAUTES WOHLBEFINDEN**  
Bauphysiker forschen an Büroräumen, die Gesundheit und Leistung fördern

65 **SERVOLENKUNG FÜR'S KNIE**  
Am Institut für Medizingerätetechnik entstehen Hilfssysteme nach dem „KISS“-Prinzip

68 **KABELLOSE ENERGIE FÜR STARKE HERZEN**  
Induktive Energieübertragung soll Herzunterstützungssysteme verbessern

70 **LEBENSLANG FÜR SCHADSTOFFE**  
Nicht kurzfristige Spitzenbelastungen sind es, die der Gesundheit dauerhaft schaden

72 **KLEINER MUSKEL, GROSSE WIRKUNG**  
Wissenschaftler arbeiten an 3D-Modellen der Harnblase

76 **WENN'S DER MENSCH (NICHT) PACKT**  
Forscher arbeiten an Maßnahmen für ein attraktiveres Berufsbild in der Intralogistik

78 **VORBILD SCHWAMM**  
An Strömungsprozessen verstehen, wie sich Therapien verbessern lassen

84 **GESUCHT: DER RICHTIGE DREH**  
Medizintechniker entwickeln altersgerechte Bedienelemente für den Alltag

88 **DER SPAGHETTI-EFFEKT**  
Biophysiker folgen Proteinen auf ihrem Weg durch die Zellmembran

## Auf dem Weg zur Exzellenzuniversität Exzellenzcluster „Daten-integrierte Simulationswissenschaft“ und „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ zur Förderung ausgewählt

**Große Freude herrschte an der Universität Stuttgart nach der Bekanntgabe der Gewinnerprojekte der neuen Exzellenzstrategie am 27. September: Gleich zwei Exzellenzcluster wurden von Experten aus Bund, Ländern und Deutscher Forschungsgemeinschaft zur Förderung vorgeschlagen und erhalten sieben Jahre lang Gelder in Millionenhöhe. Durchsetzen konnten sich die Cluster „Daten-integrierte Simulationswissenschaft“ und „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“.**

„Wir sind sehr, sehr glücklich“, sagte Rektor Prof. Wolfram Ressel. „Der Erfolg von gleich zwei Clustern in einem extrem harten Wettbewerb würdigt die erfolgreiche Entwicklung der Verbundforschung der Universität Stuttgart sowie die in den zurückliegenden Jahren aufgebauten Kompetenzen auf den Feldern der Simulationstechnologie sowie Architektur und Adaptives Bauen. Mit diesem Erfolg im Rücken und der strategischen Ausrichtung des Forschungsprofils auf das Ziel ‚Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft‘ gehen wir nunmehr gestärkt in den Wettbewerb um den Titel ‚Exzellenzuniversität‘. Ich danke allen am Antragsverfahren Beteiligten für ihr großes Engagement und ihren leidenschaftlichen Einsatz, sie alle haben ihr Äußerstes gegeben.“

Schade sei es, dass die Anträge „Verstehen Verstehen: Sprache und Text“ und „Quantenwissenschaften von den Grundlagen zur Anwendung: Entwicklung von Quanteninstrumenten der Zukunft“ nicht von der Kommission ausgewählt wurden. Sie haben jedoch wichtige Grundlagen zum Beispiel für künftige Sonderforschungsbereiche geschaffen. „Diese wichtigen Forschungsschwerpunkte werden wir an unserer Universität weiterverfolgen und sie nach unseren Möglichkeiten vorantreiben.“ Die Bewerbung um die Förderung als „Exzellenzuniversität“ mit der

Vision „Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft“, über die im Frühjahr 2019 entschieden wird, läuft derzeit auf Hochtouren. „Mit dem Engagement unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und einem Quäntchen Glück arbeiten wir ab November 2019 vielleicht alle an einer Exzellenzuniversität“, hofft Ressel.

### Simulation in Zeiten von Data Science

Das Exzellenzcluster „Daten-integrierte Simulationswissenschaft“ zielt angesichts der vielen Daten, die heute aus verschiedenen Quellen zur Verfügung stehen, auf eine neue Klasse von Modellierungs- und Berechnungsmethoden, die die Anwendbarkeit und Genauigkeit von Simulationen sowie die Verlässlichkeit der darauf basierenden Entscheidungen auf eine neue Stufe heben.

Simulationen haben sich zu einem unverzichtbaren Bestandteil von Forschung und Entwicklung in vielen unterschiedlichen Gebieten entwickelt. Sie tragen entscheidend zum technologischen Fortschritt bei. Seit 2007 hat das Exzellenzcluster „Simulation Technology“ (SimTech) an der Universität Stuttgart die Simulationswissenschaften hinsichtlich Modellen, Methoden und Computing-Aspekten aus Ingenieursperspektive in großer Breite und Tiefe vorangetrieben und diese mit seinem interdisziplinären und methodischen Profil als international sichtbaren Forschungsschwerpunkt etabliert. Dessen Forschungsergebnisse und -erfolge kann die Universität Stuttgart nun in eine neue Richtung weiterentwickeln.

„Mit Daten-integrierter Simulation führen wir an der Universität Stuttgart ein neues Paradigma in der Simulationswissenschaft ein“, erklärt Prof. Thomas Ertl, der Sprecher des Exzellenzclusters und Leiter des Instituts für Visualisierung und Interaktive Systeme der Universität Stuttgart. „Mit den klassischen Ansätzen stoßen wir bei der Simulation hochkomplexer Phänomene, zum Beispiel im Umweltbereich,



Simulationen sind inzwischen in vielen unterschiedlichen Gebieten unverzichtbarer Bestandteil von Forschung und Entwicklung. Sie tragen entscheidend zum technologischen Fortschritt bei.

Foto: Universität Stuttgart / VISUS

bei digitalen Menschmodellen oder bei neuen Materialien an Grenzen, die wir nur durch eine ganzheitliche Integration aller zur Verfügung stehenden Daten überschreiten können. Wir sind überzeugt, dass die in SimTech entstehenden neuen Methoden Forschung und Entwicklung in vielen Wissenschaftsbereichen grundlegend verändern werden.“

### Zukunftweisende Forschungsfragen

Die Ausrichtung des Exzellenzclusters auf Daten-integrierte Simulationswissenschaft steht für eine Vielzahl zukunftsweisender Forschungsfragen. Die vielen Daten, die heute aus Sensormessungen, Datenerhebungen, Experimenten und Simulationen zur Verfügung stehen, bieten neue und immer bedeutender werdende Möglichkeiten, Erkenntnisse zu gewinnen. Reine Datenanalysemethoden sind aber oft schwer nachvollziehbar und können bisher meist keine physikalischen Randbedingungen berücksichtigen. Tiefes Verständnis komplexer Systeme kann jedoch nur auf Basis naturwissenschaftlicher Prinzipien erzielt werden.

Daher wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Daten, die sie aus unterschiedlichen Quellen extrahieren können, systematisch in den Modellierung-Simulation-Analyse-Zyklus integrieren. Ihr

Forschungsziel ist eine neue Klasse von sowohl simulations- als auch datengetriebenen Ansätzen, die die Anwendbarkeit und Genauigkeit von Simulationen sowie die Verlässlichkeit der darauf basierenden Entscheidungen auf eine neue Stufe heben. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Simulation von Mehrphasenströmungen, von porösen Materialien und von mechanischen Strukturen und biologischen Systemen, aber auch übergreifende Aspekte aus dem Maschinellen Lernen, der Analyse von Unsicherheiten und aus adaptiven und ubiquitären IT-Infrastrukturen.

### Neues Denken für die gebaute Umwelt

Das Exzellenzcluster „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ stellt sich der Herausforderung, dass weltweit in den nächsten 35 Jahren neue städtische Bauten für 2,6 Milliarden Menschen zu schaffen sind. Doch die Produktivität der Bauindustrie stagniert seit Jahrzehnten, und bereits heute konsumiert der Bausektor mehr als 40 Prozent der globalen Ressourcen und Energie. Neue Ansätze für das Planen und Bauen sind dringend gefragt. Eine Lösung versprechen die digitalen Technologien, doch aufgrund der Kleinteiligkeit der Bauindustrie und einer zerglie-

Das Exzellenzcluster im Bereich Architektur will das Planen und Bauen neu denken und setzt dabei auf einen ganzheitlichen computerbasierten Ansatz.



Foto: Universität Stuttgart / ICD

derten Forschungslandschaft führen diese bisher nur isoliert und sehr langsam zu Verbesserungen. Das Exzellenzcluster hat sich daher vorgenommen, das Planen und Bauen neu zu denken und setzt dabei auf einen ganzheitlichen computerbasierten Ansatz, wegweisende Innovationen für das Bauschaffen zu ermöglichen.

„Architektur ist von zentraler Bedeutung für unsere Gesellschaft. Das Bauschaffen steht aber vor enormen ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen. Wir wollen durch einen integrativen und interdisziplinären Forschungsansatz das volle Potenzial digitaler Technologien erschließen, um die Grundlagen für wegweisende Innovationen und ein zukunftsfähiges Planen und Bauen zu schaffen“, betont Cluster-Sprecher Prof. Achim Menges, Leiter des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung (ICD) der Universität Stuttgart.

#### Übergeordnetes Co-Design

Eine zentrale Zielsetzung ist die Entwicklung einer übergeordneten Methodologie des „Co-Designs“ von Methoden, Prozessen und Systemen, basierend auf interdisziplinärer Forschung zwischen den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Ingenieurgeodäsie, Produktions- und Systemtechnik, Informatik und Robotik sowie Sozial- und Geistes-

wissenschaften. Im Zentrum der Forschung steht die Frage, wie sich neue digitale Technologien nicht allein für die Optimierung bestehender Prozesse und Systeme einsetzen lassen, sondern wie neuartige Entwurfs-, Planungs-, Fertigungs- und Bauansätze entwickelt werden können.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erwarten umfassende Lösungswege für die ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen, die durch schrittweise Ansätze nicht zu meistern sind. Damit wollen sie die Voraussetzungen für eine qualitätsvolle, lebenswerte und nachhaltig gebaute Umwelt sowie für eine digitale Baukultur schaffen. Ebenso soll die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im global größten Industriebereich gestärkt werden. Stützen können sie sich dabei auf die langjährige Vorreiterrolle und internationale Sichtbarkeit der Universität Stuttgart in Architektur und Bauingenieurwesen. Insbesondere fließen die Ergebnisse des DFG-Sonderforschungsbereichs SFB 1244 (Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen, Sprecher Prof. Werner Sobek) sowie des auslaufenden transregionalen Sonderforschungsbereichs SFB-TR 141 (Entwurf- und Konstruktionsprinzipien in Biologie und Architektur, Sprecher Prof. Jan Knippers) in die künftige Forschung ein.

red

## ... aufgespießt

### Spitzenplatz bei Drittmittel-einnahmen

655.400 Euro: So viele Drittmittel warben die Professorinnen und Professoren der Universität Stuttgart im Jahr 2016 nach jetzt veröffentlichten Zahlen des Statistischen Bundesamtes (Destatis) je Professur ein. Damit platzierte sich die Universität Stuttgart im bundesweiten Vergleich erneut auf Platz zwei. Die Fachgruppe mit den höchsten Drittmittel-einnahmen waren die Ingenieurwissenschaften.

Im bundesweiten Durchschnitt lagen die Drittmittel/Professur bei 258.000 Euro. Bei den Drittmitteln/Hochschule konnte sich die Universität Stuttgart vor weitaus größeren Einrichtungen auf Rang vier positionieren.

### Rektor wiedergewählt, neue Prorektoren

Universitätsrat und Senat wählten den bereits seit zwölf Jahren amtierenden Rektor, Prof. Dr. Wolfram Ressel, einvernehmlich für weitere sechs Jahre an die Spitze der Universität Stuttgart. Änderungen gibt es dagegen bei den Prorektoraten: Neuer Prorektor Lehre und Weiterbildung ist Prof. Dr. Hansgeorg Binz (Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design), Prof. Dr. Peter Middendorf (Institut für Flugzeugbau) ist neuer Prorektor für Wissens- und Technologietransfer.

### VR Expo in der ARENA2036

Eine Plattform, die industrielle Anwender, Technologieanbieter, Content-Dienstleister und Forscher aus den Bereichen Virtuelle Realität (VR) und Erweiterte Realität (AR) vernetzt – das bietet die VR Expo, ins Leben gerufen durch die Firma LIGHTSHAPE und das Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach. In diesem Jahr kamen als weitere Mitveranstalter die ARENA2036 und die Uni-

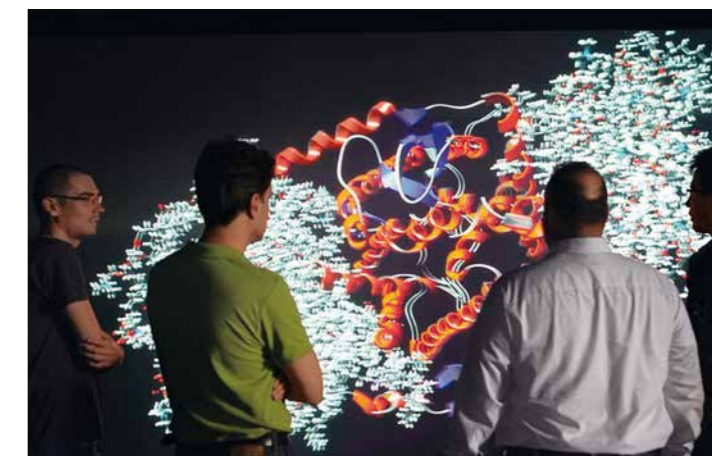


Foto: Universität Stuttgart / VISUS

versität Stuttgart hinzu, so dass die interaktive Ausstellung erstmals in der Forschungsfabrik der ARENA stattfand. Mit beteiligt waren auch die VR-/AR-Labore des Höchstleistungsrechenzentrums (HLRS) und des Visualisierungsinstituts (VISUS) der Universität Stuttgart sowie des Zentrums für Virtuelles Engineering (ZVE) des Fraunhofer IAO. Die rund 1.500 Besucher hatten bei 47 Ausstellern die Möglichkeit, ein breites Spektrum an Innovationen zu testen – von mobilen Smart Glasses und Head Mounted Displays bis hin zu großformatigen, hochauflösenden Powerwalls und CAVE-Systemen.



### Achtsame Computer

Andreas Bulling, neu berufener Professor für Mensch-Computer-Interaktion und Kognitive Systeme am Visualisierungsinstitut, erhielt kurz vor seinem Wechsel an die Universität Stuttgart einen ERC Starting Grant des Europäischen Forschungsrats. In seinem Projekt mit dem Titel „ANTICIPATE: Anticipatory Human-Computer Interaction“ sucht er nach neuen Benutzerschnittstellen zwischen Mensch und Computer, die der zwischenmenschlichen Interaktion nachempfunden sind. Um die proaktive Anpassung an zukünftigen Nutzerinteraktionen zu ermöglichen, werden dafür Aufmerksamkeit und Intentionen der Nutzer analysiert.



Foto: Privat

### AUSGEZEICHNET

### Herausragender Quantenchemiker

Die Gesellschaft Deutscher Chemiker verleiht Prof. Hans-Joachim Werner, Leiter des Instituts für Theoretische Chemie der Universität Stuttgart, den Erich-Hückel-Preis. Werner erhält die mit 7.500 Euro dotierte Auszeichnung für seine herausragenden Leistungen in der Theoretischen Chemie. Er gilt als einer der international renommiertesten Forscher auf dem Gebiet der Quantenchemie und ist insbesondere für seine zahlreichen methodischen Beiträge bekannt. Das federführend von ihm entwickelte Programmpaket MOLPRO für wellenfunktionsbasierte Elektronenstrukturrechnungen wird weltweit von über 500 Gruppen verwendet.

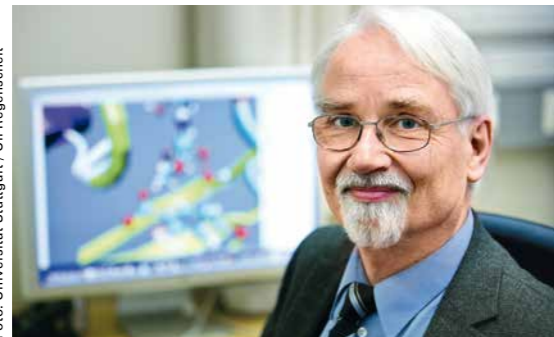


Foto: Universität Stuttgart / Uli Regenscheit

### Expertise im Ingenieurholzbau

Dr. Simon Aicher, Leitender Akademischer Direktor an der Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart und Leiter der Abteilung Holzkonstruktionen, wurde mit dem renommierten Carl-Olof Ternryd-Preis ausgezeichnet. Aicher erhielt den Preis in Würdigung seiner Leistungen im Bereich des Ingenieurholzbaus mit besonderem Bezug auf die Expertise in den Bereichen Klebstoffe, Holzklebungen,



Foto: Universität Stuttgart / MPA

tragende geklebte Holzkonstruktionen sowie insbesondere deren zerstörungsfreier Prüfung, Normung und Qualitätssicherung.

### Austausch in Südkorea

Mit einem interdisziplinären Alumni-Treffen sowie einem Science Day war die Universität Stuttgart Mitte September an der Hanyang Universität in Seoul zu Gast. Der Stuttgart-Hanyang-Science Day fand zum ersten Mal statt und drehte sich um Künstliche Intelligenz und Festkörper-Quantentechnologie. Teilnehmer waren unter anderem ehemalige Studierende, Doktoranden und Gastprofessoren, die die Stabsstelle Alumni der Universität Stuttgart zu einem Alumni-Treffen eingeladen hatte. Die Zusammenkunft der Ehemaligen war eingebettet in die Asien-Konzertreise des Universitätsorchesters anlässlich dessen 50-jährigen Bestehens.

Theoretisch  
bringt Ihnen die Uni  
alles bei.

Praktisch  
lernen Sie bei uns  
jeden Tag dazu.



Gemeinsam bringen wir die Dinge voran: Wir von der EnBW entwickeln intelligente Energieprodukte, machen unsere Städte nachhaltiger und setzen uns für den Ausbau erneuerbarer Energien ein. Und dafür benötigen wir tatkräftige Unterstützung.

Egal, ob Praxiseinsätze während des Studiums oder direkter Berufseinstieg danach – wir sind immer auf der Suche nach engagierten Talenten, die sich mit ihrem Fachwissen einbringen und zusammen mit uns die Energiezukunft gestalten. Im Gegenzug bieten wir spannende Aufgaben und vielfältige Entwicklungsmöglichkeiten.

Machen Sie jetzt mit: [www.enbw.com/karriere](http://www.enbw.com/karriere)



Wir machen das schon.



### Mobiles grünes Zimmer

Was passiert, wenn es in Zukunft nicht nur heißer, sondern auch trockener wird? An welchen Stellen erzielen Grünflächen die größte Wirkung, um den Temperaturanstieg zu puffern, und wie kann der Bedarf an Wasser für Grünflächen während sommer-



Foto: Helix

lichen Hitzewellen gedeckt werden? Diesen höchst aktuellen Fragen geht die Universität Stuttgart im Rahmen des neuen Forschungsprojekts „Integrierte Strategien zur Stärkung urbaner Blau-Grüner Infrastrukturen“ (INTERESS-I) auf den Grund. Die Forschenden wollen alternative Wasserressourcen identifizieren, deren Eignung für die Bewässerung ermitteln, Speichermethoden erproben und neue Formen eines klimawirksamen Stadtgrüns entwickeln. Als Vorgeschmack war im Oktober auf dem Campus Stadtmitte ein mobiles grünes Zimmer zu sehen.

### Weniger Medikamenten-Rückstände

Rückstände des weitverbreiteten Schmerzmittels Diclofenac belasten in großen Mengen die Umwelt. Ein Forscherteam um Prof. Bernhard Hauer vom Institut für Biochemie und Technische Biochemie der Universität Stuttgart konnte erstmals zeigen, wie sich Diclofenac im Boden abbauen lässt beziehungsweise was seinen Abbau behindert.

Ausschlaggebend für das Gelingen dieses Abbauprozesses ist das Zusammenspiel bestimmter Mikroorganismen. Eingeleitet wird der Zerfall der Verbindung durch eine sogenannte Carboxylierung, eine außergewöhnliche Reaktion in der Natur. Erst durch eine hochempfindliche Analytik gelang es, das Stoffwechselprodukt der Mikroben zu entdecken.

### Ambulante Hilfe auch bei Sturm

Wie kann die ambulante Versorgung von Pflege- und Hilfsbedürftigen sichergestellt werden, wenn Zufahrtswege zum Beispiel wegen Hochwassers oder eines längeren Wintersturms gesperrt und die Kommunikationsmöglichkeiten eingeschränkt sind? Das Institut für Arbeitswissenschaft (IAT) der Universität Stuttgart untersucht im Forschungsprojekt KOPHIS, wie die Versorgung durch strukturierte Zusammenarbeit relevanter Akteursgruppen – Behörden und Hilfsorganisationen wie Feuerwehren oder Technisches Hilfswerk (THW) sowie Pflegedienste – gelingen kann. Die Studienergebnisse sowie konkrete Empfehlungen und Anleitungen beschreibt der jüngst erschienene Handlungsleitfaden „Zusammenarbeit erfolgreich gestalten“.

### Asteroid nach SOFIA benannt

Große Ehre für SOFIA, das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie, dessen wissenschaftliche Betreuung in Deutschland an der Universität Stuttgart angesiedelt ist: Der Kleinplanet mit der Nummer 239672 wurde nach der fliegenden Sternwarte benannt. (239672) SOFIA zieht seine Bahnen im äußeren Hauptgürtel unseres Sonnensystems zwischen Mars und Jupiter; ein SOFIA-Jahr dauert 4,81 Erdjahre.

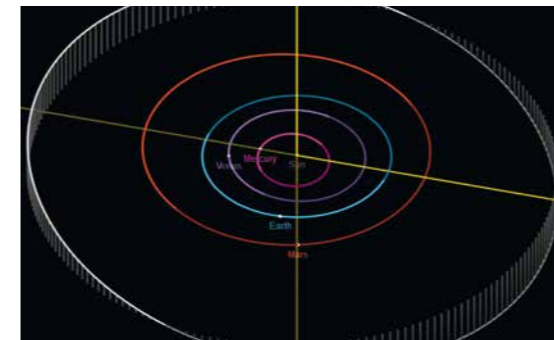


Foto: JPL Small Body Database Browser

### Qualitätsoffensive Lehrerbildung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt die Professional School of Education Stuttgart-Ludwigsburg (PSE) für weitere fünf Jahre mit rund 5,3 Millionen Euro. Gefördert werden damit die gemeinsamen Aktivitäten der Universitäten Stuttgart und Hohenheim, der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg, der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste Stuttgart und der Staatlichen Hochschule für Musik und Darstellende Kunst Stuttgart hinsichtlich einer erstklassigen Lehrerbildung. Unter dem Dach der PSE führen die Partnerhochschulen ihre Stärken in Fachwissenschaften, Fachdidaktiken, Bildungswissenschaften und Schulpraxis zusammen. Konkrete Themen sind Studienangebote, Evaluation und Qualitätssicherung, schulpraktische Studien, Naturwissenschaftlich-Technisches Lernen (MINT), Digitalisierung, Inklusive Bildung und Heterogenität sowie Lehr-Lern- und Schülerlabore im Lehramtsstudium.

Be-[Lufthansa.com/Technik](https://www.lufthansa.com/Technik)

## Do you want to run your own show?

A career at Lufthansa Technik offers some pretty unusual challenges. Like managing your own projects right from the start.

We're the world's leading aircraft maintenance and repair company, servicing multi-million euro contracts with major airlines and aviation companies. We need people like you who can take on their own clients and budgets, find creative solutions to problems and manage teams efficiently. If you have a diploma in engineering, economics or industrial engineering and management why not join us?

Whatever your interest you'll find plenty of scope for your talents. We'll give you a flexible work schedule, the benefits of a global company, a great working atmosphere and all the responsibility you can handle.

Be who you want to be  
Be-[Lufthansa.com](https://www.lufthansa.com)





## Spitze bleibt nur, wer die Zukunft mitgestaltet Der Gesundheitsindustrie steht ein Wandel bevor. Für Wissenschaft und Forschung bedeutet das ein Umdenken.

**Baden-Württembergs Gesundheitsindustrie steht bundesweit auf Platz 1. Doch Veränderungen wie Digitalisierung oder neue Zulassungsvorschriften stellen den Spitzenreiter vor Herausforderungen. Im Gastbeitrag erläutert der Geschäftsführer der Landesgesellschaft BIOPRO, Prof. Ralf Kindervater, in vier Thesen, was die Gesundheitsforschung tun sollte, damit Baden-Württemberg vorne bleibt.**

„Gesundheit!“. Das hört man zurzeit wieder öfter, schließlich haben wir die Jahreszeiten, in denen wir häufiger von Erkältungen heimgesucht werden. Wir sind heute in der glücklichen Situation, dass wir sehr viel für unsere Gesundheit tun und Krankheiten behandeln können. Der Wirtschaftssektor, der sich mit dem Thema Gesundheit befasst, ist die Gesundheitswirtschaft. Der produzierende Teil der Gesundheitswirtschaft ist die Gesundheitsindustrie mit den Branchen Biotechnologie, Pharmazeutische Industrie und Medizintechnik. Über 1.000 Firmen sind in der Gesundheitsindustrie Baden-Württembergs aktiv, sie produzieren, entwickeln, forschen. Apropos forschen – Forschung ist auch in der Gesundheitsindustrie die Basis für Fortschritt. Dieser zeigt sich in neuen Therapien, Diagnoseverfahren und technischen Geräten. Was wir heute über die funktionalen Zusammenhänge des Körpers wissen, über Krankheitsbilder und -ursachen, über Arzneien, Keime, Gene, Therapien, Diagnoseverfahren, über Umweltfaktoren wie Stress oder Ernährung sowie über Gesundheitsförderung verdanken wir der Forschung. Das Spektrum der Forschungsdisziplinen rund um Gesundheit ist groß: Biologie, Biotechnologie, Pharmazie, Medizintechnik, Informatik, Physik, aber auch Sport und Ernährungswissenschaften sind einige Beispiele.

Die Tatsache, dass Forschung unabdingbar ist für die Gesundheit, bedeutet gerade nicht, dass alles

so bleibt, wie es ist. Es zeichnet sich ab, dass einige Veränderungen auf den akademischen Wissenschaftsbetrieb und die Forschung in Unternehmen zukommen werden. Anhand von vier Thesen will ich diese Veränderungen skizzieren.

### These 1: Daten sind das neue Kapital

Diese These ist nicht neu. Google, Facebook, Apple, Amazon, IBM sind nur eine Handvoll Beispiele für die ökonomische Bedeutung von Daten. Es sind IT-Unternehmen, sie nutzen Codes, Content, Connections und CPUs, um Daten zu analysieren, aufzubereiten und anzuwenden. Alle Branchen arbeiten in irgendeiner Weise mit Daten, die Gesundheitsindustrie macht da keine Ausnahme. Was sich jedoch verändert, ist die Bedeutung von Daten in der Gesundheitsforschung. Bislang standen einem Arzt zur Behandlung von Krankheiten viele Diagnoseverfahren, Medizintechnikgeräte und pharmazeutische Wirkstoffe zur Verfügung. Verwendet man die englischen Bezeichnungen, landet man bei den drei Ds: diagnostic devices, medical devices, drugs. Nun kommt ein viertes D hinzu: data. Für die Gesundheitsforschung bedeutet das einen grundlegenden Wandel. Bislang konzentrierten sich Forscher auf Verfahren, Geräte oder Wirkstoffe. Es gab wenig Vernetzung zwischen diesen Bereichen, denn der Arzt setzte die jeweiligen Hilfsmittel eher sukzessive im Sinne eines abgestuften Prozesses ein. Zuerst ein Bluttest (diagnostic device), dann der Ultraschall (medical device), danach war die Diagnose abgeschlossen und es erfolgte die Therapie mit einem Medikament (drug). Prof. Jochen Maas vom Pharmaunternehmen Sanofi zeigte kürzlich auf einer Veranstaltung der BIOPRO Baden-Württemberg Beispiele für die Verknüpfung von Diagnose, Gerät und Medikament. Dazu zählt eine Insulinpumpe, die automatisch die richtige Menge Insulin in den Körper des Patienten abgibt. Der Blutzuckerspiegel wird über einen Sensor im Körper des Patienten

erfasst, bei Bedarf wird die Insulinpumpe aktiviert. Diagnostik, Medizintechnik und pharmazeutischer Wirkstoff agieren im Takt. Es gibt jedoch im Pharmaumfeld kaum Unternehmen, die diesen Dreiklang beherrschen. Wenn nun große Datenmengen Einzug halten in die Gesundheitsforschung, wird es für etablierte Unternehmen der Gesundheitswirtschaft nicht gerade einfacher, das eigene Portfolio weiterzuentwickeln. Datenaffine Unternehmen wie Google oder Apple arbeiten an selbstfahrenden Autos – man kann dies als Beleg dafür sehen, dass diese Unternehmen kaum Berührungspunkte kennen mit anderen Branchen. Sie agieren in einer großen Abstraktionshöhe, sie erkennen Datenpools, denken über deren Nutzung nach und entwickeln neue Anwendungen. Die Gesundheitsforschung muss also über bisherige Analyse- und Diagnoseparameter hinausblicken. IT-Themen wie künstliche Intelligenz, Internet of Things, Virtual und Augmented Reality müssen auch für Anwendungen in der Gesundheitswirtschaft gedacht werden. Und für das Gesundheitsbild gilt es, weitere Daten zu berücksichtigen und zu verarbeiten. Welche das sind, wie sie genutzt und wie sie geschützt werden sollen, ist ein Auftrag an die Forschung.

Die Hochschulforschung muss die Kapazitäten am Campus in neuer Weise einsetzen. Bislang wurden Höchstleistungsrechner vor allem von Ingenieurwissenschaften genutzt. Die Begehrlichkeiten nach Rechenleistung wachsen nun aber auch in den Lebens- und Gesundheitswissenschaften, denn die Verknüpfung von Biowissenschaften, Informatik und Mathematik ist unter dem Stichwort Systembiologie bereits in vollem Gange. Sie hat das Ziel, die komplexen Vorgänge in Zellen mithilfe von mathematischen Modellen und Simulationen abzubilden. Die Datenmengen, die bei der Simulation von Stoffwechselkaskaden oder von Signalwegen in Zellen anfallen, sind enorm. Aber sie bringen Ergebnisse, die in der Praxis genutzt werden können. In der Biotechnologie sind



„Professoren sollten aufmerksam sein für Gründungspotenziale, sie sollten ihre Studierenden für Chancen und Gelegenheiten sensibilisieren und motivieren.“

Prof. Ralf Kindervater, Geschäftsführer der BIOPRO Baden-Württemberg GmbH

”

diese datenbasierten Verfahren schon angekommen. In der Gesundheitsforschung sollten wir nicht auf diese neuen Methoden verzichten.

### These 2: Medizinische Forschung muss Regulierung von Beginn an mitdenken

Die Regulierungsvorgaben in Medizintechnik und pharmazeutischer Industrie sind anspruchsvoll. Der Fortschritt hat inzwischen sogar Situationen geschaffen, in denen beide Bereiche, also Pharma und Medizintechnik, ineinandergreifen. In diesen Fällen muss entschieden werden, ob ein Produkt mehr den Charakter eines Medikaments hat oder eher eine medizintechnische Anwendung ist. Hinzu kommt: Insbesondere die Zulassungsmodalitäten bei Medizinprodukten sind momentan stark im Umbruch.

Es kann also passieren, dass ein Produkt überraschend in einer medizintechnischen Hochrisikoklasse landet, obwohl das bei Start der Entwicklungsarbeit gar nicht beabsichtigt war. Damit muss es viel höhere Anforderungen bei der Zulassung erfüllen, der Aufwand steigt und die Wirtschaftlichkeit wird fraglich. Über die feinen Differenzierungen der Regulation und ihre Folgen müssen Forscher informiert sein. Es sollten deshalb Anlaufstellen geschaffen werden, wo Fragen zur Zulassung schon in frühen Stadien der Forschungsarbeit geklärt werden können. Für Wissenschaftler, die in der medizinischen Forschung aktiv sind, verändert sich damit auch die Leitfrage: Sie lautet nicht mehr: „Ist das machbar?“, sondern: „Wie kann man das durch die Zulassung bringen?“ Letztlich markieren nämlich die Zulassungskriterien den Rahmen für die Machbarkeit – nicht die technische Finesse. Mehr Unterstützung in Regulierungsfragen bereits von Beginn an würde die Forschung insbesondere in der Medizintechnik effizienter und schneller machen.

### **These 3: Wissen über Gründung gehört in die Hochschulausbildung**

Es gibt in jedem Studienjahr ein immenses Potenzial an Gründern, die mit ihren Ideen Technologien und Märkte verändern können. Einige werden ihr Leistungsvermögen entfalten, doch die meisten werden ihre Ideen verwerfen und ihre berufliche Zukunft abseits der Gründerzentren und Innovation-Highways suchen. Für die Gesundheitswirtschaft und die Patienten sind das große Verluste, die dazu führen können, dass bestimmte Diagnoseverfahren oder Therapien erst später kommen oder anderswo entwickelt werden. Zwischen Januar 2015 und Juni 2018 wurden in Baden-Württembergs Gesundheitsindustrie 50 Unternehmen gegründet, etwa die Hälfte sind Biotechnologieunternehmen, die neue Therapeutika entwickeln. Das ist ermutigend – sowohl für potenzielle künftige Therapieer-

folge als auch für den Standort. Aber es dürften aus meiner Sicht gerne einige mehr sein.

Wir haben bereits Strukturen und Programme, die Gründungen begleiten. Dennoch hat aus meiner Sicht die Startup-Kultur noch zu wenige Unterstützer auf Institutsebene. Gerade weil der Gesundheitssektor so stark reguliert ist und eher abschreckend auf junge Unternehmer wirkt, brauchen wir Begeisterung für Startups. Professorinnen und Professoren sollten aufmerksam sein für Gründungspotenziale, sie sollten ihre Studierenden für Chancen und Gelegenheiten sensibilisieren und motivieren. Noch besser wäre es, wenn das Thema Unternehmensgründung ein fester Bestandteil der akademischen Ausbildung würde. Dann würde es endlich zu dem werden, was es sein sollte: ein in den Hochschulen verankertes strategisches Instrument zur Wirtschaftsförderung am Hightech-Standort Deutschland.

### **These 4: Belohnt Kooperation und Netzwerken mit einem Impactfaktor**

Blickt man auf die Fragen, mit denen sich die Gesundheitsindustrie befasst, muss man zu dem Schluss kommen, dass die Lösungen heute nicht mehr auf der Ebene eines einzelnen Instituts oder Lehrstuhls erarbeitet werden können. Bei Krankheiten wie Krebs können wir kaum mehr von einem Krankheitsbild sprechen. Die zell- und molekularbiologischen Verflechtungen, die vielen Folgen für den Organismus lassen eher an eine Collage aus hunderten von Bildern denken, so vielschichtig sind die Einflussfaktoren. Dank der technologischen Weiterentwicklungen und des hohen Wissensstandes können wir heute unzählige Blickwinkel einnehmen. Und dennoch haben wir oft den Eindruck, nur einen Ausschnitt des Geschehens zu erkennen. Um die Gesundheitsforschung weiter voranbringen zu können, werden wir in Zukunft mehr denn je darauf angewiesen sein, dass wir langfristige Ko-

operation anbahnen, nutzen und immer wieder neu anschieben. Wir brauchen viele Akteure, damit wir die unterschiedlichen Perspektiven auf ein Krankheitsgeschehen einnehmen können. Wir brauchen mehr Verbünde und mehr Zusammenarbeit über Verbünde hinweg, weil mehr Fachdisziplinen teilhaben müssen.

Wir machen bei der BIOPRO Baden-Württemberg in unserer Rolle als Innovationsagentur immer wieder die Erfahrung, dass viele Akteure nichts voneinander wissen, aber inhaltlich sehr gut zusammenpassen würden. Das gilt im Bereich der Gesundheitswirtschaft besonders für die Vernetzung zwischen Akademie und Wirtschaft. Offenbar hat die alte Leier von der Notwendigkeit der Vernetzung noch immer nichts an Aktualität verloren. Was wir beim Netzwerken oft vergessen: Schnelle Erfolge sind selten. Das Engagement in einem Netzwerk verlangt nämlich zwei Dinge: viele Besuche und die Bereitschaft, sich einzubringen.

Die Wissenschaft führt als Qualitätsmerkmal gerne den Journal Impact Factor an, also den Rang, den eine Fachzeitschrift einnimmt, in der man seine Ergebnisse publiziert. Man kann zu dieser Praxis stehen, wie man will. Aber: Wenn Gesundheitsforschung ihre Wirkung dort entfalten soll, wo die Wirkung dringend gebraucht wird, nämlich beim Menschen, dann ist Vernetzung wichtiger als der Rang eines Fachmagazins. Wir sollten zuerst unseren Network Impact Factor steigern, danach können wir uns mit den Journalranglisten beschäftigen. Die Gesundheitsindustrie in Baden-Württemberg steht in Deutschland auf Platz 1 bei den Erwerbstätigen, der Bruttowertschöpfung und beim Exportvolumen. 88.026 Beschäftigte erarbeiten 2017 eine Bruttowertschöpfung von 16,5 Milliarden Euro. Es gibt also nichts zu meckern. Damit ist aber, ganz schwäbisch, schon genug gelobt. Und auf Lob soll man sich bekanntlich nicht ausruhen.

*Prof. Dr. Ralf Kindervater*

► **Prof. Dr. Ralf Kindervater promovierte als Diplom-Chemiker der Fachrichtungen Biochemie und Biotechnologie an der Technischen Universität Braunschweig über eine Arbeit im Bereich Enzymtechnologie der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH in Braunschweig.**

**Nach Stationen an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen und dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik in Stuttgart war Kindervater in Interimsvorstands- und Geschäftsführungspositionen in mehreren Biotech-Unternehmen tätig.**

**Seit 2003 ist er Geschäftsführer von BIO-PRO Baden-Württemberg GmbH in Stuttgart für die Bereiche Gesundheitsindustrie und Bioökonomie. Als Honorarprofessor ist Kindervater seit November 2014 am Karlsruher Institut für Technologie in der Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik tätig.**

## Gläserner Tumor Über die Systembiologie zur personalisierten Krebstherapie

**Neue Krebsmedikamente, die auf den Patienten und seinen Tumor abgestimmt sind, lassen Betroffene heute meist deutlich länger leben. Doch bei vielen Krebskranken wirken selbst zielgerichtete Medikamente nicht. Am Stuttgart Research Center Systems Biology (SRCSB) der Universität Stuttgart analysieren Forscher die Tumorzelle als Ganzes in all ihrer Komplexität. Das Wissen nutzen sie, um die Wirksamkeit solcher Medikamente vorherzusagen – für neue Therapieansätze, aber auch, um Wirkstoffkandidaten schneller entwickeln zu können.**

Es ist längst bekannt, dass Tumore so verschieden sind wie die Menschen, die von Krebs betroffen sind. Auch bei einem Menschen können sich die Krebszellen voneinander unterscheiden. Anstelle der chemischen Keule für alle, der Chemotherapie, treten daher zunehmend Krebsmedikamente, die gezielt individuelle, tumortreibende Veränderungen der Krebszelle angreifen. Doch auch solche personalisierten Therapien wirken oft nur kurzfristig, manchmal gar nicht.

Es reicht meist nicht aus, bei einem Patienten nach bestimmten Biomarkern zu suchen – etwa nach Genmutationen in seinem Tumor oder nach bestimmten, verstärkt oder vermindert gebildeten tumorrelevanten Proteinen –, um sicher zu sein, dass eine darauf angepasste Behandlung erfolgreich sein wird. Dafür ist die Tumorbiologie viel zu komplex. „Das ist, als ob ich ein Radio auseinanderbaue und alle Bauteile auf dem Tisch ausbreite. Die Funktion ergibt sich erst, wenn ich den ganzen Haufen in einer bestimmten Art und Weise in Verbindung bringe“, erklärt Markus Morrison, Leiter des Instituts für Zellbiologie und Immunologie. Künftig wird es darum gehen, nicht nur einzelne Puzzlestücke zu betrachten, sondern den Tumor in seiner Gänze zu

verstehen, um gezielter wirkende Medikamente zu entwickeln. Diese Disziplin heißt Systembiologie. Morrisons zellbiologisch und systembiologisch geprägte Forschungsgruppe beschäftigt sich mit den komplexen Signalwegen in Zellen, die das Zellschicksal besiegeln, das heißt, ob sie sich teilt oder Selbstmord begeht. Bei Krebs sind diese Signalwege oft fehlerhaft und die Zellen fangen an, sich unkontrolliert zu teilen. Dabei weisen Tumorzellen in der Regel viele Mutationen in unterschiedlichen Signalwegen auf, die häufig miteinander vernetzt sind. Nur einen Signalweg medikamentös zu beeinflussen, kann das Tumorstadium daher kaum aufhalten.

**Signalgezwitscher in Tumorzellen verstehen**  
Normalerweise scannt jede Zelle über Rezeptoren ununterbrochen ihre Umgebung ab. Die Information über äußere Reize, etwa einen Wachstumsreiz oder ein Stresssignal, leitet sie innerhalb der Zelle über eine Reihe von Botenmolekülen weiter. Währenddessen verzweigt sich der Informationsfluss, wird verstärkt oder nimmt Informationen aus anderen Signalwegen auf. Erreicht die Summe aller Signale einen bestimmten Schwellenwert, münden die Informationsflüsse in den Befehl, entweder die Zelle auf Wachstum einzustellen oder den programmierten Zelltod einzuleiten.

Bei all dem Signalwirrwarr kann man leicht den Überblick verlieren. Morrisons Gruppe füttert daher leistungsfähige Computer mit gewaltigen Datenmengen. Daten aus eigenen Zell- und Tierexperimenten zur Menge von Signal-Botenstoffen verknüpfen sie mit Informationen, wie die Botenstoffe miteinander vernetzt sind, und ergänzen sie um klinische Daten von Krebskranken und deren Tumormerkmalen. Daraus können sie – analog zum Radio – Schaltbilder für Krebszellen aufstellen und am Computer das Signalnetzwerk und Änderungen daran virtuell ablaufen lassen.

Per virtuellem Signalnetzwerk und Computersimulation lassen sich neue Wirkstoffe schneller und kostengünstiger entwickeln. Wollte man alle möglichen Änderungen am Wirkstoff rein experimentell untersuchen, wäre dies enorm zeitaufwendig und praktisch nicht zu bewältigen.

„Basierend auf den mathematischen Modellen versuchen wir vorherzusagen, ob bestimmte Krebszelllinien oder Tumore auf ein Medikament ansprechen werden oder welches die bestmögliche Strategie ist, um den Tumor wieder sensitiver zu machen“, sagt Morrison. Bei Darmkrebs- und Hautkrebszellen in Kultur liegen die Forscher mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 bis 85 Prozent mit ihrer Vorhersage richtig. Das sei schon sehr gut, so Morrison. Die Simulationen überprüft Morrisons Team wiederum experimentell, so dass sie die Modelle immer genauer einstellen können. Künftig könnten die Vorhersagen helfen, Patienten vor unwirksamen Therapien und ihren Nebenwirkungen zu bewahren. Doch das virtuelle Signalnetzwerk lässt sich auch dazu nutzen, neue Wirkstoffe schneller und kostengünstiger zu entwickeln, weil ihre Wirkung auf das Signalnetzwerk von Tumorzellen am Computer simuliert werden kann. Wollte man alle möglichen Eingriffe in das Netzwerk oder Änderungen am Wirkstoff rein experimentell untersuchen, wäre dies enorm zeitaufwendig und praktisch nicht zu bewältigen.

### Todesbote neu designt

Einen vielversprechenden Wirkstoffkandidaten haben die Gruppen „Biomedizinische Entwicklung“

von Roland Kontermann und „Zellbiologie“ von Morrisons Vorgänger Klaus Pfizenmaier am Institut zusammen entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Fusionsprotein, das Krebszellen gezielt in den Selbstmord, die sogenannte Apoptose, treibt. Als Vorbild haben sich die Biologen das Protein TRAIL (für TNF-related apoptosis inducing ligand) genommen, das von bestimmten Immunzellen gebildet wird und in Krebszellen Apoptose auslöst, aber auf normale gesunde Zellen kaum einen Effekt hat. „Tumorzellen stehen quasi schon am Abgrund. Man muss sie nur ein bisschen anschubsen. Bei gesunden Zellen muss man sich schon mehr anstrengen, weil sie sich besser schützen können“, erklärt Kontermann. Klinische Studien mit dem natürlichen Todesboten verliefen bisher allerdings enttäuschend. Um die Zelltodmaschinerie in Krebszellen effektiver anzustoßen, haben die Protein-Ingenieure um Kontermann zunächst die drei Untereinheiten von TRAIL gentechnisch zu einer einzigen Molekülkette aneinandergehängt. Zwei dieser Ketten fusionierten sie, so dass das entstandene Designerprotein gleich sechs Todesrezeptoren auf den Krebszellen aktiviert. Anschließend hängten sie noch ein Antikörper-Fragment an, das spezifisch an bestimmte Oberflächenmoleküle auf Tumorzellen bindet und



Foto: Universität Stuttgart/Max Kowienko

so den Wirkstoff zielsicher an seinen Wirkungsort dirigiert. „Das sieht in Kulturen von Darmkrebs- und Hautkrebszellen vielversprechend aus. Auch in Maus-Tumormodellen zeigt das TRAIL-Fusionsprotein sehr gute Aktivitäten“, sagt Kontermann. Mittlerweile hätten drei Firmen Interesse angemeldet, den Wirkstoff in klinischen Studien weiterzuentwickeln. Unterdessen versuchen die Forscher um Kontermann und Morrison, Tumorzellen durch eine Kombination des TRAIL-Fusionsproteins mit Chemotherapeutika und neueren Substanzen vollends aus dem Gleichgewicht zu bringen, um ihnen so den Todesstoß zu verpassen. Parallel hierzu erweitert Morrisons Team seine Vorhersagemodelle auch für die Kombinationstherapie.

**Fehlgeleitete Genschalter als Krebsursache**  
Einen anderen Ansatz auf dem Weg zur personalisierten Krebstherapie verfolgt Albert Jeltsch, Leiter

der Abteilung Biochemie am Institut für Biochemie und Technische Biochemie. Der 52-Jährige beschäftigt sich mit den reversiblen Mechanismen, die regeln, wann im Zellkern welche Gene ein- und ausgeschaltet werden, ohne dabei die Erbinformation zu verändern. Dieser zweiten Informationsebene über der DNA, der Epigenetik, ist es zu verdanken, dass unser Körper die unterschiedlichsten Zelltypen hervorbringt und Zellen flexibel auf Umwelteinflüsse wie Hunger oder Traumen reagieren können. Manchmal treten hierbei auch Fehler auf. Werden versehentlich Gene stumm geschaltet, die das Wachstum und die Zellteilung kontrollieren, oder wenig aktive Wachstumsgene angeschaltet, kann das die Krebsentstehung befeuern. Ob Gene abgelesen werden, hängt von kleinen chemischen Gruppen an der DNA oder den DNA-Verpackungsproteinen im Zellkern ab, die von Enzymen dort angehängt oder entfernt werden. Heften Enzyme Methylgruppen an



Die Professoren Albert Jeltsch, Roland Kontermann und Markus Morrison (v. l. n. r.) sind am Stuttgart Research Center Systems Biology der Komplexität der Tumorzelle auf der Spur.

Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko



Abbildung: Universität Stuttgart/SCSB

Die zell- und systembiologisch geprägte Forschungsgruppe um Prof. Morrison beschäftigt sich mit den Signalwegen in Zellen, die das Zellschicksal besiegeln. Das heißt, ob sie sich teilt oder Selbstmord begeht.

den DNA-Baustein Cytosin im Startbereich eines Gens, versperren diese in der Regel der Gen-Lesemaschinerie den Weg. Andererseits bewirken Methyl-, Acetyl-, Phosphat- oder Ubiquitin-Anhängsel an den Verpackungsproteinen, den Histonen, dass sich der zwei Meter lange DNA-Faden perlenschnurartig mal fester und mal loser um einzelne Histonkomplexe wickelt. Gene auf dicht gepackten Erbgutbereichen werden ebenfalls nicht abgelesen und sind quasi stumm geschaltet. Mehr als 60 verschiedene epigenetische Marker kennen die Forscherinnen und Forscher inzwischen. Hinzu kommt, dass bestimmte Modifikationen meist in Gruppen zusammenwirken, die sich gegenseitig beeinflussen. „Wir verfügen über 100-mal mehr epigenetische als genetische Informationen, weil der menschliche Körper aus etwa 200 Zelltypen besteht, die unterschiedliche epigenetische Marker tragen“, sagt Jeltsch. Eines der Ziele des Biochemikers ist es, etwas Ordnung in den Dschungel an Modifikationen zu bringen und zu verstehen, welche Kombination epigenetischer Marker sich wie auswirkt und womöglich Krebs fördert.

**Katalogisierungswerkzeug für Veränderungen**

Einen ersten systembiologischen Schritt in diese Richtung ging die Gruppe um Jeltsch, indem sie ein neues Werkzeug entwickelt hat, um erstmals zwei benachbarte epigenetische Marker auf Histonen gleichzeitig detektieren zu können. Es ist inzwischen zum Patent angemeldet. Der Clou: Jeltschs Team fusionierte zwei unterschiedliche Lesedomänen epigenetischer Proteine, die sich spezifisch an Histone heften, wenn diese bestimmte Marker

tragen. Theoretisch können die Forscher verschiedene Lesedomänen beliebig miteinander kombinieren und so alle möglichen Paar-Kombinationen von Histonmodifikationen über das komplette Erbgut hinweg analysieren. Bislang mussten Forscher epigenetische Markerpaare in zwei aufeinanderfolgenden Schritten mit spezifischen

Antikörpern aufspüren. „Mit unserem Ein-Schritt-Prozess sind wir schneller und brauchen weniger Ausgangsmaterial“, sagt Jeltsch. Außerdem könnten die Eigenschaften von Antikörpern von Charge zu Charge variieren, so dass die Experimente nicht immer reproduzierbar seien.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt von Jeltsch sind Methyltransferasen, die Methylgruppen an DNA oder Histone anheften. Bei einigen Krebskranken hat man Mutationen in diesen epigenetischen Enzymen gefunden. Das Team um Jeltsch interessiert, wie sich diese Mutationen auf die Funktion der Methyltransferasen auswirken. „Wenn wir verstehen, was da passiert, können wir bei Patienten, die diese Mutation haben, im Idealfall die Therapie danach richten“, sagt Jeltsch. So könnten bei manchen Mutationen Methyltransferase-Hemmer sinnvoll sein. Das wäre im wahrsten Sinne personalisierte Medizin.

So fanden die Forscher beispielsweise erst kürzlich heraus, dass die häufigste Mutation der DNA-Methyltransferase DNMT3A bei einer bestimmten Form der Leukämie zu einem veränderten DNA-Methylierungsmuster führt. Da Methyltransferasen über das gesamte Genom hin-

weg wirken, könnte ein verändertes Methylierungsmuster viele für Krebs relevante Gene betreffen. In dem Experiment hatten die Forscher zunächst nur 56 verschiedene DNA-Stellen untersucht. Nun geht es darum, im gesamten Erbgut herauszufinden, welche Methylierungsstellen fehlerhaft markiert sind und welche Gene davon betroffen sind. „Die experimentell erbrachten Einzeldaten müssen dann wieder miteinander verbunden werden. Dafür braucht es die Kollegen von den Systemwissenschaften, die das Ganze als Netzwerk betrachten, um herauszufinden, wie all diese Modifikationen zusammenhängen und zu einer Krankheit wie

Die Forscher rücken den Tumorzellen per Mikroskop und Bildanalyse zu Leibe, um – frei nach Goethe – zu erkennen, „was die Welt im Innersten zusammenhält“.

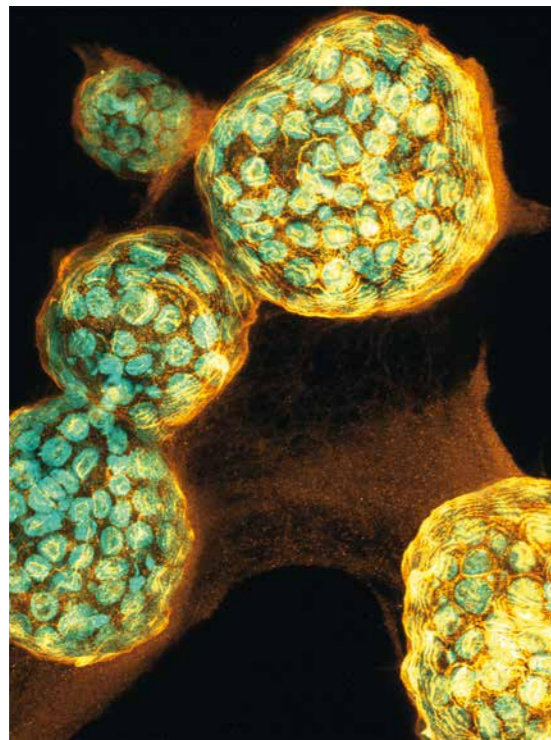


Abbildung: Universität Stuttgart/ SRCSB

Krebs führen“, sagt Jeltsch. Wer Einblick in das Netzwerk der Tumorzelle hat und weiß, an welchen Stellschrauben er drehen kann, findet auch eher die Achillesferse des Tumors.

**Fachgrenzen einreißen für neue Einsichten**

Um den fachlichen Austausch zwischen Biowissenschaftlern, Systemwissenschaftlern und Ingenieuren zu erleichtern, wurde an der Universität bereits 2005 das bundesweit erste Zentrum für Systembiologie eingerichtet. Die jetzige Nachfolgeorganisation, das SRCSB, umfasst Mitglieder aus 19 Instituten und acht Fakultäten. Sowohl Jeltsch als auch Morrison gehören dem sechsköpfigen Führungsgremium an. Dabei konzentriert sich das Zentrum nicht nur auf neue Wirkstoffe und Methoden zur Krebsbehandlung, sondern auch auf Anwendungen in der industriellen Biotechnologie. Beispielsweise manipulieren andere SRCSB-Mitglieder gezielt den Stoffwechsel von Mikroorganismen, um gewünschte Produkte herzustellen.

Dem Austausch zuträglich sind die regelmäßigen Treffen am Zentrum wie die Seminarreihe „Systembiologie“, Tagungen, aber auch Praktika und Workshops zum Thema für den wissenschaftlichen Nachwuchs. „Da kommt man zwangsläufig mit den Inhalten der anderen Disziplinen in Berührung, was natürlich den eigenen Horizont erweitert“, findet Morrison. Viele interdisziplinäre Projekte wären ohne das SRCSB gar nicht zustande gekommen, sind sich Morrison und Jeltsch einig. Einerseits wüssten die Biowissenschaftler sonst gar nicht, was etwa die Systemwissenschaftler an der Universität gerade erforschen. Andererseits sei es ein Vorteil bei Drittmittelanträgen. „Die Expertise für mathematische Modelle zur Vorhersage von Therapieansprechen würde man nicht an einem Institut für Zellbiologie vermuten. Das SRCSB hingegen kann einen Gutachter davon überzeugen, dass die Expertise vor Ort da ist“, sagt Morrison. In der aktuellen fünfjährigen

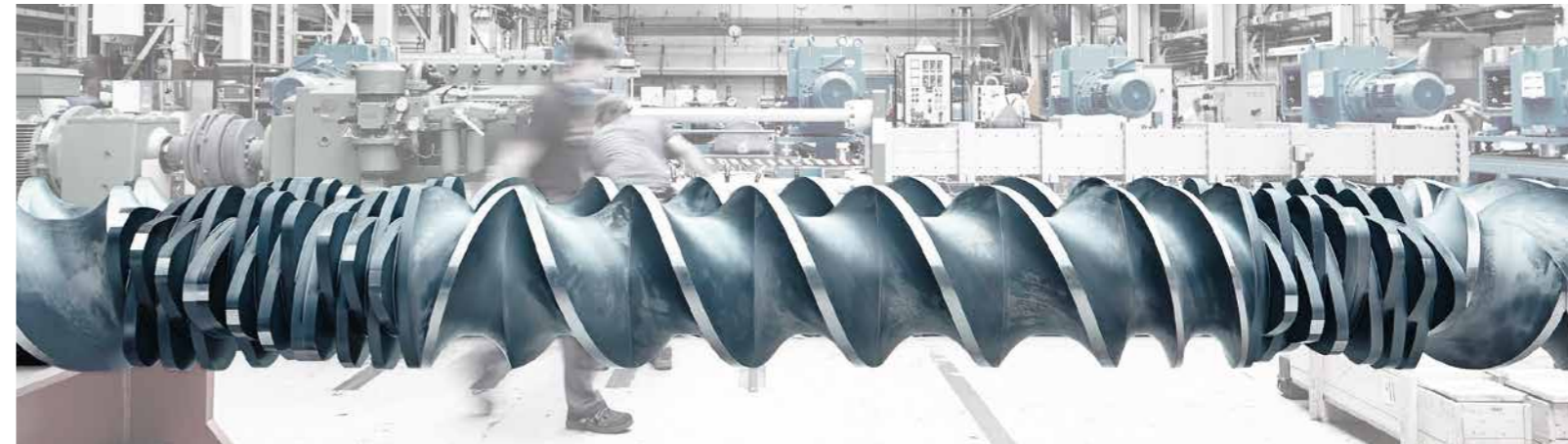
Förderperiode, die Ende des Jahres ausläuft, gelang es den Mitgliedern, über 60 Projekte im Bereich der Systembiologie und synthetischen Biologie einzuwerben.

Die Forschung von Jeltsch und Morrison hat auch von der Sammlung von Mikroskopen und Großgeräten zur Bildanalyse und Zellsortierung profitiert, die die Institute einbringen und die ein Verantwortlicher des SRCSB zentral verwaltet und wartet. Dieser berät und unterstützt außerdem die Forschenden bei ihren Messungen. „In der Regel gibt es niemanden, der sich ausschließlich damit beschäftigt und die Leute gut antrainiert“, erzählt Morrison. In der kommenden Förderperiode will das SRCSB eine ähnliche Technologieplattform

etablieren, um Proteine und Stoffwechselprodukte systembiologisch untersuchen zu können.

In den vergangenen Jahren haben sich die Biowissenschaften an der Universität Stuttgart immer stärker gewandelt, von den klassischen Themengebieten hin zu systemorientierten Forschungsansätzen. Das spiegelt sich allein schon in neuen Lehrstühlen wie Computational Biology oder künftig Systembiologie. „Wenn wir in Stuttgart den Fokus auf Systembiologie setzen und international Strahlkraft haben wollen, geht das nur im Rahmen einer Struktur wie dem SRCSB“, ist Morrison überzeugt. Davon profitieren könnte auch die Krebsforschung.

*Helmine Braitmaier*



**KARRIERE BEI COPERION. EINE ENTSCHEIDUNG FÜR DIE ZUKUNFT.**

Seit über 125 Jahren arbeiten wir an technologisch höchst anspruchsvollen Compoundier- und Extrusionsanlagen überall auf der Welt. Unser Versprechen „confidence through partnership“ begleitet uns nicht nur in der Zusammenarbeit mit Kunden oder externen Partnern, sondern auch dann, wenn es darum geht, neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für uns zu begeistern.

Coperion als Arbeitgeber: Das sind hervorragende Perspektiven an den verschiedensten Standorten weltweit. Sie erwarten vielfältige Tätigkeitsbereiche, abwechslungsreiche Aufgaben und ideale Bedingungen für Ihre berufliche und persönliche Entwicklung in einem internationalen Umfeld. [www.coperion.com/karriere](http://www.coperion.com/karriere)



## Ermittlungen in Sachen Nahrung

### Jens Brockmeyer spürt Allergene und gefälschte Lebensmittel auf

**Bei einer Nahrungsmittelallergie müssen Betroffene verdächtige Lebensmittel in der Regel vollständig meiden. Jens Brockmeyer möchte stattdessen die auslösenden Allergene direkt nachweisen und verstehen, was ein Protein zu einem Allergen macht. Als „Spürhund“ nutzt er vor allem das Massenspektrometer. Seit 2016 leitet der Professor die neu geschaffene Abteilung Lebensmittelchemie am Institut für Biochemie und Technische Biochemie der Universität Stuttgart.**

Jens Brockmeyers Aufmerksamkeit gehört dem Proteinpool in Lebensmitteln, der Proteomik. Unter den Lebensmittelproteinen spürt er die Übeltäter auf, die bei Lebensmittelallergien eine immunologische Reaktion auslösen. Hierzulande reagiert fast jeder Zwanzigste allergisch auf mindestens ein Lebensmittel. Die häufigsten Auslöser sind Milch, Ei, Soja, Weizen, Erd- und Baumnüsse, Fisch sowie Krustentiere. Bei manchen Allergikern lösen schon minimale Spuren eine allergische Reaktion bis hin zum anaphylaktischen Schock aus. Andere können vergleichsweise viel verzehren, bis sie das erste Kribbeln oder Jucken verspüren.

„Aktuell haben wir das Problem, dass auf vielen Lebensmitteln nur die Kennzeichnung zu lesen ist: ‚Kann Spuren von ... enthalten‘“, ärgert sich Brockmeyer. Mit der Aufschrift kennzeichnen Hersteller vorsichtshalber Lebensmittel, wenn zu befürchten ist, dass diese während der Herstellung oder beim Abfüllen unbeabsichtigt mit allergieauslösenden Lebensmitteln in Berührung kommen könnten. Ob und in welcher Konzentration tatsächlich Allergene enthalten sind, bleibt unklar. Wollen Allergiker eine Reaktion sicher verhindern, müssen sie die verdächtigen Lebensmittel meiden. „Das schränkt den Alltag vieler Allergiker massiv ein“, sagt Brockmeyer.

Besser wäre es, so Brockmeyer, die Allergen-Konzentration, die gerade noch ausreicht, um bei einem Allergiker eine Reaktion auszulösen, als Grenzwert für Lebensmittel festzulegen. Die notwendigen klinischen Daten sind in den vergangenen Jahren für viele Allergene erhoben worden – es braucht empfindliche Nachweisverfahren, die spezifisch selbst geringste Spuren bestimmter Allergene in einem Lebensmittel aufspüren. Die beiden aktuell gebräuchlichsten Methoden in Routinelaboren haben jedoch ihre Schwächen.

Bei den immunologischen ELISA-Tests fischen spezifische Antikörper nicht nur das gesuchte Allergen aus der Lebensmittelprobe, sondern mitunter auch strukturell ähnliche Moleküle. Bei dem zweiten Verfahren, der sogenannten Polymerase Chain Reaction (PCR), weisen Lebensmittelanalytiker nicht das allergieauslösende Protein nach, sondern ein für das allergene Lebensmittel typisches DNA-Fragment. Weil aber jede Zelle eines Organismus die identische DNA-Information enthält, können sie beispielsweise nicht zwischen einem Hühnerei und Hühnerfleisch unterscheiden. Das Gleiche gilt für Milch und Rindfleisch. „Ob ein Produkt Eiklar enthält, werde ich mit der PCR ebenfalls nicht nachweisen können, weil Eiklar so gut wie keine DNA enthält. Es ist aber voll mit Allergenen“, sagt Brockmeyer.

#### Verarbeitete Lebensmittel geknackt

Vor allem bei verarbeiteten Lebensmitteln versagen die bisherigen Detektormethoden mitunter, sei es dadurch, dass durch Erhitzen die Proteine denaturiert wurden und dann nicht mehr von den Antikörpern erkannt werden, oder weil die DNA etwa in sauren Lebensmitteln lange vor den Allergenen abgebaut ist und somit der Detektion entgeht.

Brockmeyer nutzt für den Nachweis der Allergene die Massenspektrometrie. Die Geräte im Labor nebenan laufen täglich rund um die Uhr. Brockmeyers Team kann damit auch in verarbeiteten Lebensmit-



“

„Das Spannende an der Lebensmittelchemie ist, dass sich damit handfeste Fragen lösen lassen. Andererseits ist es faszinierend zu verstehen, wie Lebensmittel zusammengesetzt sind.“

Jens Brockmeyer

”

Foto: Universität Stuttgart/Mex Kovalenko

teln selbst geringe Mengen von Allergenen aufspüren, etwa Nüsse in Brot, Schokolade oder Eiscreme. Im Massenspektrometer werden enzymatisch zerstückelte Proteinfragmente, sogenannte Peptide, aus der Lebensmittelprobe zu geladenen Bruchstücken zertrümmert und diese nach Masse und Ladung separiert. Das Massenspektrum eines Peptids ist quasi sein „Fingerabdruck“, aus dem sich die Struktur ableiten lässt. Brockmeyer und seine Mitarbeiter können in der Lebensmittelprobe gleichzeitig nach bekannten Peptid-Fingerabdrücken diverser Allergene fahnden.

Besonders heikel war es, aus den Millionen unterschiedlicher Proteinfragmente der Lebensmittel zunächst jene Markerpeptide zu identifizieren, die spezifisch für ein einzelnes Allergen sind. So wusch eine Mitarbeiterin Brockmeyers etwa jede einzelne Haselnuss mit verschiedenen Lösungen, weil Nüsse fast immer Spuren anderer Nüsse enthalten. Erst dann kratzte sie ein Stück von der Oberfläche ab, um alle enthaltenen Proteine im Massenspektrometer zu analysieren und daraus die allergenspezifischen Markerpeptide auszuwählen, die sich am besten detektieren lassen. Mittlerweile hat die Gruppe Markerpeptide für die häufigsten Allergene identifiziert, die über 90 Prozent aller allergischen Reaktionen hervorrufen.

„Wir müssen mit unserem hochauflösenden Massenspektrometer schon alle Tricks ausreizen, um in den Sensitivitätsbereich zu kommen, den wir brauchen“, gibt Brockmeyer zu. Routinelabore, die weni-

ger sensitive Massenspektrometer bereits einsetzen, um Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und Schimmelpilzgiften in Lebensmitteln nachzuweisen, können da nicht mithalten.

#### Ködermoleküle erhöhen Spürsinn

Um die Methode auch für übliche Massenspektrometer nutzbar zu machen, entwickelt das Team gerade Ködermoleküle aus DNA oder RNA, Aptamere, die aus den Millionen Peptiden nur die gesuchten Markerpeptide herausfischen und so für die Detektion im Massenspektrometer anreichern. Außerdem will es die Probenaufbereitung automatisieren, um schnell möglichst viele Lebensmittel gleichzeitig untersuchen zu können.

Mit dem Massenspektrometer rückt Brockmeyer auch gefälschten Lebensmitteln zu Leibe – erstmals, ohne vorher wissen zu müssen, nach was er sucht. Den Skandal um Rindfleisch-Lasagne, die 2013 mit billigerem Pferdefleisch gestreckt wurde, könnte er heute recht schnell aufdecken, weil der Anteil Rinder-spezifischer an der Gesamtmenge Säugetier-spezifischer Markerpeptide geringer wäre. Sind wie 2014/2015 in den USA kreuzkümmelhaltige Gewürze vermutlich absichtlich mit Erdnüssen verunreinigt, droht bei Verfälschungen auch Allergikern Gefahr.

Spannend an der Lebensmittelchemie findet Brockmeyer, dass sich damit handfeste Fragen lösen lassen. „Man weiß, wofür man etwas untersucht“, erklärt er. Andererseits fasziniert es ihn, zu verste-

Jens Brockmeyer spürt unter den Lebensmittelproteinen die Übeltäter auf, die bei Lebensmittelallergien eine immunologische Reaktion auslösen.



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

hen, wie Lebensmittel zusammengesetzt sind, warum manche Lebensmittelallergene im Dünndarm das Immunsystem auf den Plan rufen, strukturell ähnliche Moleküle aber als harmlos durchgehen. Im Modellsystem spielt sein Team zurzeit den Weg der Nahrung durch den Verdauungstrakt durch und analysiert die Struktur der Allergenpeptide, die im Dünndarm ankommen. Vielleicht lassen sie sich irgendwann für eine spezifische Immuntherapie nutzen, um Lebensmittelallergien zu behandeln.

Gäbe es seinen 13 Jahre älteren Bruder nicht, Lebensmittelchemiker in der Toxinanalytik, hätte Brockmeyer vielleicht einen anderen Berufsweg eingeschlagen. „Wir haben schon vereinbart, dass wir demnächst mit unseren Maschinen hier ein wenig gemeinsam experimentieren“, freut sich der Jüngere. Sein Beruf schien von Anfang an seine Berufung zu sein – auch wenn der Weg dorthin nicht immer gerade verlief. Schon in der Schule in Osnabrück brannte der heute 43-Jährige für Chemie, aber auch für Physik. Mit der Ausbildung zum Chemielaboranten schlug das Pendel aber Richtung Chemie aus. Doch er will den Dingen auf den Grund gehen, drückte nochmal die Schulbank, um mit dem Abitur in der Tasche zu studieren. Wieder schwankte er, dieses Mal zwischen Biochemie und Lebensmittelchemie, und entschied sich doch, in die Fußstapfen des Bruders zu treten.

#### Detektiv in der Rechtsmedizin

Als frisch examinierter Lebensmittelchemiker der Universität Münster machte Brockmeyer zunächst einen Abstecher über die Rechtsmedizin in Bonn. Er hatte nicht „den Rosinengehalt im Christstollen“ untersuchen wollen, wie er sagt, sondern etwas Relevanteres. Die analytischen Methoden seien gleich, egal ob er nach Rückständen in Lebensmitteln fahnde oder nach Drogen in Blut oder Urin. Nach einem Mordfall mit einem die Atemmuskulatur lähmenden Medikament versuchte er, der Substanz massenspek-

trometrisch auf die Spur zu kommen, und stößt an technische Grenzen. Seine Promotion führte er bei dem renommierten Mikrobiologen Helge Karch am Universitätsklinikum Münster durch. Karch gilt als Entdecker eines bestimmten Typs des gefährlichen EHEC-Durchfallerreger, der bisher in Deutschland für alle größeren Ausbrüche verantwortlich war und sich insbesondere über kontaminierte Lebensmittel ausbreitet. Brockmeyer machte sich dieses Mal die biochemischen und molekularbiologischen Werkzeuge zunutze, um die Struktur und Funktion eines EHEC-Virulenzfaktors aufzuklären – und erntete dafür den Promotionspreis der mikrobiologischen Fachgesellschaft.

Der Kontakt mit der „alten Heimat“ ist währenddessen nie abgebrochen: Immer wieder besuchte er Seminare am Institut für Lebensmittelchemie an der Universität Münster, führte dort Messungen für die Promotion durch. Schließlich wird ihm die Habilitation am Institut angetragen. Er forscht weiter an EHEC. Hinzu kommen seine aktuellen Forschungsgebiete, Lebensmittelallergene und die Echtheit von Lebensmitteln, die er zusammen mit einigen Mitarbeitern mit nach Stuttgart bringt.

Es scheint eine Fügung des Schicksals zu sein, dass Brockmeyer nun als Leiter der Lebensmittelchemie am biochemischen Institut angesiedelt ist. „Das Spannende am Standort Stuttgart ist, dass es immer wieder Kooperationen gibt, die ich mir nicht hätte träumen lassen“, sagt Brockmeyer. Demnächst wird seine Abteilung untersuchen, ob sich unter der Schwerelosigkeit und Strahlung im Weltall der Nährwert und die Proteinzusammensetzung von Algen verändern oder ob sie künftig problemlos als Astronautennahrung oder zur Sauerstoffherzeugung im All dienen können. Das Institut für Luft- und Raumfahrt hat den Algenreaktor bereits übergeben, der demnächst auf die internationale Raumstation ISS geschickt wird.

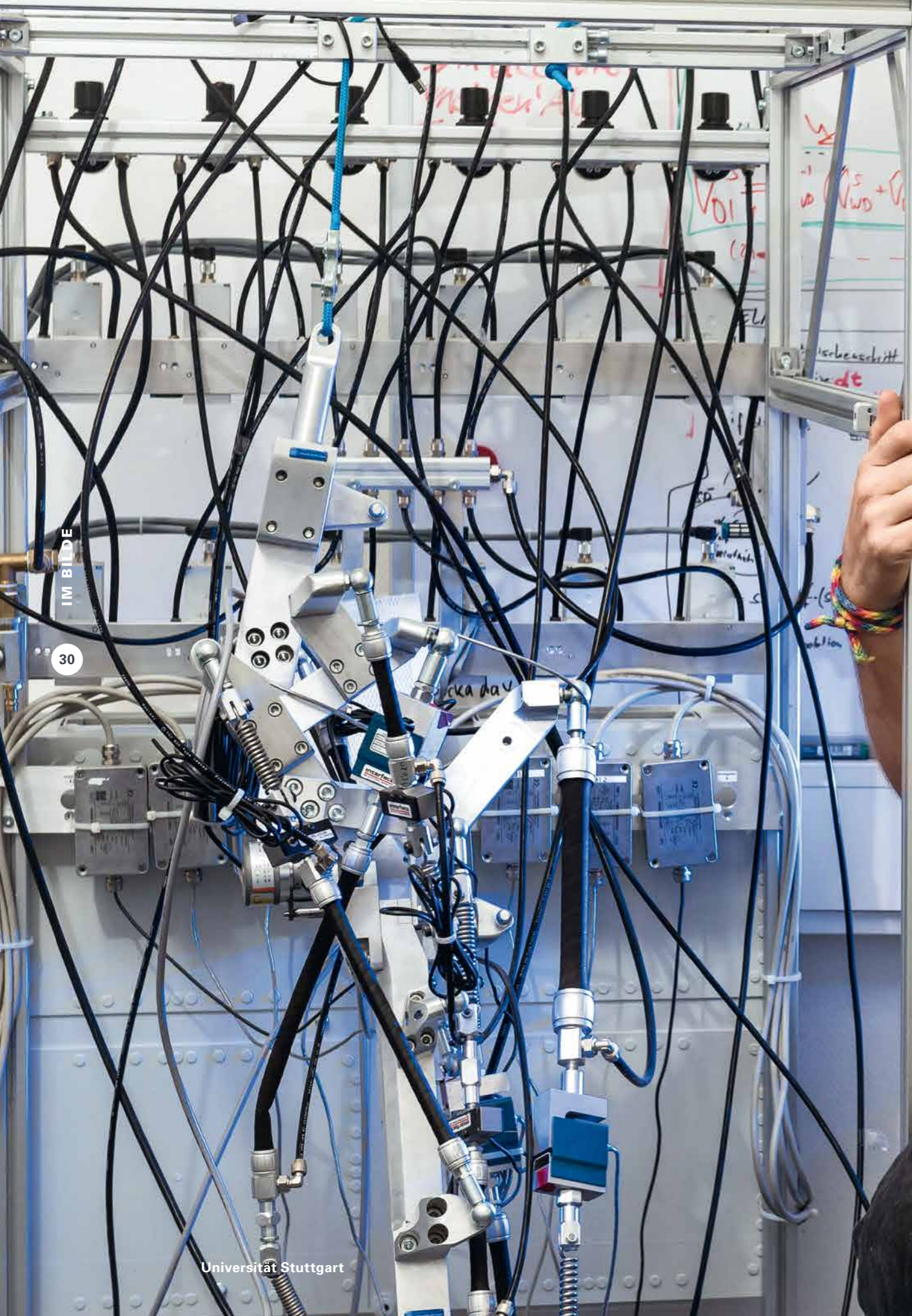
*Helmine Braitmaier*

## Die Menschmodellierer

Seit Jahrhunderten werden in der Wissenschaft komplexe Phänomene durch Modelle beschrieben. Simulationen ermöglichen es uns, wichtige Aspekte der so beschriebenen Systeme zu verstehen, ihre Zustände vorherzusagen und zu entscheiden, wie solche Systeme zu kontrollieren sind. Simulationen haben sich zu einem unverzichtbaren Bestandteil von Forschung und Entwicklung in vielen unterschiedlichen Gebieten entwickelt und tragen entscheidend zum technologischen Fortschritt in unserer modernen Gesellschaft bei. Seit 2007 hat der Exzellenzcluster „Simulation Technology“ (SimTech) an der Universität Stuttgart die Simulationswissenschaft hinsichtlich Modellen, Methoden und Computing-Aspekten aus Ingenieursperspektive in großer Breite und Tiefe vorangetrieben. Und sie mit seinem interdisziplinären und methodischen Profil als international sichtbaren Forschungsschwerpunkt etabliert.

Das jetzt im Rahmen der Exzellenzstrategie zur Förderung der universitären Spitzenforschung erfolgreiche neue Exzellenzcluster „Datenintegrierte Simulationswissenschaft“ (SimTech) steht – aufbauend auf den wissenschaftlichen Ergebnissen und Erkenntnissen des Exzellenzclusters SimTech – nun für eine Vielzahl neuer und zukunftsweisender Forschungsfragen und eine neue Klasse von Modellierungs- und Berechnungsmethoden. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Simulation von Mehrphasenströmungen, porösen Materialien, mechanischen Strukturen und biologischen Systemen sowie übergreifende Aspekte des maschinellen Lernens, der Analyse von Unsicherheiten und adaptiven und ubiquitären IT-Infrastrukturen. Aber auch und vor allem im Bereich digitaler Menschmodelle trägt SimTech zum medizinischen Fortschritt bei.





IM BILDE

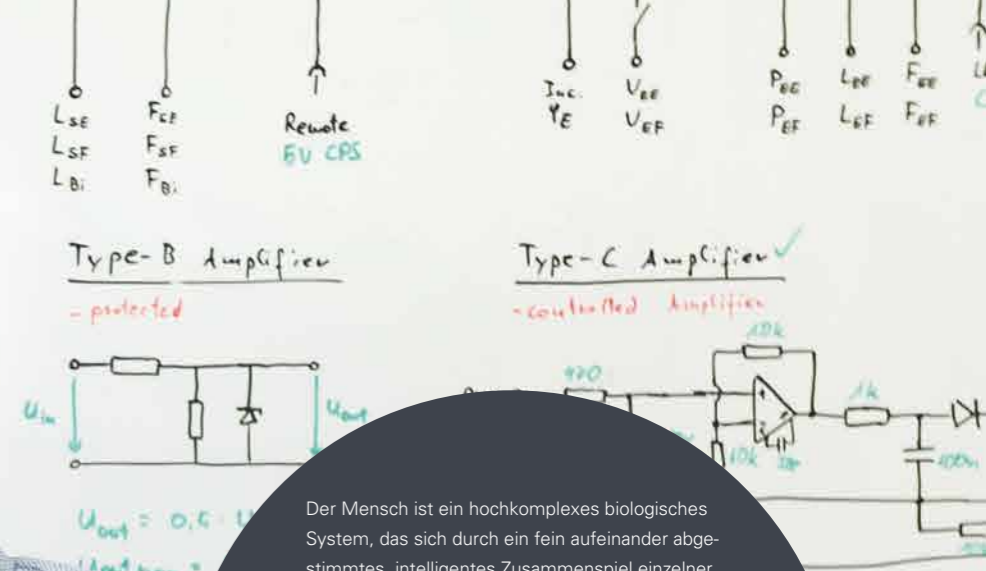
30



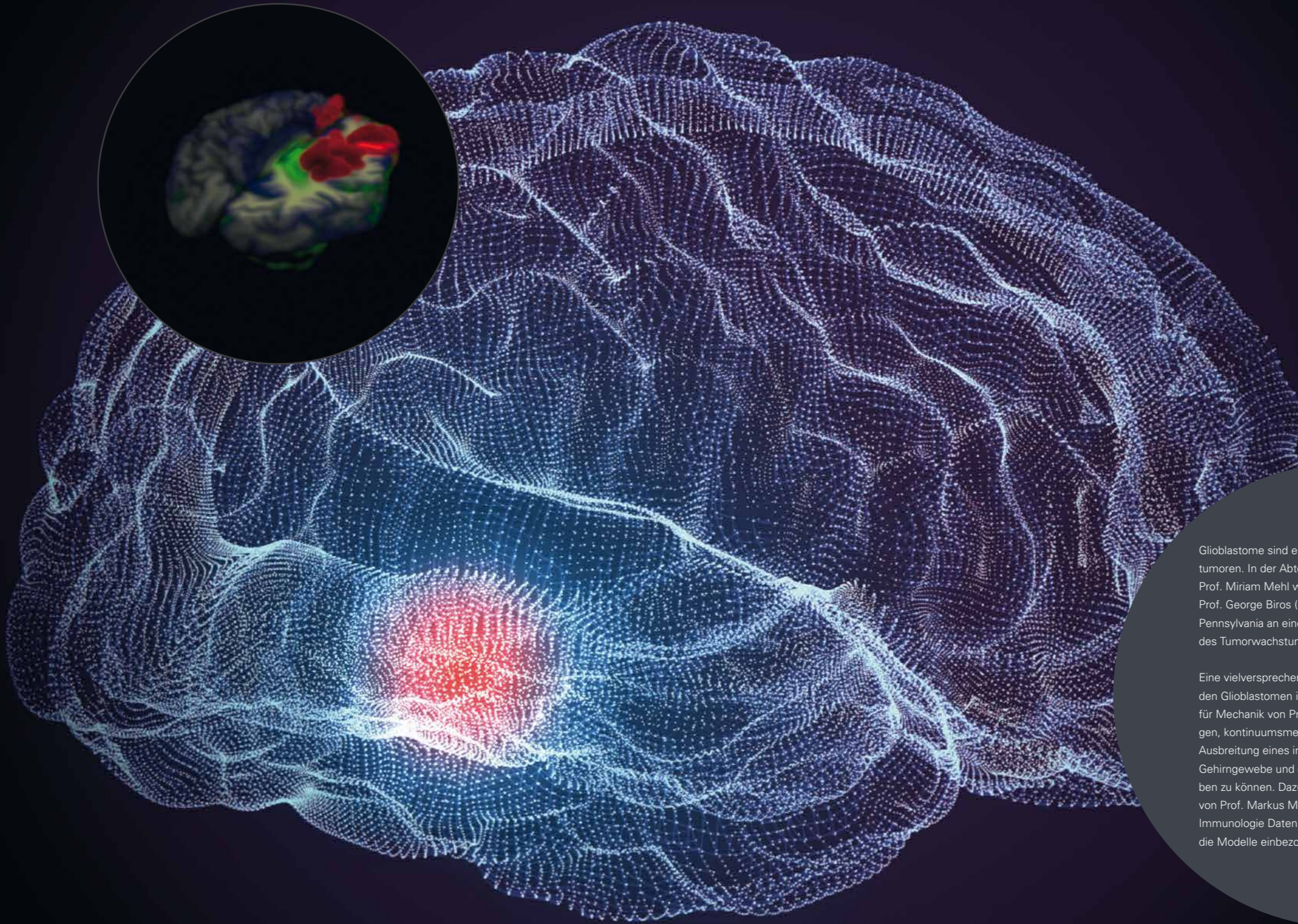
Der Mensch ist ein hochkomplexes biologisches System, das sich durch ein fein aufeinander abgestimmtes, intelligentes Zusammenspiel einzelner Untereinheiten auszeichnet. Es gilt als energieeffizient, störungsrobust und hochgradig integriert. Ein aktuelles Projekt zur neuromuskulären Bewegungskontrolle untersucht die Erzeugung und Kontrolle aktiver biologischer Bewegungen und legt damit die Grundlagen für funktionale Assistenzsysteme im Bereich Rehabilitationsrobotik. Die Gruppe von Prof. Syn Schmitt und die Nachwuchsgruppe von Dr. Daniel Häufle vom Hertie Institut für klinische Hirnforschung der Universität Tübingen entwickeln gemeinsam Simulationsmodelle und technische Bioroboter. (siehe auch Beitrag auf Seite 82)

31

5 Type  
15 Type  
5 Type



Dank Simulationen lassen sich kleinste Bausteine des Lebens untersuchen. Prof. Johannes Kästner und sein Team gehen der Frage nach, wie Enzyme – etwa Salicylat-Dioxygenase – Sauerstoff aufnehmen und verwenden können, um Gift- und Abfallstoffe aus der Verdauung im Körper abzubauen und auszuscheiden. Solche biochemischen Vorgänge auf der kleinsten Skala können die Funktion von größeren Einheiten im Organismus – wie beispielsweise Organellen oder Zellen – erklären. In den Untersuchungen werden experimentelle Daten aus der Strukturbiologie mit quantenmechanischen Simulationen kombiniert.



Glioblastome sind ein bisher nicht heilbarer Typ von Gehirntumoren. In der Abteilung „Simulation großer Systeme“ von Prof. Miriam Mehl wird in Kooperation mit der Gruppe von Prof. George Biros (ICES, UT Austin) und der University of Pennsylvania an einem Softwaretool zur inversen Simulation des Tumorwachstums geforscht.

Eine vielversprechende Behandlungsmethode bei tief sitzenden Glioblastomen ist die „Konvektionsmethode“. Am Institut für Mechanik von Prof. Wolfgang Ehlers wird an mehrphasigen, kontinuumsmechanischen Modellen geforscht, um die Ausbreitung eines injizierten Medikaments im komplexen Gehirngewebe und dessen Wirkung auf den Tumor beschreiben zu können. Dazu werden in Kooperation mit der Gruppe von Prof. Markus Morrison vom Institut Zellbiologie und Immunologie Daten aus Tumorwachstumsexperimenten in die Modelle einbezogen.

Perfusions-MRT ist eine vielversprechende Methode, um die Multiple-Sklerose-Therapie unterstützend zu begleiten. Allerdings bleibt die genaue Charakterisierung von MS-Läsionen mit den heutigen Verfahren weiterhin schwierig. Detaillierte klein-skalige Simulationen der MR-Kontrastmittelausbreitung im Gehirn ermöglichen Einblicke in die Mechanismen, die zu den charakteristischen MRT-Bildern bei MS-Läsionen führen und helfen, diese besser zu interpretieren. (siehe auch Beitrag auf Seite 78)

IM BILDE

36



37

## Arm-Motion-Simulation

Time = 4.1098

Contours of History Variable#1

max ipt. value

min=0, at elem# 190888

max=1, at elem# 9510

Fringe Levels

1.000e+00

9.000e-01

8.000e-01

7.000e-01

6.000e-01

5.000e-01

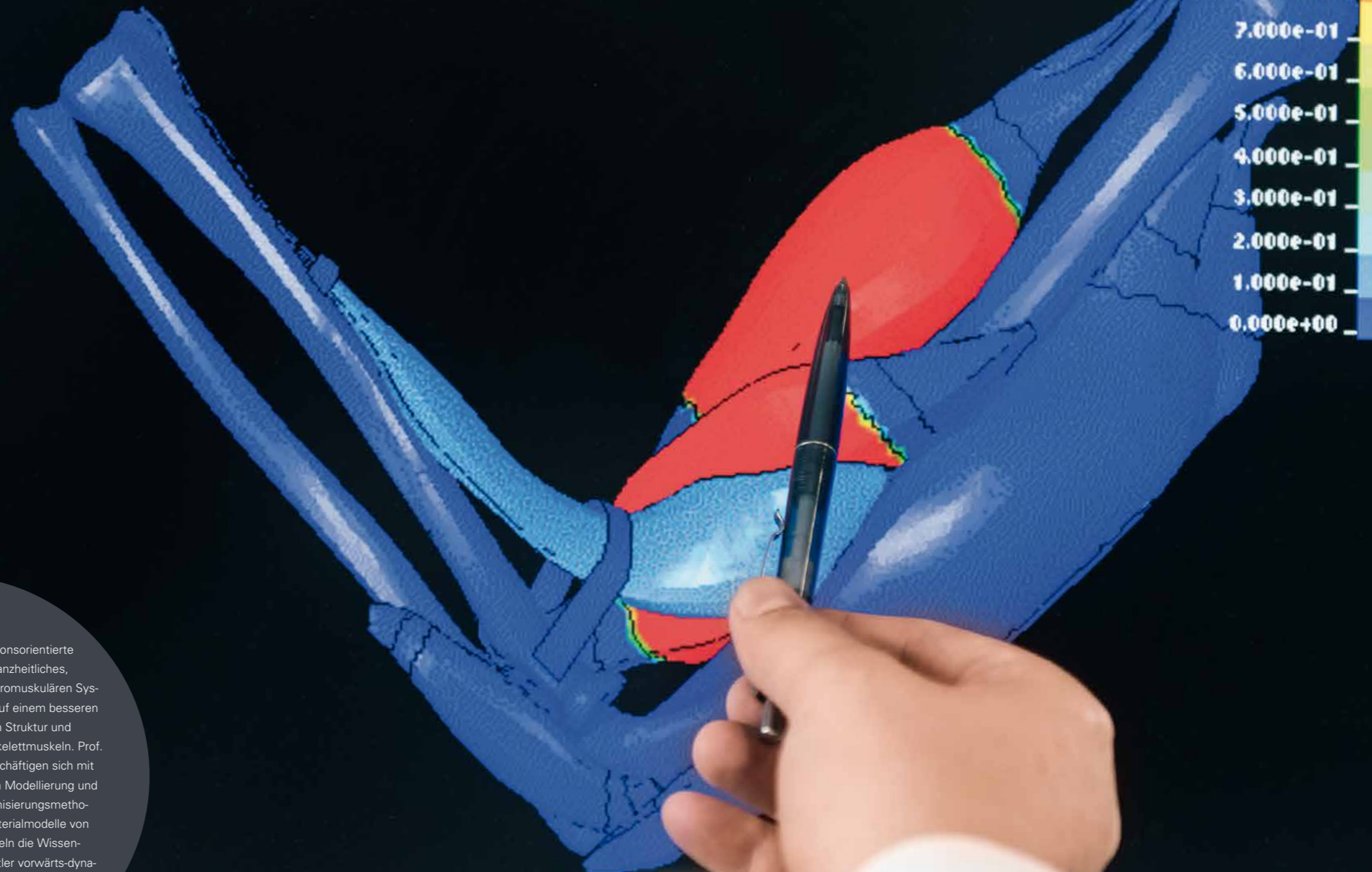
4.000e-01

3.000e-01

2.000e-01

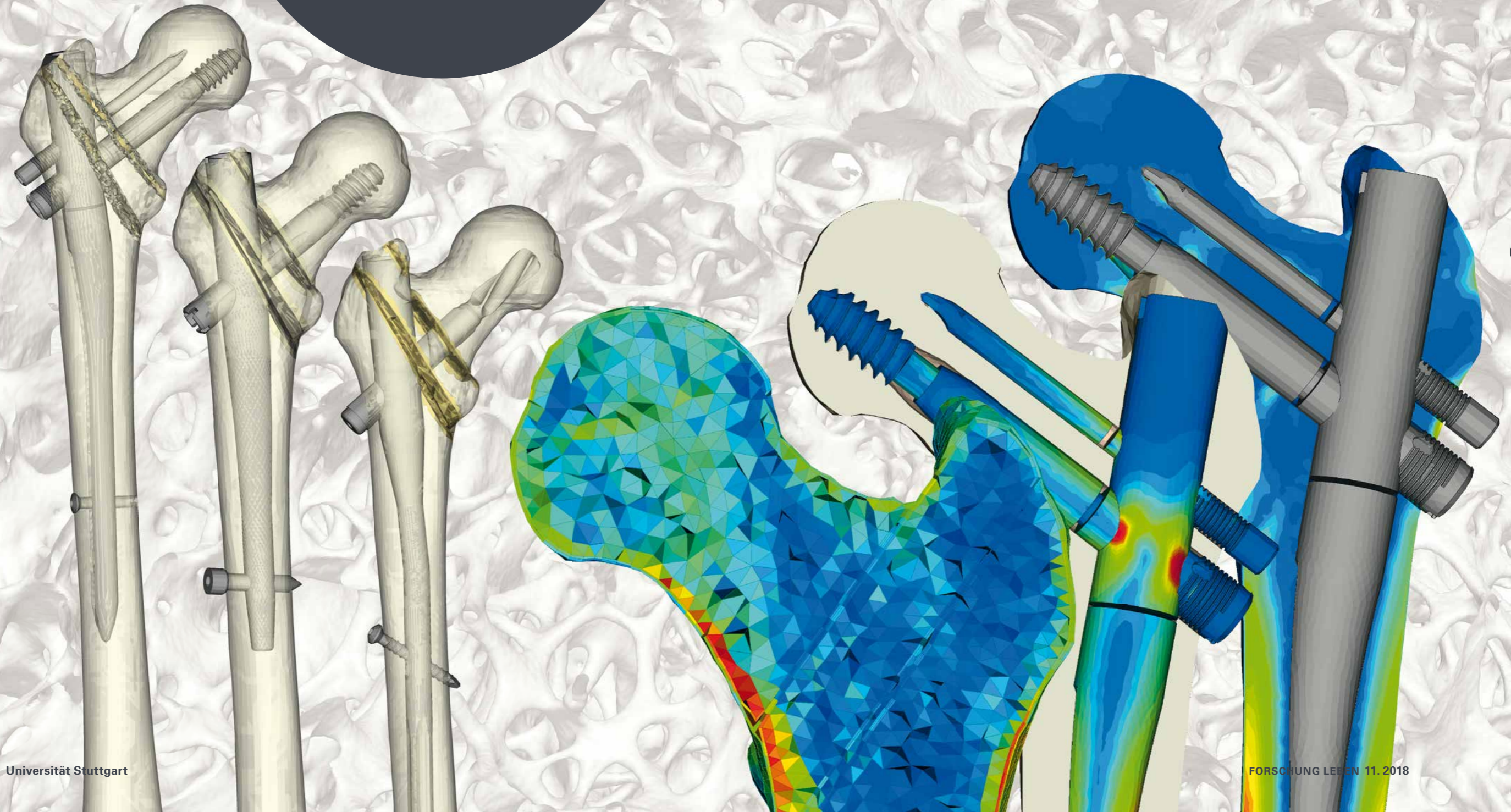
1.000e-01

0.000e+00



Der interdisziplinäre und simulationsorientierte Forschungsansatz zielt auf ein ganzheitliches, integratives Verständnis des neuromuskulären Systems ab. Der Fokus liegt dabei auf einem besseren Verstehen der dreidimensionalen Struktur und bio-physikalischen Funktion in Skelettmuskeln. Prof. Oliver Röhrle und sein Team beschäftigen sich mit der chemo-elektromechanischen Modellierung und der Entwicklung neuer Homogenisierungsmethoden für patientenspezifische Materialmodelle von Skelettmuskeln. Zudem entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vorwärts-dynamische muskuloskelettale Systemmodelle. (siehe auch Beitrag auf Seite 50)

Ein medizinisches Anwendungsgebiet aus der Strukturmechanik ist die numerische Simulation von Knochen-Implantat-Systemen. Dazu gehören künstliche Hüftgelenke und Implantate zur Frakturheilung. Diese Simulationen sollen es ermöglichen, die Entwicklung neuer Implantate zu unterstützen und deren Funktionalität und Design möglichst physiologisch zu gestalten, um einen optimalen Heilungsverlauf zu gewährleisten. Ziel ist der Einsatz im klinischen Alltag. In den Bereich der strukturmechanischen Simulation gehört auch die mikromechanische Untersuchung spongiösen Knochengewebes. Es befindet sich in den Gelenkbereichen und ist durch Implantationen besonders betroffen. Durch die detaillierten mechanischen Untersuchungen auf der Mikrostrukturebene erhofft man sich eine erweiterte Einsicht in die inneren Vorgänge des menschlichen Knochenwachstums und -umbaus.



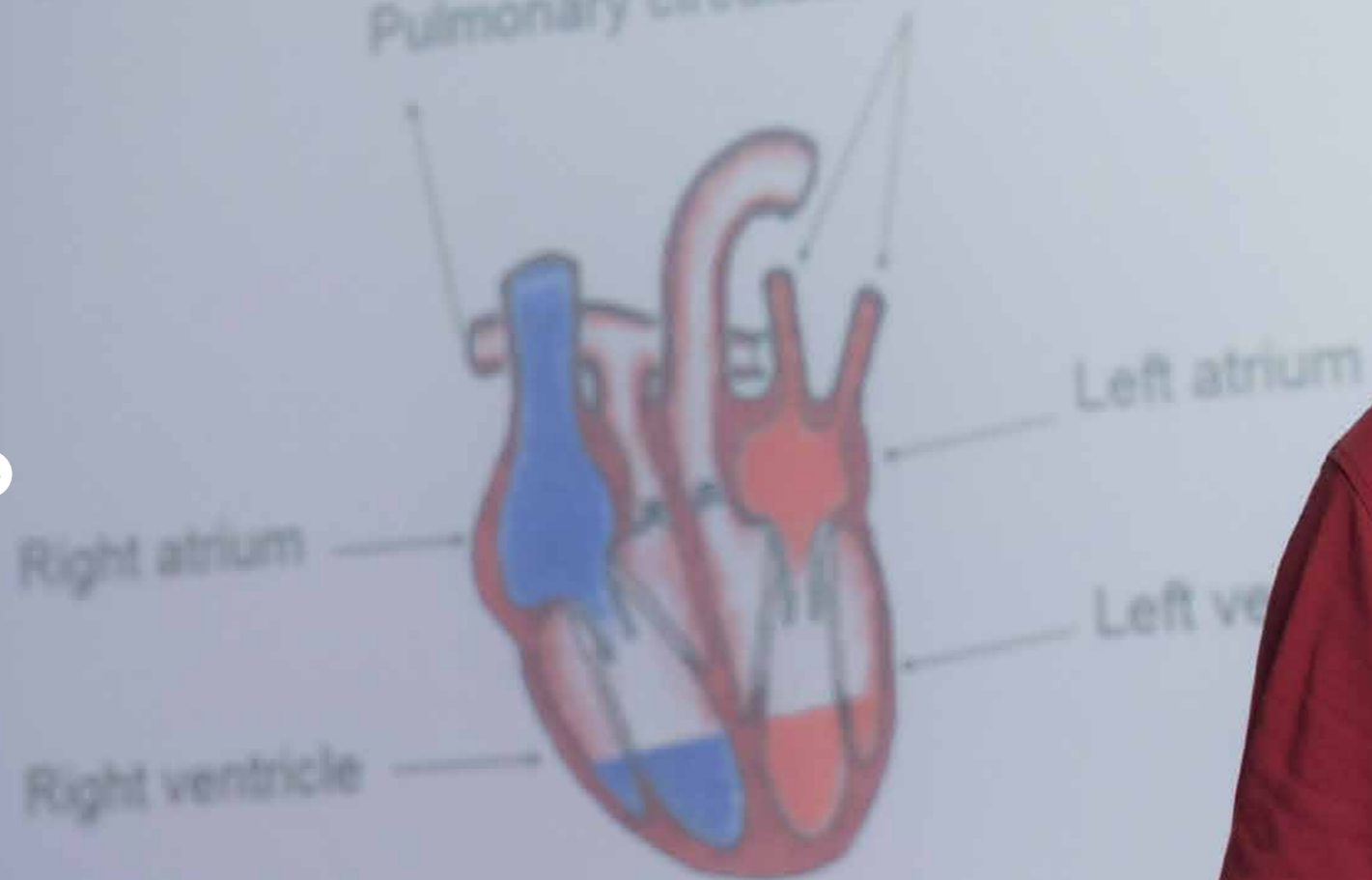
Um komplexe biomechanische Modelle im Klinikalltag unterstützend einsetzen zu können, gewinnen projektionsbasierte Methoden der Modellreduktion einen stark zunehmenden Stellenwert. Durch den Einsatz geeigneter Reduktionsmethoden können hohe Rechenzeiten und -kosten aufwendiger numerischer Simulationen deutlich verringert werden. Dabei werden die komplexen theoretischen Grundlagen der Modellbildung durch vorab erzeugte Simulationen beibehalten (Offline-Rechnungen). Dies ermöglicht zeiteffiziente numerische Simulationen (Online-Rechnungen) mit veränderlichen, Patienten-spezifischen Parametern.



University of Stuttgart

# 1. Mixed dimensional models: 1D-0D coupling

Pulmonary circulation



Quarteroni, Rozza 11, Li

Averaged 1-D Navier Stokes  
FSI: Young

Heart beats

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x}$$

Mathematische Modelle für Herz-Kreislauf-Systeme gewinnen bei der Entwicklung von Medikamenten und Diagnostiktechniken immer mehr an Bedeutung. Gegenüber herkömmlichen Methoden aus der Medizin liefert die mathematische Modellierung von Herz-Kreislauf-Systemen wichtige Erkenntnisse, ohne aufwendige Versuchsreihen durchführen zu müssen. Im Falle von Arteriosklerose, einer Gefäßerkrankung, die eine Reduzierung des Blutflusses durch Ablagerungen an den Gefäßwänden hervorruft, lässt sich mittels numerischer Simulationen ermitteln, ab welchem Verengungsgrad eine ausreichende Versorgung eines bestimmten Organs gefährdet ist. Die Arbeitsgruppe von Prof. Rainer Helmig beschäftigt sich in verschiedenen Projekten damit, mathematische Modelle für Herz-Kreislauf-Systeme zu entwickeln.



## Follower der besonderen Art Computerlinguisten analysieren, was Patienten im Internet berichten

**In Foren, auf Blogs und in sozialen Netzwerken tauschen sich Patienten über Krankheiten, Behandlungen und Nebenwirkungen aus. Dieser breite Erfahrungsschatz steht Medizinern und der Pharmaforschung bisher jedoch nicht systematisch zur Verfügung. Zugleich ist dieser Austausch aber auch ein Nährboden für Falschinformationen. Computerlinguisten vom Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung (IMS) der Universität Stuttgart arbeiten an Methoden, Netzwerke automatisiert nach solchen Inhalten zu durchsuchen und sie zu strukturieren.**

„Achtung, ich könnte mich in den nächsten Wochen häufiger über Schmerzen beklagen“, warnt die Twitter-Nutzerin alle diejenigen, die ihren Nachrichten bei dem Mikroblog-Netzwerk folgen. Sie werde von einem Schmerzmittel auf ein anderes umsteigen, schreibt die Frau. Für Dr. Roman Klinger, Akademischer Oberrat am IMS, sind solche Tweets von großem Interesse: Er entwickelt Methoden, um die Informationen, die in sozialen Netzwerken ausgetauscht werden, automatisiert nach biomedizinischem Wissen zu durchsuchen und es mit dem zu verknüpfen, das aus der medizinischen Forschung bekannt ist. Dabei müssen er und sein Team mit zwei völlig unterschiedlichen Herausforderungen umgehen.

**Kombination aus Fachwissen und Emotion**  
Zum einen ist da das medizinische Fachwissen. Das sei meist in Form schwer zugänglicher Daten abgelegt, berichtet Klinger: Fast immer müssten Forscher, Mediziner und informierte Laien große Mengen von Literatur wälzen, wenn sie alle relevanten Informationen zu einer Erkrankung sammeln wollten. „Wenn ich beispielsweise wissen

möchte, welche Proteine oder Gene bekannt sind, die bei der Bildung von Krebs eine Rolle spielen, dann gibt es dazu Datenbanken“, erklärt Klinger. „Aber die neuesten Erkenntnisse finden sich immer nur in wissenschaftlichen Veröffentlichungen.“ In einem seiner Projekte untersuchte er deshalb, wie man diese Informationen automatisiert aus Veröffentlichungen herausziehen, strukturieren und in die Datenbank einfügen kann. Denn diese lässt sich mit einer Suchmaschine durchforsten. „So kann ich einen Krankheitsnamen anfragen, die Suchmaschine findet alle Dokumente, in denen diese Krankheit auftaucht, und listet alle Proteine auf, die in diesen Texten erwähnt werden.“

Als Nächstes will Klinger diese Daten mit subjektiven Informationen zum persönlichen Empfinden verknüpfen. In den vergangenen Jahren hatte sich der Wissenschaftler damit beschäftigt, wie sich Art, Ursache und Ziel von Emotionen in Texten ermitteln lassen. So entstand bei ihm die Frage:

„Welche Informationen zu biomedizinischem Wissen finden sich in sozialen Medien?“ Betroffene äußern sich in der Regel emotional zu Krankheiten und Medikamenten. „Emotionen können auf sehr unterschiedliche Weise und implizit formuliert werden“, verdeutlicht Klinger am Beispiel der Twitter-Nutzerin mit Nervenschmerzen.

Bereits vier Tage nach der ersten Nachricht schrieb sie: „Die Schmerzen sind viel besser. Aber die Schlaflosigkeit wird jede Nacht schlimmer.“ Schon die kurze Zeitspanne ist für Klinger in der Analyse interessant: „Das zeigt: Sie erwartet, dass es schnell wirkt.“ Dass das Medikament rasch wirke, ermögliche wiederum eine Emotionsanalyse. „Die Aussage ist zunächst eine Aufwertung des neuen Medikaments und gleichzeitig eine Abwertung des alten. Aber dann nennt sie die Nebenwirkung: Schlaflosigkeit. Das wertet das neue ab.“

Vogelstimmenforschung einmal anders: Roman Klinger entwickelt Methoden, die soziale Netzwerke automatisiert nach biomedizinischem Wissen durchsuchen.

### Bislang Unbekanntes wird sichtbar

Zuvor galt es jedoch zu klären, wer überhaupt über Krankheiten twittert oder bloggt. Das untersuchte einer von Klingers Master-Studenten. „Wir haben ein Verfahren entwickelt, mit dem wir automatisch erkennen können, zu welcher Kategorie ein Autor gehört: Ist es ein Arzt, ein Patient, ein Angehöriger oder vielleicht ein Experte aus der Industrie?“ Darauf aufbauend will Klinger nun Regeln und Werkzeuge finden, um die Inhalte selbst zu analysieren. Dabei sind das Krankheitsbild und die daraus folgenden medizinischen Umstände, das eingenommene Medikament, möglicherweise auftretende Nebenwirkungen sowie die Bewertung dieser Nebenwirkungen interessant. „Das alles wollen wir in sozialen Medien erkennen und bis in etwa zwei Jahren mit den Äußerungen aus wissenschaftlichen Texten verknüpfen können“, kündigt Klinger an. „Dann würden in den Datenbanken nicht mehr nur die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu einer Krankheit zu finden sein, sondern auch die Informationen von Betroffenen.“ Warum das sinnvoll wäre, zeigt der Twitter-Verlauf bei besagter Schmerzpatientin: Sie bekam den Rat, gegen die Schlaflosigkeit ein weiteres Medikament dazuzunehmen. „Wenn man solche Gespräche im

großen Maßstab auswertet, erfährt man, welche Medikamente kombiniert werden und warum“, so Klinger. Bislang gebe es dazu praktisch keine Forschung, schon gar nicht mit deutschsprachigen Texten. Die Relevanz liegt auf der Hand: Auf diese Weise ließen sich Nebenwirkungen identifizieren, von denen Ärzte und Pharmafirmen bislang noch nichts wissen.

In drastischeren Fällen könnte die Forschung am IMS sogar Leben retten, wie Klinger an einem anderen Beispiel zeigt. Der derzeitige US-Präsident Donald Trump twitterte 2014 über ein gesundes Kind, das angeblich nach Impfungen autistisch geworden sei, und dass er viele solcher Fälle kenne. „Solche Äußerungen gibt es sehr viele. Wir können es zu unserer Aufgabe machen, wann immer jemand so etwas twittert, es mit Fakten zu hinterlegen.“ Denn dass es einen Zusammenhang zwischen Impfungen und Autismus geben könnte, ist wissenschaftlich widerlegt. „Fact-Checking gibt es schon länger – aber nicht für Medikamente und Krankheiten. Und es gibt kein Programm, das solche Falschinformationen automatisch mit denen aus wissenschaftlichen Publikationen zusammenführt.“ Noch nicht.

*Daniel Völpel*

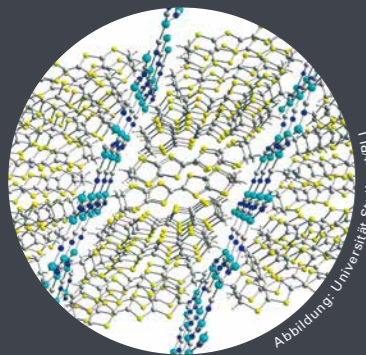


Abbildung: Universität Stuttgart/PI

### Aus Isolator mach Leiter

Physiker unterscheiden Metalle, die Strom sehr gut leiten, von Isolatoren, die Strom nicht leiten. Letztere werden als Mott-Isolatoren bezeichnet: Sie enthalten zwar genügend Elektronen, um Strom gut zu leiten, doch behindern sich diese so stark, dass sie sich kaum bewegen. Bei niedrigen Temperaturen stecken die Elektronen daher fest wie die Eisschollen eines Flusses.

Forscher um Prof. Martin Dressel vom 1. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart ist es gemeinsam mit Kollegen in den USA, Russland und Japan gelungen, den sogenannten Mott-Übergang zu erforschen, also wie nichtleitende zu leitenden Metallen werden. Dies könnte ein Ansatz für die Konstruktion elektrischer Bauelemente mit gänzlich neuartigen Eigenschaften sein, vielleicht sogar der entscheidende Baustein, um das Rätsel der Hochtemperatur-Supraleitung zu lüften.

### DNA enzymfrei verdoppelt

Die Fähigkeit zur Weitergabe von genetischer Information an Tochtergenerationen ist eine Grundvoraussetzung für das Leben. Damit bei einer Zellteilung jede Tochterzelle die notwendige genetische Information erhält, muss sich die DNA der Zelle, die Trägerin der genetischen Information, zunächst verdoppeln. Diese Replikationsprozesse werden in der Natur von Enzymen katalysiert. Der Arbeitsgruppe um Prof. Clemens Richert am Institut für Organische Chemie der Universität Stuttgart ist es erstmals gelungen, Replikationsvorgänge der DNA auch ohne Enzyme durchzuführen. Das Team gewann zudem Erkenntnisse darüber, wie bei evolutionär frühen Lebewesen die Weitergabe des Erbguts funktioniert haben könnte. Dieses Wissen ist insbesondere für die Erforschung der Entstehung des Lebens von Bedeutung.

### Höhenprüfstand XXL

Der Höhenprüfstand der Universität Stuttgart ist eine in Deutschland einzigartige Anlage. Dort lässt sich untersuchen, wie sich Flugtriebwerke oder ihre Module in großen Flughöhen unter verschiedenen Luftdruck-, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen verhalten, ohne dafür fliegen zu müssen. Im Rahmen eines gemeinsamen Verbundprojekts des Instituts für Luftfahrtantriebe der Universität Stuttgart, MTU Aero Engines und Rolls-Royce Deutschland wird der Betriebsbereich des Höhenprüfstands derzeit für 4,5 Millionen Euro fit gemacht für den Test von Triebwerken der übernächsten Generation. Diese sollen weniger Treibstoff verbrauchen und weniger CO<sub>2</sub> freisetzen.

Kernstück der neuen Anlage ist ein Wärmetauscher in der Größe eines Einfamilienhauses. Für die Anlieferung des 19 Tonnen schweren Kessels und des 22 Meter hohen Kamins musste eigens das Hallendach abgedeckt werden. Ein 300-Tonnen-Kran ließ die Bauteile dann vom Himmel herab einschweben.



Foto: Uli Regenscheit

### Richtige Dosis zur richtigen Zeit

Zwei bis drei Medikamente parallel nimmt die Mehrzahl der über 60-Jährigen täglich ein, Tendenz steigend. Einnahmefehler sind an der Tagesordnung, mit erheblichen Folgen für Patienten und Gesundheitssystem. Die Institute für „Automatisierungstechnik und Softwaresysteme“ und „Konstruktionstechnik und Technisches Design“ der Universität Stuttgart sowie die Medizintechnik-Firma CompWare Medical forschen gemeinsam an einem neuartigen, IT-gestützten Tablettenein-



Foto: Adobe Stock/nik.bernadsky

nahmesystem, das für mehr Sicherheit sorgen soll. Das System mit dem Namen Tantum besteht aus einem Tablettendispenser, einer Sicherheits- und Kommunikationszentrale, einer App und einem Apotheken-Bestückungssystem. Die wesentliche Neuheit von „Tantum“ ist das Gesamtsystemkonzept: Das Gerät stellt die Medikamente zur vorgegebenen Zeit in der exakten Dosierung bereit, erinnert die Patienten an die Einnahme und informiert auf Wunsch die Pflegeperson, wenn die Tabletten nicht genommen wurden.



Foto: Saskia Suetterlin/KSat e.V.

### Pumpe fürs All

Drei Tage war die Falcon-9-Rakete im All unterwegs, dann dockte das Raumschiff an der Internationalen Raumstation ISS an. Mit an Bord: das PAPELL-Experiment, das rund 30 Studierende der Kleinsatelliten-Gruppe KSat der Universität Stuttgart konstruiert haben und das auf der ISS von Astronaut Alexander Gerst betreut wird.

Bei dem Experiment handelt es sich um den Demonstrator für eine Pumpe ohne mechanisch bewegliche Teile. Er soll zeigen, dass sich die wartungsfreie Pumpe für den Transport von Gas (Luft), Flüssigkeit (Ferrofluid) und Feststoffen (Kugeln) im All einsetzen lässt. Für eine derartige Pumpe gibt es verschiedene Anwendungspotenziale: von der Treibstoffförderung über die Thermalkontrolle durch das Kühlen von heißen Strukturen bis hin zu einem geräuscharmen Belüftungssystem für bemannte Raumfahrzeuge.

Beim Start der Rakete konnten die Studierenden die Entwicklung einer relativ seltenen Rocket Plume sehen (Bild). Bei diesem Phänomen reflektieren die Abgase der Rakete die Sonnenstrahlen.

## Mit dem Muskel auf Du und Du Simulationen der komplexen Abläufe im menschlichen Bewegungsapparat

**Wie Nervensystem, Muskelzellen und komplette Muskelgruppen bei Bewegungsabläufen zusammenspielen, versteht man noch nicht im Detail. Dreidimensionale Simulationen der Skelettmuskeln, wie sie von Biomechanikern der Universität Stuttgart erforscht werden, sollen das ändern – und helfen bei der Entwicklung von Ansteuerungen für Exoskelette und Neuroprothesen.**

Der Griff zur Kaffeetasse am Morgen sieht so einfach aus. Die meisten schaffen das sogar im schlaftrunkenen Zustand. Doch was allein für diese Bewegung im menschlichen Körper ablaufen muss, ist keineswegs trivial. Damit die Hand nach der Tasse greift, muss das Gehirn den Ablauf in den Nervenzellen des Rückenmarks initiieren. Die elektrischen Signale erreichen dann über die Nervenfasern die sogenannten motorischen Endplatten, die die Erregung auf die Muskelfasern der Skelett-

muskeln weitergeben, die wiederum für willentliche Bewegungen verantwortlich sind. Dazu wird das elektrische Signal auf den Nervenfasern in eine mechanische Kraft umgewandelt: Kalzium-Ionen dienen als Botenstoff, der bestimmte Zellen zur Kontraktion anregt. Die mechanische Krafterzeugung auf Zellebene überträgt sich über die Muskeln an die Sehnen, mit dem Ergebnis, dass sich der Arm Richtung Tasse bewegt. Dann muss die Hand mit der genau richtig dosierten Kraft zugreifen, bevor die Bewegung der Tasse zum Mund erfolgt. Viele Muskelgruppen sind an diesem einfachen Ablauf beteiligt, gesteuert durch unzählige Nervenzellen. Wie komplex dieses Bewegungsmuster tatsächlich ist, wird immer dann besonders deutlich, wenn es durch Unfall- oder Krankheitsfolgen eingeschränkt ist oder wenn Ingenieure versuchen, einem Roboter menschenähnliche Bewegungen beizubringen.

Mit der Elektromyografie, einer Art EKG für den Muskel, lassen sich die elektrischen Gesamtpotenziale von Bewegungen messen.



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko



Wie entsteht Bewegung: Das interdisziplinäre Team um Prof. Oliver Röhrle arbeitet am ganzheitlichen Verständnis des neuromuskulären Systems.

Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

### Neuromuskuläre Fragezeichen

Jede Bewegung beruht auf physikalischen und biochemischen Prozessen in den Zellen, die, bezogen auf komplette Muskelgruppen und in ihrem Zusammenspiel mit dem zentralen Nervensystem, bislang nicht gänzlich erforscht sind. Das will Oliver Röhrle, Professor für Kontinuums-Biomechanik und Mechanobiologie an der Universität Stuttgart, mit einem Team aus Experten verschiedener Fachrichtungen ändern. „Unser interdisziplinärer Ansatz zielt auf ein ganzheitliches Verständnis des neuromuskulären Systems ab“, so Röhrle. Simulationen sind dabei das Mittel der Wahl; mit im Boot sind darum Informatiker, Mathematiker und Visualisierungsspezialisten. Sportwissenschaftler, Elektrotechniker, Biologen und Physiologen stellen die Verbindung zu anwendungsbezogenen Fragestellungen her. Letztlich, sagt Röhrle, gehe es in ihrer Arbeit um die Frage, „wie Bewegung entsteht“.

„Mit der Elektromyografie, einer Art EKG für den Muskel, lassen sich die elektrischen Gesamtpotenziale solcher Bewegungen messen, zum Beispiel an der Oberfläche von Arm oder Bein“, erläutert der Mathematiker. „Auf diese Weise bekommen wir aber nur stark verrauschte Signale und tun uns schwer, davon ausgehend auf einzelne muskuläre

Abläufe rückzuschließen.“ Gerade beim Oberschenkel kommt die Elektromyografie an ihre technischen Grenzen, weil sie nur ein bis zwei Zentimeter tief messen kann – muskulär so richtig interessant wird es allerdings erst darunter. „Wir wollen mit realistischen Simulationen der Bewegungen und der elektrischen Potenziale deutlich tiefer kommen und so Ergebnisse liefern, die die Kolleginnen und Kollegen dann validieren können“, sagt Röhrle.

### Neuronale Ansteuerung im Modell

Seine Arbeitsgruppe rechnet mit dreidimensionalen Skelettmuskelmodellen und geht bei der Simulation nach dem Schema vor: „Aktivierung rein, Bewegung raus“. Diese Modelle sind sehr detailliert, berücksichtigen also eine hohe Zahl an Muskelfasern und deren neuronale Ansteuerung. „Unter den vielleicht 20 Forschungsgruppen weltweit, die Skelettmuskeln dreidimensional modellieren, sind wir die Einzigen, die so verfahren“, erläutert der Wissenschaftler. Noch ist es Grundlagenforschung, aber künftig werden Simulationen in verschiedenen Bereichen davon profitieren, so etwa die Sportwissenschaften. Aber auch für die möglichst natürliche Anbindung von Prothesen oder für Crashtests könnten die Ergebnisse hilfreich sein. Ein Beispiel

Im Rahmen des Forschungsprojekts KONSENS NHE entwickeln Leonardo Gizzi und sein Team ein über die Nerven gesteuertes Exoskelett für die Hand. Nicht zuletzt, um Schlaganfallpatienten den Alltag zu erleichtern.



Foto: Uniklinik Tübingen/Nicola Vitiello

für ein Forschungsprojekt, das bereits näher an der Anwendungsreife ist, heißt KONSENS NHE. Hier sind neben Röhrles Team auch das Universitätsklinikum und die Universität Tübingen sowie die Hochschule Reutlingen beteiligt. Ziel des 2017 begonnenen, auf drei Jahre angelegten Projekts ist ein alltagstaugliches Exoskelett für die Hand, das sich über die Nerven steuern lässt. „Bei der Entwicklung dieser Orthese haben wir die Situation von Schlaganfallpatienten vor Augen, die häufig Bewegungseinschränkungen der Gliedmaßen haben, dauerhaft oder vorübergehend“, sagt Dr. Leonardo Gizzi, der in Röhrles Team für das Projekt verantwortlich zeichnet. Die Orthese soll dafür sorgen, dass ein Schlaganfallpatient zum Beispiel wieder fest genug greifen und die Hand uneingeschränkt bewegen kann. Als Ausgangspunkt diente der Demonstrator eines hirngesteuerten Hand-Exosketts, der von einem internationalen Team unter Führung der Universität Tübingen entwickelt wurde. Damit gelang es, die Funktion der Hand bei Querschnittsgelähm-

ten fast vollständig wiederherzustellen. Allerdings war dieses Exoskelett nicht mobil nutzbar und sein Einsatz erforderte geschultes Personal. Das aktuelle Projekt soll deswegen ein tragbares, alltagstaugliches Exoskelett hervorbringen: Ist ein Schlaganfallpatient zum Beispiel halbseitig gelähmt, soll er es selbst anlegen können.

#### Patient und Orthese kommunizieren

Um sicher zugreifen zu können, würde das Exoskelett idealerweise mittels gemessener Hirnströme gesteuert, kombiniert mit Augenbewegungen und einer dreidimensionalen Erkennung von Gegenständen. „Für Patienten, deren Muskeln an den Händen noch aktiv sind, die aber nicht genügend Kraft aufbringen können, um sicher zu greifen, nutzen wir elektromyografische Elektroden“, erklärt Gizzi. Mit solchen Elektroden lässt sich die natürlich auftretende elektrische Spannung im Muskel erfassen. Die Signale sind, wenn man so will, auch die direkte Verbindung zu den Forschungsarbeiten

in Röhrles Team zu den Simulationen der Skelettmuskelbewegungen. „Die Orthese empfängt jedoch nicht nur Steuersignale vom Patienten, sondern gibt ihm auch ein haptisches Feedback über Vibrationsmotoren“, fährt Gizzi fort. So soll ein möglichst natürlicher Umgang mit dem Exoskelett ermöglicht werden.

Derzeit entstehen im Projekt Hardware und elektronische Steuerung, Gizzi ist für die Auslegung der elektromyografischen Elektroden am Unterarm zuständig. „Wir suchen die optimale Anordnung mit möglichst wenigen Sensoren“, sagt der Wissenschaftler. Dann folgen umfangreiche Funktionstests, zunächst mit gesunden Probanden. Sobald die Projektbeteiligten so weit sind, dass sie die Orthese

testweise einem Patienten anlegen können, geht die Arbeit erst richtig los: „Das wird eine entscheidende Phase, denn letztlich können uns nur Betroffene sagen, wie sie den Umgang mit der Orthese erleben“, verdeutlicht Gizzi. „Aussehen, Gewicht, Bedienung – all das wird mit hineinspielen und sich womöglich stark von unseren Erwartungen unterscheiden.“ Dann geht es nicht mehr nur um Technik und Funktion, wie Gizzi mit einem Vergleich zur Prothetik erläutert: „Dort hat man häufig die Erfahrung gemacht, dass ältere Patienten sich einen möglichst natürlich aussehenden künstlichen Ersatz wünschen, während für Kinder eine Prothese nicht roboterhaft und technisch genug aussehen kann.“

Michael Vogel

**150 Jahre**  
Tradition, Innovation und Qualität

Seit der Unternehmensgründung als Schlosserei im Jahr 1868 setzen wir auf handwerkliche Präzision, deutsche Ingenieurskunst und höchste Qualität.

Wir verbinden die Denk- und Arbeitsweise eines Familienunternehmens mit der eines modern geführten Konzerns.

Für unsere Kunden haben wir die Fassadentechnologie immer wieder vorangetrieben und regelmäßig Neuland betreten. Durch ihr Vertrauen in uns wurden wir zum Technologieführer im Fassadenbau.

Elbphilharmonie, Hamburg

© Cordella Ewerth

**IIIIII** **GARTNER**  
150 YEARS

Sie sind Absolvent (m/w) und suchen eine spannende Herausforderung mit guten Entwicklungsmöglichkeiten in einem internationalen Umfeld? Sie legen Wert auf flexible Arbeitszeiten, stetige Weiterbildung und ein kollegiales Miteinander?

Dann bewerben Sie sich als

#### Trainee Konstruktion/ Projektmanagement (m/w)

Das Programm beginnt am 01.04.2019 und dauert 18 Monate.

Außerdem bieten wir Studenten (m/w) der Richtung Bauingenieurwesen, Maschinenbau oder Wirtschaftsingenieurwesen die Möglichkeit zu Praktika und Abschlussarbeiten.

Nähere Informationen finden Sie unter [www.josef-gartner.de/jobs](http://www.josef-gartner.de/jobs).

## Kombinierte Schärfe Mit künstlicher Intelligenz zu besseren Aufnahmen des Körperinneren

**In der Nuklearmedizin spielen bei Diagnose und Behandlung bildgebende Verfahren eine große Rolle. Allerdings hat jede Untersuchungsmethode Schwächen, die sich zum Teil nur durch die Kombination zweier Verfahren kompensieren lassen. Mit neuen Methoden des maschinellen Lernens wollen Wissenschaftler der Universitäten Stuttgart und Tübingen gemeinsam dieses Problem ausmerzen. Die ersten Ergebnisse sind ermutigend.**

Muss ein Patient in einem Positronen-Emissions-Tomografen (PET) untersucht werden, ist das oft keine gute Nachricht. Ein Tumor oder der Verdacht auf Demenz oder Epilepsie sind laut der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin typische Indikationen, bei denen diese teure Untersuchungsmethode als angebracht gilt. Für einen Laien unterscheidet sich dieses Gerät nicht allzu sehr von den weitaus bekannteren Computertomografen (CT) oder Kernspintomografen (MRI). Und auch das Resultat der Untersuchung mit dem PET scheint gleich: zweidimensionale Schnittbilder einer Körperregion. Fachleute wie Radiologen wissen jedoch sehr wohl um die Unterschiede der Verfahren. CT und MRI liefern Aufnahmen, auf denen sich die anatomischen Strukturen wie Knochen, Gewebe und Organe erkennen lassen. Ein PET zeigt hingegen Stoffwechselfvorgänge, also Abläufe auf molekularer Ebene. Konkret auf einen Tumor bezogen könnte man sagen, dass CT- und MRI-Bilder zeigen, wo der Tumor liegt und wie groß er ist. Die PET-Bilder verraten wiederum primär etwas über seine Aktivität, so dass sich erkennen lässt, wie aggressiv er ist.

„Es ist jedoch nicht so, dass in PET-Bildern gar keine Informationen über die anatomische Struktur stecken“, sagt Karim Armanious, Doktorand am Institut für Signalverarbeitung und Systemtheorie (ISS) der Universität Stuttgart, das Professor Bin Yang

leitet. „Diese Informationen sind jedoch so unzureichend, dass ein PET häufig in Kombination mit einem CT oder MRI betrieben werden muss“ – damit die Bildgebungsverfahren ihre jeweiligen Stärken einbringen können. Das ist aktuell klinischer Alltag. Das bedeutet, dass die Untersuchung eines Patienten in so einem Tandemgerät recht lange dauert, weil ein Radiologe den doppelten Satz an Aufnahmen machen muss. Die Konsequenzen: eine zusätzliche Strapaze für den Patienten, aber auch weniger Untersuchungen pro Tag für den Betreiber und damit eine niedrigere Wirtschaftlichkeit des Geräts. Zudem ist der Patient durch die CT-Aufnahmen einer zusätzlichen Strahlenbelastung ausgesetzt. „Deshalb wünschen sich Radiologen PET-Aufnahmen, die ohne Zusatzbilder auskommen und trotzdem viele anatomische Informationen liefern“, sagt Armanious. An diesem Ziel arbeiten er und seine ISS-Kollegen gemeinsam mit Radiologen des Universitätsklinikums Tübingen.

### Neue Stars der maschinellen Lern-Verfahren

Sie benutzen hierfür Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens, sogenannte Generative Adversarial Networks (GANs). „Dabei handelt es sich um ein neues, erst vor vier Jahren vorgestelltes Verfahren, das in der Forschung derzeit ziemlich angesagt ist“, erklärt Armanious, der seinen Master in Information Technology mit der Spezialisierung Communication Engineering and Media Technology gemacht hat. Das Prinzip der GANs lässt sich mit einer Analogie erklären: Ein Kunstfälscher will die Mona Lisa so gut malen, dass sein Gemälde nicht vom Original zu unterscheiden ist. Ein Kunstexperte vergleicht das entstehende Bild mit dem Original – nicht wissend, welches die Fälschung ist. Ob der Experte das Original erkennt oder nicht, bekommt der Fälscher zurückgemeldet, erfährt jedoch nicht, woran der Kunstexperte die Fälschung erkannt hat. Also variiert er bei jedem neuen Anlauf Stil, Farben,

PET-Aufnahmen, die ohne aufwendige Zusatzbilder auskommen und trotzdem viele anatomische Informationen enthalten, daran arbeiten Wissenschaftler der Universitäten Stuttgart und Tübingen mithilfe von sogenannten Generative Adversarial Networks, kurz GANs.



Perspektive und Aussehen der Porträtierten und legt das Ergebnis wiederum dem Kunstexperten vor. Dieser senkt über jedes Bild den Daumen, solange er es vom Original unterscheiden kann.

Ein menschlicher Kunstfälscher würde vermutlich irgendwann den Mut verlieren und sich eine andere Betrugsmasche suchen. In Armanious' Experimenten sind Fälscher und Experte jedoch jeweils GANs, Algorithmen auf einem Computer. Enttäuschung kennen sie nicht, Müdigkeit auch nicht. Und es geht auch nicht um die Mona Lisa, sondern um CT-Bilder. „Nach 36 Stunden Rechenzeit auf einer High-End-Grafikkarte war das Training unserer beiden GANs so weit fortgeschritten, dass die synthetischen CT-Bilder den realen ziemlich ähnlich waren“, sagt er. „Unsere quantitativen Tests am Computer lieferten dann eine Übereinstimmung von 90 Prozent.“ Doch damit nicht genug, Armanious und seine Kollegen legten die synthetischen und die realen CT-Bilder auch sechs Ärzten vor, die in ihrem Arbeitsalltag ständig CT-Daten beurteilen müssen. Sie sollten mithilfe einer Skala die Qualität der Bilder bewerten – von eins für eine geringe Qualität bis vier für eine hohe. Dabei wussten sie nicht, welche Bilder auf echten Daten beruhten und welche synthetisch generiert wurden. „Die Ärzte gaben den realen Daten im Schnitt eine 3,3, den

synthetischen eine 3,0“, so der Wissenschaftler. Ein ziemlich überzeugendes Ergebnis.

### Die Künstliche Intelligenz wächst

„Bislang hat die Forschungs-Community nur GANs auf medizinische Fragestellungen angewandt – die ursprünglich für andere Anwendungen gemacht worden sind“, ergänzt Armanious. „Wir sind die Ersten, die ein dediziertes GAN für medizinische Zwecke von Grund auf neu entwickelt haben.“ Das Resultat sind unter anderem deutlich kürzere Bearbeitungszeiten. Das Erzeugen guter synthetischer CT-Bilder ist für die Forscher nur ein erster Schritt. Nun kommt die Arbeit mit den Daten, um PET-Bilder so zu korrigieren, dass CT-Bilder in Tandemgeräten überflüssig werden. „Hierfür vergleichen wir auf Basis der PET-Bilddaten aus Tübingen den traditionellen Weg der Bildgewinnung mit dem neuen Ansatz“, sagt Armanious. Dabei versucht das eine GAN, aus den reinen PET-Daten anatomische Informationen zu rekonstruieren, um die CT-Daten überflüssig zu machen, während das andere GAN die so erzeugten Bilder mit jenen Bildern vergleicht, die – wie bislang üblich – auf PET- und CT-Daten beruhen. Damit geht das Rennen zwischen Original und „Fälschung“ in die nächste Runde.

*Michael Vogel*

## Auf den Spuren von Superman Neuartige Blicke unter die Haut

**Es klingt zunächst wie ein wenig unwirklich: Wissenschaftler versuchen, durch die intakte Haut einen Blick in den Körper zu werfen – und zwar ohne die Zuhilfenahme von Röntgenstrahlen oder Magnetfeldern. Bildgebung mit streuenden Medien nennt sich das. Davon profitieren würde allen voran die Medizin. Dass in der Community eine regelrechte Aufbruchstimmung herrscht, zeigt auch ein Forschungsprojekt am Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart.**

Superman müsste man sein. Bekanntlich konnte er durch alle Materialien hindurchschauen, außer durch Blei. Die Wünsche von Medizinern nehmen sich dagegen schon fast bescheiden aus. Ihnen würde es genügen, wenn sie durch Gewebe blicken könnten, zum Beispiel durch die Haut. Dann ließen sich Veränderungen an Organen, Zellen oder Blutgefäßen erkennen, ohne dass es dafür eines operativen Eingriffs bedürfte. Doch ein bisschen Superman geht schon heute: Da gibt es das Röntgen, die Computer- und die Kernspintomografie, mit der sich zum Beispiel Knochen oder Organe untersuchen lassen. Allerdings ist die Auflösung dieser Verfahren eher bescheiden und mit Strahlenbelastung oder starken Magnetfeldern verbunden.

Könnten die Ärzte dagegen mit sichtbarem Licht arbeiten, wäre das viel brauchbarer, weil das die erreichbare Auflösung deutlich erhöhte. Und weil das Licht mit vielen Molekülen im Körper wechselwirkt, was zusätzliche Informationen liefern würde. Im Ansatz geht auch das heute schon. So lässt sich beispielsweise mit der optischen Kohärenz-Tomografie einige Millimeter tief in die Netzhaut blicken und auf diese Weise manche Augenerkrankung frühzeitig erkennen. Allerdings muss das Licht dafür auch nur durch den durchsichtigen Augapfel fallen. Haut stellt da schon eine größere Barriere dar: Sie ist

zwischen eineinhalb und vier Millimeter dick und scheint für sichtbares Licht undurchdringlich zu sein.

Was tatsächlich aber gar nicht stimmt, wie der Physiker Stephan Ludwig weiß. Warum die Haut undurchsichtig erscheint, erklärt der wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts für Technische Optik (ITO) der Universität Stuttgart so: „Der Großteil des Umgebungslichts, das auf die Haut fällt, wird nicht von ihr absorbiert, sondern gestreut, also in viele verschiedene Richtungen zurückgeworfen.“ Welche Möglichkeiten sich daraus für neu zu entwickelnde Mikroskope ergeben, mit denen sich durch die Haut blicken ließe, untersucht Ludwig im Rahmen seiner Promotion.

### Optisches Bauteil mit Hauteigenschaften

Bislang ist das, was Ludwig betreibt, Grundlagenforschung im Rahmen einer Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. In seinem Labor steht daher auch noch kein fertiges Gerät, sondern vorerst all die Technik, die für ein sogenanntes Streuscheibenmikroskop in der Zukunft wichtig sein dürfte. Als zu untersuchendes Objekt dient eine einfache Teststruktur mit Linien in unterschiedlichen Abständen, „wir haben aber auch schon Zwiebelzellen, Holz und Plankton abgebildet“, ergänzt der Physiker.

Ein optisches Mikroskop besteht aus einem Objektiv, vor dem sich in geringem Abstand das zu untersuchende Objekt befindet, einer weiteren Linse, mit der sich das vergrößerte Bild des Objekts betrachten lässt, oder einer Kamera, die das vergrößerte Bild aufnimmt. Die ITO-Forscher tauschen das Objektiv gegen eine vergleichsweise preisgünstige Streuscheibe aus – eine einseitig aufgeraute Glasplatte, die es für 20 Euro zu kaufen gibt. Sie repräsentiert die menschliche Haut, die optisch ähnlich wie die Streuscheibe funktioniert. Physikalisch betrachtet wirkt dieser Diffusor als Objektiv, weil auch er eine

Mit seinem Streuscheibenmikroskop kann Physiker Stephan Ludwig eine bis zu 40-fache Vergrößerung erzielen und so Strukturen bis in den Mikrometerbereich auflösen.



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

optische Abbildung erzeugt. Während jedoch ein Objektiv ein zu untersuchendes Objekt scharf abbildet, erzeugt die Streuscheibe ein ziemlich mieses, verrauschtes Bild. Eben so, wie es auch die Haut tun würde. „Aber“, wendet Ludwig umgehend ein, „in diesem Bild stecken im Prinzip noch alle Informationen über das zu untersuchende Objekt.“ Und diese lassen sich mit einigem Rechenaufwand herausdestillieren.

So erfolgt die Aufnahme eines Bildes mit dem Streuscheibenmikroskop etwa von einem Stück Holz in zwei Schritten. Zunächst dient eine Punktlichtquelle als Objekt, deren durch die Streuscheibe erzeugtes charakteristisches Lichtmuster von der Kamera erfasst wird. „Wir haben damit das Abbild des einfachsten Objekts, das es gibt: das eines leuchtenden Punkts“, erläutert Ludwig. Im nächsten Schritt erfolgt eine Aufnahme des Holzstücks durch die Streuscheibe, das dafür mit Licht der gleichen Farbe beleuchtet wird, wie sie die Punktlichtquelle hatte. Dieses Bild sieht erst einmal wieder ziemlich chaotisch aus. „Weil wir aber von der Punktlichtquelle wissen, wie die Streuscheibe das Bild verändert hat, können wir auch das tatsächliche Bild des Holzstücks mathematisch rekonstruieren.“

#### Auflösung im Mikrometerbereich

Zwar hat die Kamera nicht das gesamte gestreute Licht erfasst, so dass tatsächlich einige Informationen verloren gegangen sind. Dennoch erreicht das rekonstruierte Bild eine erstaunliche Qualität. Ludwig erzielt mit seinem Streuscheibenmikroskop eine bis zu 40-fache Vergrößerung und kann so

Ein großer Vorteil des Streuscheibenmikroskops gegenüber seinem konventionellen Pendant: Die gewünschte Vergrößerung lässt sich einfach durch das Variieren der Abstände zwischen Kamera, Streuscheibe und Objekt ändern.

Strukturen bis in den Mikrometerbereich auflösen. Zudem hat das Streuscheibenmikroskop – neben einem preiswerten Objektiv – noch weitere Vorteile gegenüber seinem konventionellen Pendant. Zum Beispiel können die Wissenschaftler die gewünschte Vergrößerung einfach dadurch ändern, dass sie die Abstände zwischen Kamera, Streuscheibe und Objekt variieren; beim gewöhnlichen Mikroskop müssten sie dafür das Objektiv wechseln. Ebenfalls vorteilhaft: Das Prinzip des Verfahrens lässt sich auch auf einen weiten Wellenlängenbereich von Infrarot bis zur Röntgenstrahlung übertragen.

Doch es gibt auch Nachteile. Grundsätzlich ist die Abbildungsqualität besser, je geringer die Vergrößerung und je kleiner das erfasste Bildfeld ist. Bislang beschränken sich die ITO-Wissenschaftler noch auf einfarbige Aufnahmen, „eine Farbbildgebung ist aber unser Ziel“, so Ludwig. Auch gibt es beispielsweise für eine Anwendung, die tatsächlich unter die Haut ginge, noch kein Konzept, wie die Beleuchtung des zu untersuchenden Objekts erfolgen könnte. „Das könnte uns mit fluoreszierenden Nanopartikeln gelingen, die in den Körper einbracht werden“, deutet der Physiker einen möglichen Ansatz an. „Letztlich“, da macht Ludwig keinen Hehl daraus, „kennt die Forschung die Grenzen der Methode noch nicht.“ Allerdings hat die Bildgebung mit streuenden Medien experimentell auch erst in den vergangenen zehn Jahren richtig an Fahrt aufgenommen. „Dafür gab es aber schon erstaunliche Fortschritte“, findet Ludwig. Und selbst wenn der Blick durch die Haut letztlich zu viel Aufwand bei zu wenig Informationsgewinn bedeuten würde, könnte die Forschung so viele Erkenntnisse bringen, dass sie Anwendungen jenseits der Medizin beflügelt: etwa für das automatisierte Fahren im Nebel, für Sicherheitskontrollen oder für das Erkennen von Farbablösungen an Kunstwerken. Superman lässt grüßen.

Michael Vogel

## Der richtige Riecher für exakte Diagnostik Präzisionsspektroskopie misst winzige Stickoxid-Gasmengen dank Rydberg-Anregung

**Die Nase eines Hundes ist hunderttausendmal empfindlicher als die eines Menschen. Durch entsprechendes Training kann der „beste Freund des Menschen“ sogar bestimmte Krankheiten beim Menschen riechen. Physiker der Universität Stuttgart treten nun in Konkurrenz zu den begabten Vierbeinern: sie bauen eine künstliche Nase, die noch deutlich sensibler ist als ihr natürliches Vorbild.**

Im Gegensatz zur Hundenasole soll das neue Messverfahren nicht nur bestimmte Substanzen in der Atemluft erkennen, sondern auch deren exakte Konzentration im zeitlichen Verlauf bestimmen. Das Verfahren, dessen sich Prof. Tilman Pfau und sein Team vom 5. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart zusammen mit dem interdisziplinären Zentrum für Integrierte Quantenwissenschaft und Quantentechnologie (IQST) für ihre Messungen bedienen, nennt sich optogalvanische Rydberg-Spektroskopie. Dabei konzentrieren sich die Physiker zunächst darauf, Stickstoffmonoxid (NO) zu messen. „Mit unseren Lasern bringen wir bestimmte Moleküle – in unserem Projekt sind es Stickstoffmonoxid-Moleküle – in einen hochangeregten Zustand. Bei diesem sogenannten Rydberg-Zustand ist ein Elektron nur noch lose an den Atomkern gebunden. Sobald die Moleküle in der Gaswolke aufeinanderstoßen, werden sie ionisiert“, erklärt Projektmitarbeiter Harald

Kübler. Die dadurch entstandenen Ladungen werden gezählt und geben Rückschluss auf die Anzahl der Stickstoffmonoxid-Moleküle in der Probe. „Unser Gassensor ist in der Lage, NO-Konzentrationen von weniger als 10 ppm, das sind zehn Teilchen pro einer Million Teilchen, zu detektieren. Das funktioniert bei atmosphärischem Druck und ist in der Genauigkeit derzeit nur durch die Art und Weise begrenzt, wie wir Gasverdünnungen herstellen“, fasst Pfau den Stand der Forschung zusammen. Ein weiterer Vorteil neben der Präzision der Messungen ist, dass sich der Strom relativ schnell messen lässt und damit auch schnellere Veränderungen in der NO-Konzentration messtechnisch zugänglich werden.

#### Kooperation mit Universität Ulm

Rydberg-Atome, benannt nach dem Schweden Johannes Rydberg, gewinnen in der Quantentechnologie schon seit geraumer Zeit an Bedeutung. Am IQST werden die Möglichkeiten untersucht, wie sich mit Rydberg-Zuständen längerfristig neuartige Verfahren industriell nutzen lassen. Im aktuellen Projekt des IQST geht es darum zu erforschen, inwieweit der optogalvanische Gassensor auf Basis von Rydberg-Atomen für die medizinische Präzisionsdiagnostik nutzbar wird und neue medizinische Erkenntnisse liefern kann. Dafür wird das Verfahren von Pfaus Institut theoretisch untersucht, weiter optimiert und im Verbund mit dem Institut für Analytische und Bioanalytische Chemie der Universität Ulm unter Leitung von Prof. Boris Mizaikoff mit existierenden Messverfahren verglichen.

„Anfangs war unsere Motivation eine andere“, erzählt Experimentalphysiker Pfau. „Wir wollten unsere Spektroskopietechnik verbessern und elektronische Bauelemente in eine solche Gaszelle einbauen. Dabei ist uns klargeworden, dass mit dieser Kombination aus hochgradig miniaturisierter Elektronik und den Rydberg-Atomen ein neuartiges Sensorprinzip möglich wird,



Foto: Stock/synto

mit dem man sehr kleine Konzentrationen von bestimmten atomaren oder molekularen Gasen nachweisen kann.“ Im nächsten Schritt wollen die Wissenschaftler dieses Sensorprinzip zur Analyse von relevanten Molekülen im ausgeatmeten Atemgas, also beispielsweise dem oben erwähnten Entzündungsbiomarker Stickstoffmonoxid (NO) und anderen Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), anwenden und testen. Hier wird die Expertise des Biochemikers Boris Mizaikoff relevant. Neben erhöhter Präzision geht es dann vor allem um Parameter wie einfachere Anwendbarkeit und Kosten in der Herstellung und im Praxisalltag.

#### Relevanz für Umweltanalytik

Die Gassensorik ist nicht nur für die Atemgasanalyse, sondern auch für die Messung von Stickoxiden in der Umweltanalytik geeignet. Etwas überspitzt gesagt: Mit diesem Verfahren, so es schon marktfähig und in der Breite ausgerollt gewesen wäre, hätte es den Dieselskandal vielleicht nie gegeben. Ein derart präzises und gleichzeitig kleines Messinstrument hätte sich mühelos am Fahrzeug anbringen lassen und die Diskrepanz zwischen Wunsch und Wirklichkeit in puncto Stickoxidausstoß umgehend angezeigt. Zwar sind die Anforderungen an die Sensoren im Bereich Autoabgase vor allem durch die dort vorherrschenden

hohen Temperaturen von um die 1.000 Grad Celsius immens. Doch auch, wenn es auf dem Weg der Rydberg-Gassensorik ins Automobil noch einige technische Hürden zu nehmen gilt, überwiegen die Vorteile: Sie lässt sich sehr selektiv für ein bestimmtes Molekül einsetzen und bestimmt höchst sensibel dessen Anteil in einem Gasgemisch. Beim Autoabgas etwa werden Hunderte von verschiedenen Molekülen ausgestoßen. Trotz dieser komplexen Matrix gelingt es hier – wie im Atemgas das Stickstoffmonoxid – Moleküle anzuregen und diese exakt zu messen.

#### Diagnostisches Neuland

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal des neuen Verfahrens ist die Messbarkeit von NO-Konzentrationen entlang eines Zeitstrahls, also die Konzentration des in den ersten sowie in den darauffolgenden Millilitern ausgeatmeten Atemgases. Zwar weiß man schon länger, dass es möglich ist, über Rydberg-Zustände Moleküle sehr selektiv anzuregen; in seiner praktischen Anwendung steckt diese Form der Gasanalyse aber noch in den Kinderschuhen. „In den kommenden Jahren wird sich genauer herausstellen müssen, welche neuen Informationen wir mit dem Sensor gewinnen können und was diese bedeuten“, so Pfau. Welche medizinische Aussage

etwa hinter kontinuierlich zeitaktuellen Messungen stecken kann, wenn also im Atem beispielsweise am Anfang viel und am Ende wenig NO enthalten ist, ist bis dato unbekannt und ein weiterer Forschungsbestandteil, an dem Pfau und Mizaikoff gemeinsam arbeiten. „Wenn sich das Messprinzip als so empfindlich herausstellt, wie wir es erwarten, gibt es sicherlich noch andere Anwendungsmöglichkeiten“, nähren die Wissenschaftler den Wunsch nach neuartigen Diagnoseverfahren.

#### Vom Großlabor zur Chipgröße

Die „künstliche Nase“ hat derzeit noch die Größe einer überdimensionierten Tischtennisplatte. Sie ist gespickt mit einem Labyrinth optischer Komponenten, die den Laserstrahl fokussieren, um exakte Messungen zu erlauben. So lassen sich die angelegten Prozesse gut messen und bei Bedarf nachjustieren. Wenn es einwandfreie Ergebnisse liefert, soll das voluminöse Spektroskopie-Laboratorium mit all seinen Funktionen auf einen Chip in der Größe eines Fingernagels geschrumpft und in eine Glaszelle ähnlich einer Pipette eingebaut werden. „Der eigentliche Messkopf kann sehr klein werden, aber die Laser als Lichtquellen, die wir für das Messverfahren benötigen, sind noch relativ groß und lassen sich in den

kommenden Jahren wohl auch nicht dramatisch verkleinern“, sagt Pfau. Um die Miniaturisierung dieser Zelle voranzutreiben, arbeiten die Physiker seit einiger Zeit eng mit Ingenieuren der Elektrotechnik um die Professoren Norbert Frühauf und Jens Anders in Stuttgart zusammen. Frühauf, Leiter des Instituts für Großflächige Mikroelektronik und Experte für hochauflösende Bildschirmtechnologie, hatte frühzeitig die Idee, die für das Auslesen des Stroms benötigte Elektronik direkt in die Rydberg-Gaszelle zu integrieren, um auf diese Weise einen kompakten Sensor zu erzeugen. Anders, der das Institut für Intelligente Sensorik leitet, beschäftigt sich seit längerem mit dem Entwurf hochempfindlicher und vor allem schneller Stromausleseschaltungen. Anders und seine Arbeitsgruppe bedienen sich für den Entwurf ihrer Elektronik sogenannter CMOS-Halbleitertechnologien, also der Technologien, die auch für die Hauptprozessoren in Computern zum Einsatz kommen. So benötigt die Elektronik nur noch einen winzigen Bruchteil der Fläche der sperrigen Elektronik, wie sie derzeit am 5. Physikalischen Institut zum Einsatz kommt. Und eignet sich folglich hervorragend für die angestrebte Miniaturisierung der Zellen.

Aktuell geht es den Ingenieuren darum, die Elektronik noch rauschärmer zu machen. Auf diese Weise könnte eine Empfindlichkeit von Teilen pro Billion erreicht werden, das ist jener Bereich, der für die exakte Atemgasanalyse relevant ist. Dann könnte es die Elektronik mit der Hundesnase aufnehmen, oder sie sogar übertreffen. Da die Mikrochips – gerade auch bei größeren Stückzahlen – extrem günstig zu fertigen sind, ist der von Pfau, Frühauf und Anders verfolgte Ansatz auf lange Sicht sehr vielversprechend für eine Kommerzialisierung. Vorerst ist es den drei Wissenschaftlern gelungen, den ersten Prototyp einer bereits deutlich verkleinerten Rydberg-Gaszelle zu entwerfen.

Susanne Roeder

Prof. Tilman Pfau und sein Team vom 5. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart haben zusammen mit dem IQST Ulm die sogenannte optogalvanische Rydberg-Spektroskopie entwickelt. Derzeit hat das Verfahren noch die Größe einer überdimensionierten Tischtennisplatte. Sobald das voluminöse Spektroskopie-Laboratorium einwandfreie Ergebnisse liefert, wird es auf einen Chip in der Größe eines Fingernagels geschrumpft und in eine solche Glaszelle eingebaut.



## Gebautes Wohlbefinden

### Bauphysiker forschen an Büroräumen, die Gesundheit und Leistung fördern

**Ein Kollege will telefonieren, zwei weitere unterhalten sich und der vierte soll konzentriert eine Aufgabe lösen: eine alltägliche Herausforderung in Tausenden von Büros. Wie aber lassen sich neben dem Schall auch Raumbedingungen wie Temperatur und Licht so regeln, dass sich Beschäftigte wohlfühlen, gesund bleiben und leistungsfähig arbeiten können? Dieser Frage gehen die Forscher am Institut für Akustik und Bauphysik (IABP) der Universität Stuttgart nach. Sie wollen Empfehlungen geben, wie der Büroraum der Zukunft aussehen kann.**

Als der Mensch anfing, Behausungen zu errichten, wollte er sich gegen die Witterung schützen. Und natürlich auch für sich und die Seinen mehr Komfort und Wohlbefinden schaffen. „Seit etwa 100 Jahren

setzt sich in baulichen Regelungen der Gedanke durch, dass Gebäude mehr sind als ein Witterungsschutz“, erklärt Prof. Philip Leistner. Er leitet das IABP und das mit ihm verbundene Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP). Mit den ersten Baunormen rückte in der Mitte des 20. Jahrhunderts ein Mindestschutzniveau in den Fokus. Die Erkenntnis, dass die Bedingungen in Räumen, in denen sich Menschen aufhalten, eine zentrale Bedeutung für deren Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit haben, wird jedoch nur teilweise anerkannt. Wobei Leistungsfähigkeit nicht in dem Sinn zu verstehen ist, „dass man zum Beispiel in Büros das letzte Quäntchen Leistung aus den Beschäftigten herauspresst“, betont der Wissenschaftler. Sie sollen

Des einen Freud, des anderen Leid: „Geselligkeit“ im Großraumbüro verhilft manch einem zu mehr Kreativität, manch anderer verliert die Konzentration.



Foto: Streck/mooshny



Welche Faktoren sind entscheidend für unsere Leistungsfähigkeit? Dafür befragen die Bauphysiker die Nutzer der Räume und messen die bauphysikalischen Parameter.

Foto: Fraunhofer IBP

vielmehr Bedingungen vorfinden, unter denen sie ihre Tätigkeit motiviert, konzentriert und effizient erledigen können. Um nach den täglichen acht Stunden Arbeit ihre Freizeit zu genießen „und bei möglichst guter Gesundheit aus dem Arbeitsleben auszuschneiden“, so Leistner.

#### Nicht nur Ansichtssache

Bislang werden Gebäude als starr oder stationär gesehen, obwohl sich die Bedingungen innen wie außen ständig ändern. An einem Zukunftsthema forschen daher die Bauphysiker gemeinsam mit zahlreichen anderen Instituten der Uni Stuttgart innerhalb des Sonderforschungsbereichs 1244 „Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen“. „Wir gehen der Frage nach: Wie müsste eine Fassade auf wechselnde Bedingungen bei Wärme, Wind oder Geräuschen reagieren, damit innen immer ein behagliches Klima herrscht“, berichtet Leistner. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert den SFB 1244 noch bis 2021 mit zunächst zehn Millionen Euro.

Zentraler Ansatzpunkt des Teams am IABP ist aber eine „Kommunikationsaufgabe“, wie Leistner es nennt: „Wenn wir einen Raum gestalten wollen, können wir die Menschen nicht fragen: ‚Wie viel

Grad Celsius bevorzugen Sie?‘ oder: ‚Wie viel Dezibel Lautstärke oder welchen CO<sub>2</sub>-Anteil in der Luft möchten Sie?‘. Mit genau diesen Werten müssen Ingenieure aber planen und gestalten.“ Daher befragen die Bauphysiker die Nutzer der Räume und messen gleichzeitig die bauphysikalischen Parameter – sowohl in Laborversuchen als auch direkt in der gewohnten Arbeitsumgebung. Ein Labortest kann beispielsweise so aussehen, dass die Probanden bestimmte Aufgaben erfüllen müssen und währenddessen die Raumtemperatur schrittweise verändert wird. Die Bauphysiker untersuchen so, bei welchen Bedingungen die Aufgaben am besten erledigt und die Behaglichkeit am höchsten bewertet werden. Damit können sie den Planern genau die Werte liefern, die diese benötigen. „Interessanterweise stehen die einzelnen Raumparameter in Wechselbeziehungen zueinander“, berichtet der Institutsleiter: Bei unterschiedlichen Temperaturen empfinden die Probanden auch ein konstantes Geräusch unterschiedlich laut.

#### Das ideale Büro hängt von der Tätigkeit ab

Ob und wie behaglich und gesundheitsfördernd ein Büro ist, hängt davon ab, was darin geschieht: „Wir fragen immer zuerst nach dem Tätigkeitsprofil und

der Arbeitsorganisation. Diese Informationen verbinden wir mit den bauphysikalischen Anforderungen und entwickeln die Arbeitsraum-Bedingungen, die anzustreben sind“, so Leistner.

#### Kein Luxus, sondern bares Geld wert

Mit ihren Ergebnissen und Empfehlungen treffen die Bauphysiker in den Unternehmen meist auf zwei Positionen. Da ist einerseits der Betriebsrat, den vor allem interessiert, wie sich bauphysikalische Mängel als physische und psychische Belastungen auswirken. Dem gegenüber steht die Geschäftsführung eines Unternehmens, die von den Bauphysikern wissen will, wie die Produktivität oder gar der Umsatz steigen könnten, wenn sie in Klimatisierung, Akustik oder regelbares Licht investiert. Welches Potenzial darin steckt, verdeutlicht Leistner wie folgt: Nimmt man je Mitarbeiter Personalkosten von 60.000 Euro im Jahr an, verursacht schon ein Leistungsverlust von zwei Prozent, der sich durch bauphysikalische Maßnahmen verhindern ließe, 1.200 Euro Kosten – pro Kopf und Jahr! „Obwohl sich die Investition in gute Bauphysik lohnt, werden diese Kostenpositionen viel

zu oft dem Sparzwang geopfert“, beklagt Leistner. Und verweist auf den Sommer 2018: Er habe wieder verdeutlicht, dass hitzebedingte Leistungseinbußen oder Abwesenheit deutlich mehr kosten als eine Klimaanlage. „Immer noch müssen sehr viele Menschen mit einer Umgebung zurechtkommen, die Gesundheit, Komfort und Leistungsfähigkeit beeinträchtigt, statt sie zu fördern“, so Leistner. „Unsere Forschungsergebnisse klingen manchmal nach Empfehlungen für Luxusräume. Sie richten sich aber auf die alltäglichen 90 Prozent unserer Lebenszeit, die wir in Räumen verbringen.“

Daniel Völpel

#### Energieeffizienz mit Wohlfühlfaktor

Mit möglichst geringem Energieeinsatz ein behagliches Raumklima schaffen – das ist auch ein zentrales Anliegen des neuen Instituts für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) der Universität Stuttgart, das am 1. Juli durch die Zusammenführung der Institute für Gebäudeenergetik (IGE), für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) mit seinem Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS) sowie für Energiespeicherung (IES) entstanden ist. Forschungsziele sind unter anderem die

Verbesserung der energetischen Standards von Gebäuden und Anlagentechnik als Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs, der Emissionen sowie zur Erhöhung der Energieeffizienz. Ebenso wollen die rund 60 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die energetische Funktion und die Raumluftqualität des Gesamtsystems „Gebäude“ bzw. „Quartier“ optimieren und zu Fortschritten in der Einbindung von erneuerbaren Energien, insbesondere der Solarthermie, in heiz- und raumluftechnische Systeme beitragen. red

## Servolenkung fürs Knie

### Am Institut für Medizingerätetechnik entstehen Hilfssysteme nach dem „KISS“-Prinzip

**Ob Kniegelenk-Orthesen oder komplette OP-Säle: Wie medizinische Geräte von Ärzten und Patienten angenommen werden, misst sich nicht nur in Leistungsparametern. Sie müssen auch ergonomisch, leicht bedienbar und möglichst günstig sein. Das Institut für Medizingerätetechnik der Universität Stuttgart setzt bei der Entwicklung daher auf das Prinzip „Simple and Save“.**

Ein scharfes Surren durchdringt den Raum, zwei Angelschnüre verzwirbeln sich, zügig bewegen sich die angewinkelten Schienen des Geräts auf dem Schreibtisch von Prof. Peter Pott in Richtung Gerade. „So, jetzt würde er stehen“, sagt der Leiter des Instituts für Medizingerätetechnik und meint damit einen Menschen mit Knieproblemen. Die Vorrichtung ist der Demonstrator für eine aktive Knieorthese, die Patienten zu mehr Mobilität im Alltag verhelfen und gerade älteren Menschen einen längeren Verbleib in den eigenen vier Wänden ermöglichen soll. „Wer zum Beispiel wegen einer Arthrose nicht mehr vom Stuhl hochkommt, kann auch nicht mehr selbstständig zur Toilette und wird schnell zum Pflegefall“, verdeutlicht Pott den Nutzen einer solchen Orthese.

Aktiv heißt in dem Fall, dass die Orthese den Bänderapparat im Gegensatz zu klassischen Modellen nicht nur entlastet und stabilisiert. Sie bringt vielmehr eine Kraft beziehungsweise ein Drehmoment ein und unterstützt so aktiv das betroffene Gelenk. Dies geschieht mithilfe eines preisgünstigen, dynamischen Leichtbuantriebs, bestehend aus Motor und Getriebe. „Man kann sich das wie bei einer Servolenkung vorstellen“, erklärt Pott. Bei dieser verstärkt – vereinfacht gesagt – ein kleiner Motor die vom Fahrer aufgebrachte Kraft und erleichtert ihm so das Lenken. So einfach das Prinzip, so vielfältig sind die daraus resultierenden Fragen. Denn die Ak-

zeptanz von Medizintechnik-Produkten hängt ganz wesentlich von deren Alltagstauglichkeit ab. Und da geht es oft um ganz banale Anforderungen: Ob die Orthese zum Beispiel unter einer langen Hose Platz findet, ob sie leise und leicht ist und ob sie energieeffizient arbeitet. „Keep it simple and save“ lautet denn auch Potts Leitgedanke in Anlehnung an das viel zitierte Kiss-Prinzip, ein Paradigma zur Reduktion von Komplexität. „Für uns heißt das, nach Systemen zu suchen, die einfach sind. Und zwar nicht im Sinne von simpel oder billig, sondern im Sinne von technologisch so ausgereift, dass sie nicht mehr aufwendig sind“, erklärt Pott. Manchmal ist dieser Ansatz konträr zum Denken der Industrie, in der der Mannheimer ein Jahr lang gearbeitet hat: „Uns geht es nicht um die ‚Platin-Lösung‘, nicht um immer weiter nach oben getriebene Leistungsparameter,

sondern um Systeme, die den Menschen helfen.“ Und das auch in Ländern, in denen nicht so viel Geld im Gesundheitssystem steckt wie in Deutschland.

### Standardroboter statt Speziallösungen

Diese Denkweise gilt nicht nur für den Orthesen-Demonstrator, sie gilt für die gesamte Infrastruktur, die das erst vor einem Jahr gegründete Institut derzeit aufbaut. So steht im Labor nebenan ein handelsüblicher kleiner Industrieroboter. Pott und sein Team wollen herausfinden, ob man das hochpräzise Gerät so weiterentwickeln kann, dass es für die spezifischen Bedingungen in der roboterassistierten Chirurgie taugt. Dazu gehören Fragen der Sterilisierung, der Interfaces zu den medizinischen Instrumenten oder auch der Steuerung. An letztere sind bei Medizinrobotern besonders hohe Anforder-



„Keep it simple and save“: Die aktive Knieorthese, die am Institut für Medizingerätetechnik entwickelt wird, verhilft Patienten zu mehr Mobilität im Alltag.

Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko



1. Jessica Alice Hahn; 2. Achim Merde; 3. bloomimages; 4. Brigida Gonzalez; 5. Johannes Vogt; 6. Christian Richters; 7. Diemar Strauß.

## 35.752 km<sup>2</sup>, um sich selbst zu verwirklichen.

### Vermögen und Bau Baden-Württemberg

Wenn wir morgens zur Arbeit gehen, wissen wir genau wofür. Dafür, dass im Land alles nach Plan läuft, das Immobilienvermögen erhalten bleibt, Forschung und Lehre stattfinden können und unsere Kulturdenkmäler auch zukünftig eine breite Öffentlichkeit begeistern.

Informieren Sie sich jetzt über eine Karriere als Ingenieurin oder Ingenieur, Architektin oder Architekt unter: [www.vermoegenundbau-bw.de](http://www.vermoegenundbau-bw.de)

**Wir bauen Baden-Württemberg.  
Bauen Sie mit.**



**Baden-Württemberg**

VERMÖGEN UND BAU

ungen zu stellen, um Verletzungen zu vermeiden. Der Versuch, Medizintechnik nicht mit Speziallösungen, sondern auf der Basis von Standardgeräten zu realisieren, könnte sich lohnen. „Operationsroboter wie das derzeit sehr populäre DaVinci-System kosten schnell 1,5 Millionen Euro“, sagt Pott. „Ein Industrieroboter wie dieser dagegen ist ab 10.000 Euro zu haben.“ Die Untersuchungen könnten also dahin führen, dass OP-Roboter deutlich günstiger werden und sich damit die Verfügbarkeit der Geräte erhöht.

### Saubere Luft im OP

In einem weiteren Labor wird derzeit ein Experimental-Operationsaal eingerichtet. Hier können Forschende und Studierende live erleben, was in einem OP aus technischer Sicht geschieht, zudem werden Usability-Tests durchgeführt. Im Mittelpunkt steht die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine: Wie sollten Instrumente um den Patienten herum angeordnet sein, wo sind die Zugänge, wo stehen die Ärztinnen und Ärzte? Auch der Industrieroboter von nebenan könnte nach seiner Metamorphose zum Medizingerät hier auf das Zusammenspiel

mit anderen OP-Elementen hin getestet werden. Seed-Projekte nennt Pott derartige Investitionen in die Infrastruktur: Anlagen, an denen man einfach etwas ausprobieren kann und die zum Nukleus für weitere Projekte werden sollen.

Derzeit untersucht eine Studentin im Rahmen ihrer Bachelor-Arbeit im Studiengang Medizintechnik die Luftströme im OP. Genau genommen geht es ihr um das sogenannte Laminar-Airflow-System, das für hygienisch einwandfreie Luft im OP sorgt. Bei diesem System wird die Luft wirbelfrei von oben auf und um den Patienten herumgeleitet, so dass Keime nach unten weggedrückt und schließlich aufgesaugt werden. Das Problem dabei: Anästhesieampeln, OP-Geräte oder Lampen stören diesen Luftstrom, weil sie Hindernisse bilden, teilweise auch Wärme abgeben und dadurch zu Verwirbelungen führen. Durch die Infrastruktur im Experimental-OP haben Forschende und Studierende die Möglichkeit, auch Einflüsse von Systemkomponenten oder Peripherie auf den Luftstrom, die Hygiene oder den Energieverbrauch zu untersuchen.

Andrea Mayer-Grenu

## Kabellose Energie für starke Herzen

### Induktive Energieübertragung soll Herzunterstützungssysteme verbessern

**Wenn das Herz schwächelt und Medikamente nicht mehr helfen, brauchen viele Patienten ein Spenderherz. Um die oft lange Wartezeit zu überbrücken, kommen künstliche Herzpumpen zum Einsatz. Deren Energieversorgung läuft über Kabel – und ist ein Einfallstor für Infektionen. Forscherinnen und Forscher des Instituts für Elektrische Energiewandlung (IEW) der Universität Stuttgart wollen mittels induktiver Energieübertragung mehr Sicherheit und Lebensqualität schaffen.**

Als Prof. Nejila Parspour vor mehr als 20 Jahren an der Technischen Universität Berlin promovierte, waren künstliche Herzpumpen in aller Regel noch nicht implantierbare Maschinen, die den Patienten kaum Bewegungsfreiheit ließen. Die Expertin für Energiewandlung entwickelte damals in Kooperation mit dem Deutschen Herzzentrum einen Antrieb für ein faustgroßes, sicheres, implantierbares Herzunterstützungssystem mit hohem Wirkungsgrad, das erfolgreich zum Einsatz kam. Heute sind solche Systeme deutlich kleiner, leistungsfähiger und einfacher zu handhaben. Das Kabel, das durch einen künstlichen Ausgang in der Bauchdecke die implantierte Pumpe mit der externen Steuerung und den Batterien verbindet, blieb Parspour als Problem jedoch stets im Hinterkopf.



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

„Herzstück“ der Herzpumpe: Der Prototyp basiert auf zwei flachen Spulen mit einem Durchmesser von zirka acht Zentimetern.

„Dieser Ausgang ist ein Einfallstor für lebensbedrohliche Infektionen und schränkt die Mobilität der Betroffenen ein“, erklärt die heutige IEW-Leiterin der Universität Stuttgart. Rund 1.000 Herzunterstützungssysteme wurden nach Angaben der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) hierzulande im Jahr 2016 implantiert – fast dreimal mehr als im Jahr 2005. In den meisten Fällen handelt es sich um sogenannte linksventrikuläre Unterstützungssysteme, also Pumpen, die mit der linken Herzkammer und der Hauptschlagader verbunden sind, das Blut mit einer kontinuierlichen Strömung durch den Körper transportieren und dafür sorgen, dass er genügend Sauerstoff bekommt.

#### Sicherheit und Lebensqualität

Die externe Elektronik tragen die Patientinnen und Patienten immer bei sich. Aus der Klinik entlassen, müssen sie den künstlichen Ausgang penibel versorgen, damit über das Kabel keine Keime zum Herzen gelangen. So werden schon Alltagstätigkeiten wie Duschen zum Problem. „Wenn es uns gelingt, die Energie kabellos zu übertragen“, erklärt IEW-Wissenschaftler Alexander Enssle, „können wir die Sicherheit der Patienten erhöhen und ihnen das Leben erleichtern.“ Mit seinen Forschungen dockt Parspours Doktorand an Technologien und Entwicklungen aus der induktiven Energieübertragung an, die bislang unter anderem in kabellosen Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge geflossen sind,

Bei der induktiven Energieübertragung erzeugt eine mit Strom durchflossene Spule ein Magnetfeld, das in einer zweiten Spule eine Spannung induziert. Schließt man einen Verbraucher an die zweite Spule an, fließt Strom.

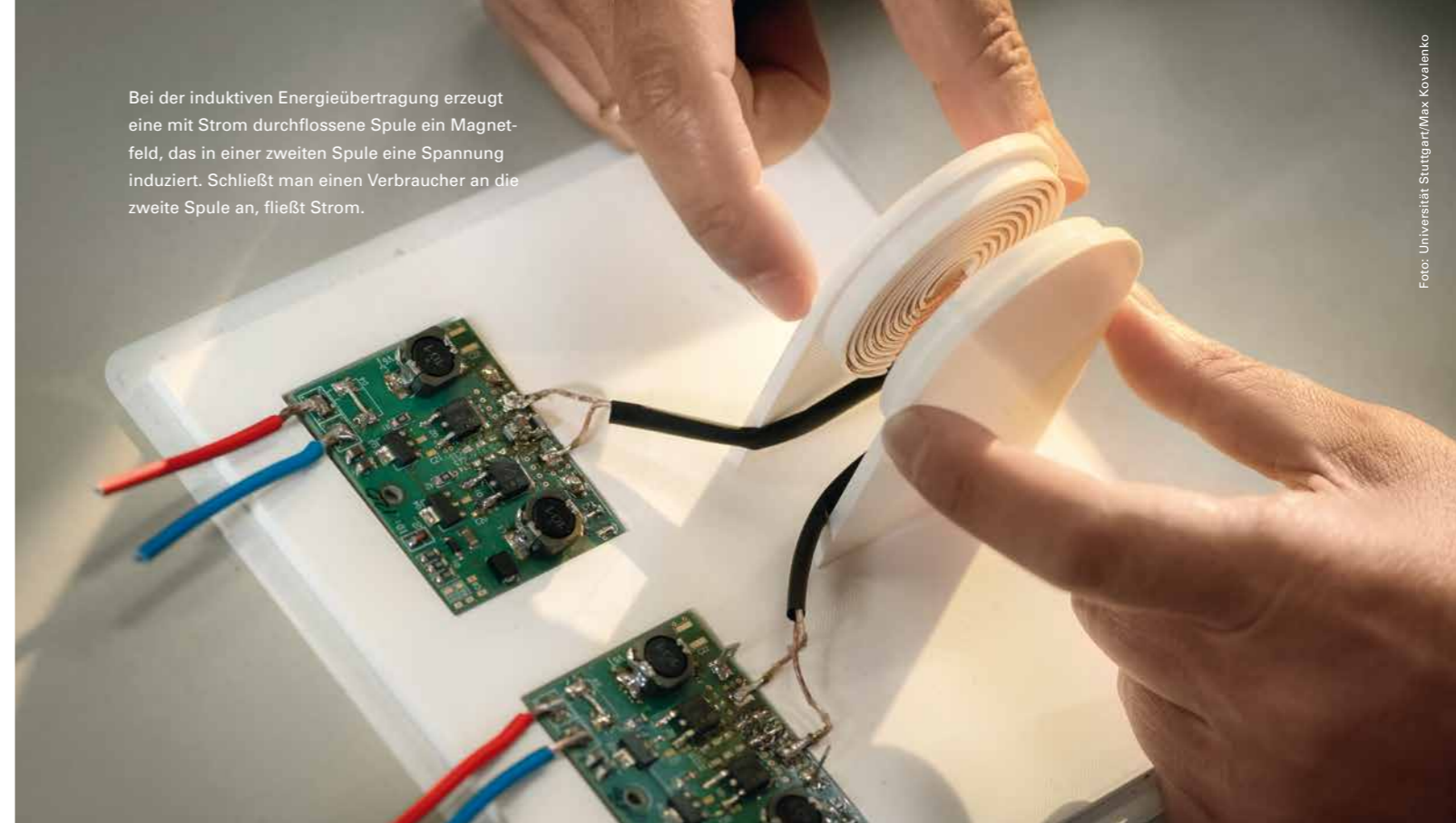


Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

und überträgt sie auf die Lebenswissenschaften. Handys, Laptops, Autos und nun auch Herzpumpen: „Wir betreiben Grundlagenforschung für Anwendungen, die eine bessere Mobilität ermöglichen“, erklärt Parspour. Das physikalische Phänomen dahinter ist schon lange bekannt. Eine mit Strom durchflossene Spule erzeugt ein Magnetfeld, das in einer zweiten Spule eine Spannung induziert. Schließt man einen Verbraucher an die zweite Spule an, fließt Strom. „Dies auf ein medizintechnisches System im menschlichen Körper zu übertragen, bedarf mehrjähriger Forschungsarbeit“, betont Enssle.

#### Ein komplexes kontaktloses System

Der Prototyp, den der Wissenschaftler in Kooperation mit Experten für Herzchirurgie der Medizinischen Hochschule Hannover entwickelt hat, basiert auf flachen Spulen von etwa acht Zentimetern Durchmesser. Die erste befindet sich außerhalb des Körpers, kann – zum Beispiel im Brustbereich – in ein Kleidungsstück eingenäht werden und ist mit der externen Elektronik verbunden. Die zweite Spule wird nebst Steuerungselektronik, Akkus und Verbindung zur mechanischen Pumpe im Brust- oder Bauchbereich unter die Haut implantiert. Das von

Spule eins außerhalb des Körpers erzeugte Magnetfeld kann Energie zu Spule zwei übertragen, ohne dass die Haut verletzt wird. Was zunächst überschaubar klingt, bedarf allerdings einer komplexen Feinjustierung.

Hierfür stimmt Enssle alle implantierten elektronischen Elemente so aufeinander ab, dass sie miniaturisiert, sicher und mit dem bestmöglichen Wirkungsgrad funktionieren. Um diesen zu erreichen, legt er mithilfe magnetischer Feldberechnungen beide Spulen so aus, dass er sie optimal magnetisch koppeln kann und dennoch eine gewisse Toleranz für ihre Positionierung im und am Körper bleibt. Da überall dort, wo Energie umgesetzt wird, auch Wärme entsteht, ist das Übertragungssystem zudem so ausgelegt, dass die Wärmeverluste überwiegend außerhalb des Körpers auftreten. Die Patientinnen und Patienten können die externe Energieversorgung abnehmen und gewinnen so – zunächst für maximal eine Stunde – Bewegungsfreiheit und damit ein Stück mehr Unabhängigkeit. In rund drei Jahren soll das im Labor bereits erfolgreich getestete System, das für alle Formen von Herzunterstützungssystemen einsatzfähig sein soll, in die präklinische Erprobung gehen.

Jutta Witte

## Lebenslang für Schadstoffe

### Nicht kurzfristige Spitzenbelastungen sind es, die der Gesundheit dauerhaft schaden

**Die Belastung mit Feinstaub und Stickoxiden am Neckartor in Stuttgart beschäftigt Stadt und Politik. Die Werte sind so hoch, dass sie gesundheitsschädigend sein können. Aber wer hält sich dort tatsächlich dauernd im Freien auf? Innerhalb eines EU-Forschungsprojekts ermitteln Prof. Rainer Friedrich und sein Team am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, welchen Schadstoffen die Menschen dort ausgesetzt sind, wo sie die meiste Zeit ihres Lebens verbringen. Die Ergebnisse zeigen Handlungsbedarf nicht nur beim Straßenverkehr.**

Die Gesundheit eines Menschen wird von zwei Faktoren maßgeblich beeinflusst: Dem Genom, also den Erbanlagen, und dem Exposom. Darunter verstehe man jegliche Umwelteinflüsse, denen man während seines Lebens ausgesetzt ist, erklärt Rainer Friedrich. „Wir gehen davon aus, dass für chronische Erkrankungen und eine verringerte Lebenserwartung die Exposition über die gesamte Lebenszeit und nicht kurzzeitige hohe verantwortlich sind.“ Hier setzt das EU-Projekt HEALS (Health and Environment-wide Associations based on Large population Surveys)

an. Ziel ist es, mögliche Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und Gesundheitsschäden aufzudecken. Zu dem Forschungsprojekt mit 30 beteiligten Partnern tragen Friedrich und zwei Mitarbeiterinnen die Berechnungsbasis des Exposoms bei. „Wir sind dafür zuständig, Daten auszuwerten und Modelle zu entwickeln, mit denen sich die Beeinträchtigung durch Schadstoffen für Bevölkerungsgruppen mit bestimmten Eigenschaften berechnen lässt, also zum Beispiel nach Geschlecht oder Alter, dem Beruf oder dem Aufenthaltsort“, erklärt Friedrich. „Das ist absolut neu.“ Alle bisherigen Studien hätten höchstens jährliche Belastungen betrachtet und sich auf die Konzentrationen in der Außenluft beschränkt. Um zu seinen Aussagen zu gelangen, verwendet das Team Basisdaten aus Datenbanken, die verraten, wo sich welche Bevölkerungsgruppe wie lange aufhält – am Arbeitsplatz, in der Wohnung, im Auto – und welchen Aktivitäten sie dort nachgeht. Für Europa erstellte das Team daraus eine Zeit-Aktivitäten-Matrix. „Wir möchten für jede Person, die nach den jeweiligen Eigenschaften charakterisiert ist, die Exposition für die vergangene Lebenszeit abschätzen und auch Szenarien für die zukünftige erstellen“, sagt Friedrich. Dazu verknüpft das Team am IER die Zeit-Aktivitäten-Matrix mit den Schadstoffkonzentrationen der einzelnen Aufenthaltsorte. Und das nicht nur für Feinstaub und Stickstoffdi-

oxid, sondern auch für Ozon, Schwermetalle und elektromagnetische Strahlung. Für den toxischsten dieser Schadstoffe, Feinstaub – in englischer Sprache particulate matter (PM) – mit einem Durchmesser bis zirka 2,5 µm oder auch PM2.5, zeigte sich, dass etwa 60 Prozent aus Außenluftquellen stammen. Allen voran seien hier der Straßenverkehr, aber auch die Abluft von Holzfeuerung genannt. Zudem verursachen Gülle und Dünger aus der Landwirtschaft Ammoniakemissionen und damit sekundären Feinstaub. Wichtigste Innenraumquellen sind hingegen Passivrauchen, gefolgt vom Braten von Speisen sowie dem Betreiben von Holzöfen und dem Abbrennen von Kerzen und Räucherstäbchen. Mit der beschriebenen Methodik können die Forscher die lebenslange Exposition mit PM2.5 berechnen. Mit dem starken Wirtschaftswachstum der Nachkriegszeit ging auch eine deutliche Steigerung der Emissionen von Feinstaub und von Vorläufergasen einher, die in der Atmosphäre Feinstaub bilden. Erst in den 1980er-Jahren kam die Trendwende. Nach 1990 verringerte sich die Feinstaubexposition deutlich. Gründe waren die Wiedervereinigung mit dem Zusammenbruch von Teilen der Schwerindustrie in Ostdeutschland sowie die strengeren Grenzwerte für Luftschadstoffemissionen. Aber auch Rauchverbote in Innenräumen und freiwilliger Verzicht auf das Rauchen zu Hause gehören dazu. Seit dem Maximum

in den 1980er-Jahren ist die Exposition mit PM2.5 um fast die Hälfte zurückgegangen.

**Sieben Monate kürzere Lebenserwartung**  
Die Ergebnisse bilden die Basis für die Berechnung der Gesundheitsrisiken. Für einen jetzt 70 Jahre alten Mann etwa ergibt sich durch das Exposom mit PM2.5 eine durchschnittliche Verkürzung der Lebenserwartung von sieben, plus/minus drei Monaten – wenn man die von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen für Erwachsene annimmt. Die verlorene Lebenszeit verhält sich zudem proportional zur lebenslangen Feinstaubbelastung. „Diejenigen, die vorzeitig sterben, verlieren im Durchschnitt zehn Lebensjahre“, sagt Friedrich. Weil die Luft inzwischen weniger stark belastet ist als in den 1960er- bis 1980er-Jahren, sähe es vor allem für die nach 1970 Geborenen besser aus: Ihr Verlust an Lebenserwartung wird weniger als halb so hoch sein als derjenige der jetzt 70-Jährigen. Aus Sicht des Wissenschaftlers macht es daher mehr Sinn, Langzeit-Durchschnittswerte zu reduzieren, als kurzzeitige Belastungsspitzen zu vermeiden. Bei den Strategien zur Minderung sollten auch die Innenraumquellen einbezogen werden: und beispielsweise auf das Rauchen in den vier Wänden verzichtet und die Dunstabzugshaube beim Braten eingeschaltet werden.

*Daniel Völpel*

Die Gesundheit des Menschen wird durch seine Gene und Umwelteinflüsse geprägt. Sowohl im Positiven als auch im Negativen.



## Kleiner Muskel, große Wirkung

### Wissenschaftler arbeiten an 3D-Modellen der Harnblase, um Funktion und Erkrankungen besser zu verstehen

**Ein Team der Universität Stuttgart erforscht die bislang kaum bekannte Muskelphysiologie von Harnblase und Magen. Ziel sind 3D-Modelle für ein besseres Verständnis der Funktionsweisen und Erkrankungen dieser Organe.**

Zu behaupten, die Harnblase genieße in der Medizinforschung einen ähnlichen Stellenwert wie etwa das Herz oder das Gehirn, wäre glatt gelogen. Dabei ist die weitgehende Missachtung dieses kleinen Hohlorgans vollkommen ungerechtfertigt, denn die Blase ist für den Menschen und überhaupt alle Wirbeltiere lebensnotwendig. Ist sie in ihrer Funktion eingeschränkt, drohen schwerwiegende Folgen.

Dass vor allem die muskuläre Außenhülle der Blase in ihrer Funktionsweise noch weitgehend unverstanden ist, macht sie für Prof. Tobias Siebert, Dr. André Tomalka und Mischa Borsdorf vom Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Stuttgart (INSPO) zu einem sehr lohnenden Forschungsobjekt. Sie arbeiten seit 2014 daran, die Blase und mit ihr verbundene Krankheiten und Defekte besser zu verstehen.

#### Faszinierendes Forschungsobjekt

Entleert ist die Harnblase eines erwachsenen Menschen kaum größer als eine Kinderfaust, allerdings kann sie ihr Volumen um mehrere Hundert Prozent vergrößern und bis zu einem Liter Urin aufnehmen. Dann ist sie nicht etwa kugelförmig, sondern eher birnenförmig.

„Das Tolle an der Blase ist: Sie kann über das gesamte Volumenspektrum hinweg immer Druck erzeugen“, erklärt Siebert. Das allein macht sie für die Stuttgarter Muskelphysiologen schon faszinierend. Was jedoch geschieht, wenn die Blase erkrankt oder infolge einer Erkrankung oder einer Operation vernarbt, steht im Mittelpunkt eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten For-

schungsprojekts in Kooperation mit Prof. Markus Böl von der TU Braunschweig.

#### Blase und Magen im digitalen Modell

Ziel dieser Untersuchungen ist ein dreidimensionales, elektro-chemisch-mechanisches Digitalmodell der Blase. Auf dem Weg dahin wird erforscht, wie die Kontraktionen des Hohlorgans aus glatter Muskulatur genau funktionieren und wie sich zum Beispiel Narbengewebe auf den Muskel auswirkt. Parallel arbeiten die Wissenschaftler in Stuttgart an einem vergleichbaren Modell des Magens, dessen äußere Muskelhülle mit ihren unterschiedlichen Regionen noch ähnlich unerforscht ist wie die der Blase. Im Vergleich zur Harnblase ist der Magen allerdings nochmals deutlich komplexer aufgebaut, weil die verschiedenen Regionen des Organs jeweils andere Aufgaben übernehmen. Daher müssen die Muskelschichten des Magens auch unterschiedlich arbeiten.

#### Datensätze für Modelle

„Es gibt im Moment noch keine Modelle, die Magen oder Blase als Gesamtorgan realistisch abbilden“, erklärt Siebert. Solche Modelle am Computer zu generieren, wird das Ziel der Zusammenarbeit von Prof. Siebert und Prof. Böl sein. Zuvor jedoch müssen die notwendigen Daten erst einmal erarbeitet werden – und das ist echte Grundlagenforschung. „Für ein komplettes Modell benötigen wir auch den kompletten Datensatz, der nicht aus bereits erfolgten Untersuchungen von Nager-Blasen übertragbar ist“, so Siebert.

„Wir versuchen, die Muskeleigenschaften von Blase und Magen in verschiedenen Regionen zu bestimmen“, erklärt Siebert. Daher arbeiten die Wissenschaftler in diesem Stadium mit Streifen aus dem Muskelgewebe von Schweineblasen, die sie aus Schlachtabfällen gewinnen. Sie reizen das Gewebe, das eine große strukturelle und funktionelle Ähnlichkeit mit der menschlichen Blase hat, über elektri-

Das Gewebe von Schweineblasen hat große strukturelle und funktionelle Ähnlichkeit mit der menschlichen Blase. Die Forscher reizen das Muskelgewebe über elektrische Impulse, vermessen deren Ausbreitung und die Verformung des Muskels.

sche Impulse, vermessen deren Ausbreitung und die Verformung des Muskels. Aus solchen Experimenten setzen die Stuttgarter Forscher Stück für Stück den Datensatz des gesamten Organs zusammen.

### Neuland für Forscher

Dabei betritt das Team Neuland, weil es erstmals sichtbar machen will, wie sich ein Muskelimpuls im Gewebe ausbreitet. Anders als bei Skelettmuskeln, bei denen Muskelfasern gezielt über Nerven aktiviert werden, erfolgt die Erregungsausbreitung beim glatten Muskel quasi wellenförmig von Zelle zu Zelle. „All das ist experimentell extrem aufwendig“, betonen die Wissenschaftler, zumal das Versuchsgewebe nur etwa zwölf Stunden am Leben gehalten werden kann.

### Hocheffiziente Muskelarbeit verstehen

Wenn die Modelle für Blase und Magen funktionieren, und davon sind die Forscher fest überzeugt, können sie dazu beitragen, Tierversuche zu reduzieren und zu ersetzen. Die Modelle sollen schließlich so präzise und detailliert arbeiten, dass am Rechner Krankheiten erforscht, Operationen und ihre Auswirkungen geplant oder neue Therapiemethoden entwickelt werden können.

Eine dieser Erkrankungen ist die bislang unheilbare Interstitielle Zystitis (IC), eine Sonderform der Blasenentzündung, die vor allem Frauen mittleren Al-

Experimentell extrem aufwendig:  
Prof. Tobias Siebert (rechts) und sein Team wollen sichtbar machen, wie sich ein Impuls im glatten Muskelgewebe ausbreitet.

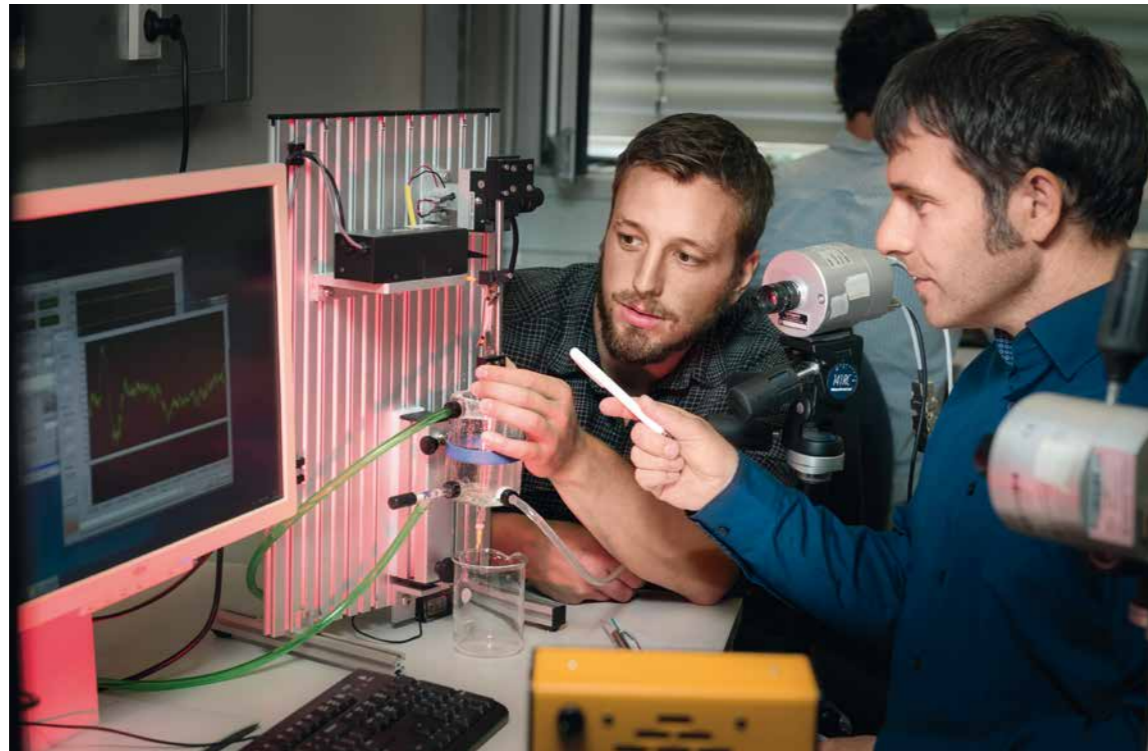


Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

ters trifft und zu gravierenden Einschränkungen der Lebensqualität führt. IC geht durch Entzündungen mit Vernarbungen der Blasenwand einher, was ihre mechanischen Eigenschaften stark verändert. Zudem haben die Forscher allgemeine Grundlagen der Muskelphysiologie im Blick. Das Grundprinzip der Muskulatur, so Siebert, sei zwar über 500 Millionen Jahre alt und in allen Muskeln zu finden. Noch sei aber unklar, wie genau die Muskelexzentrik funktioniere. Dabei ist die exzentrische Bewegung, bei der beispielsweise Skelettmuskeln für die Kontraktion „aufgeladen“ werden, ein wichtiger Baustein der hocheffizienten Muskelarbeit von Wirbeltieren. „Wir versuchen diese Funktionsweise jetzt ansatzweise zu verstehen“, sagt Siebert.

Insgesamt laufen im Team von Prof. Siebert aktuell fünf DFG-Projekte im Bereich Muskelphysiologie und Muskelmodellierung. Daneben wollen die Wissenschaftler auch der Frage der sogenannten Geschichtsabhängigkeit der Muskelkraft nachgehen. Dieses im Fachbegriff als „Force Enhancement“ bekannte Phänomen beschreibt die Kraftpotenzierung eines Muskels während exzentrischer Bewegungen. Noch ist unklar, ob dieses Phänomen auch in Blase und Magen wirkt.

Jens Eber

## Unter- und Oberirdisch: auf jeden Fall spannend!



**Jung – dynamisch – erfolgreich:** In knapp 25 Jahren ist es der VMT GmbH gelungen, sich weltweit als führender Anbieter im Tunnelbau und in der Industrievermessung zu etablieren. Die VMT Gruppe beschäftigt weltweit über 270 Mitarbeiter – am Hauptsitz in Bruchsal und an 6 weiteren Standorten: Shanghai, Seattle, Melbourne, Sankt Petersburg, Singapur und Neu-Delhi. Weil wir weiterhin wachsen möchten, **suchen wir kontinuierlich gut ausgebildete, motivierte Mitarbeiter**, die uns in allen Bereichen unterstützen und voranbringen.

**Interesse geweckt?** Dann finden Sie unsere aktuellen Stellenangebote und weitere Infos unter: [vmt-gmbh.de/jobs](http://vmt-gmbh.de/jobs)

## Wenn's der Mensch (nicht) packt Forscher arbeiten an Maßnahmen für ein attraktiveres Berufsbild in der Intralogistik

**Bisher werden Logistiksysteme vor allem unter Berücksichtigung von technischen Aspekten geplant und richten sich weniger nach den Bedürfnissen des Menschen. Wissenschaftler des Instituts für Arbeitswissenschaften (IAT) der Universität Stuttgart und des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) wollen das Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation verbessern.**

Bücken, laufen, strecken, schwere Ware hochheben, verpacken und weiter zum nächsten Regal. Bis zu 15 Kilometer läuft ein Kommissionierer täglich während seiner Arbeitszeit im Lager. Pausen sind Mangelware. „Das Personal stößt bei der Arbeit in der Intralogistik an Grenzen – körperlich und in puncto Konzentration“, sagt Dr. Dirk Marrenbach, der gemeinsam mit Dr. Martin Braun für das Projekt Präventive Prinzipien und Methoden der alters- und marktgerechten Arbeitssystemgestaltung in der Intralogistik (PREVILOG) verantwortlich ist. Die Intralogistik umfasst das Fördern, Lagern, Kommissionieren und Verpacken von Waren innerhalb eines Unternehmens. Die Arbeitsplätze sind überwiegend unattraktiv, die Löhne niedrig. Ein hoher Krankenstand und permanenter Personalmangel sind in der Branche weit verbreitet.

Hier setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt PREVILOG an. Das IAT und das IAO versuchen gemeinsam, Arbeitsgestaltungsmaßnahmen auf Seiten der Ergonomie,



Foto: Fraunhofer IAO/Martin Braun

Im Projekt PREVILOG werden Maßnahmen erarbeitet, die den Arbeitsalltag im Bereich der Intralogistik im wahrsten Wortsinn leichter handelbar machen.

Organisation und Verhaltensprävention in der Intralogistik so aufzubauen, dass das System besser abgestimmt wird. „Ziel ist es, die Jobs attraktiver zu machen“, sagt Marrenbach.

### Roboter sind (noch) keine Lösung

Denn die Arbeiter in der Intralogistik durch Roboter zu ersetzen, sei in naher Zukunft nicht möglich. „Der Mensch bleibt in diesem Bereich aufgrund seiner Flexibilität vorerst unverzichtbar. Er denkt mit und kann auf Anweisungen schnell reagieren.“

In einem ersten Schritt haben Sven Schuler und seine Kollegen vom IAT die vorhandenen Arbeitssysteme analysiert. Sie haben ein Analyseinstrument entwickelt, mit dem sie die Belastung und die Beanspruchung von Arbeitssystemen in der Intralogistik ermitteln können. Basierend auf den Ergebnissen der Analyse setzt das IAO die daraus abgeleiteten Maßnahmen in den Betrieben um.

„Zurzeit befinden wir uns in der Pilotphase“, so Marrenbach. Ein Partner benötige zum Beispiel neue Arbeitsplätze, habe aber nur wenig Platz. „Dort organisieren wir eine neue Raumaufteilung.“ Dabei gehe es um konkrete Fragen wie: Wo sollen die Regale aufgestellt werden, damit niemand anstößt?

Das Projekt zielt auch darauf ab, erfahrene Mitarbeiter und deren Fachwissen langfristig an das Unternehmen zu binden. „Bei älteren Mitarbeitern lässt zum Beispiel das Sehvermögen nach. Deshalb statten wir Arbeitsplätze mit einem besseren Licht und einer Lupe aus“, erklärt Braun. Wie erfolgreich die Maßnahmen sind, werden die Evaluierungsergebnisse bis zum Ende des Projekts im Juli 2019 zeigen.

Bettina Künzler



HR 8 1.2.03/2018/A-D

## Aufsteigen und durchstarten in Deine Zukunft!

Wir sind ein international führender Hersteller von hochwertigen Spezialprodukten der Medizintechnik und beschäftigen weltweit 7.500 Mitarbeiter in über 40 Ländern. Wir bieten kontinuierlich spannende Themen für Praktika und Abschlussarbeiten in verschiedenen kaufmännischen und technischen Bereichen an.

Schau doch rein unter [www.karlstorz.com](http://www.karlstorz.com)

Generation  
Education

KARL STORZ SE & Co. KG, Dr.-Karl-Storz-Straße 34, 78532 Tuttlingen/Germany, [www.karlstorz.com](http://www.karlstorz.com)

**STORZ**  
KARL STORZ – ENDOSKOPE



## Vorbild Schwamm

### An Strömungsprozessen verstehen, wie sich Therapien verbessern lassen

**Asphalt, Erdboden, Gehirn und Knochen haben etwas gemeinsam: Sie gelten als sogenannte poröse Medien. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Stuttgart nutzen die Ähnlichkeiten im physikalischen Verhalten, um mit Simulationen die medizinische Forschung zu unterstützen – zum Beispiel durch Fortschritte beim Verständnis der Multiplen Sklerose oder bei der Behandlung der Osteoporose.**

Das Gehirn von Kleinkindern wird oft mit einem Schwamm verglichen, weil sie in diesem Alter alle Informationen begierig aufsaugen. Über dieses sprachliche Bild hinaus gibt es jedoch noch eine viel stärkere – physikalische – Analogie zwischen Gehirn und Schwamm: Beides sind poröse Medien. Darunter sind Strukturen zu verstehen, die Hohlräume enthalten, durch die Flüssigkeiten strömen können. Auch Knochen gehören zur Familie der porösen Medien, ebenso wie Asphalt oder der Boden im Garten. Dies erklärt, warum sich Timo Koch als Ingenieur mit medizinischen Fragestellungen beschäftigt. Und es erklärt außerdem, warum er am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung der Universität Stuttgart promoviert, wo eigentlich an Strömungen und Transportprozessen im irdischen Untergrund geforscht wird. Bei den medizinischen Themen, die Koch in Zusammenarbeit mit Prof. Bernd Flemisch am Lehrstuhl von Prof. Rainer Helmig bearbeitet, sind zwar ganz andere Parameter, Zeit- und Größenskalen relevant. Doch letztlich geht es auch hier um Strömungsmechanik – also darum, die Ausbreitung einer Flüssigkeit in den Poren eines Mediums physikalisch zu beschreiben. Beim Gehirn, jenem „porösen Medium“, an dem Koch forscht, bilden die Zellen und Blutgefäße die Struktur, in der sich die Poren – der sogenannte Zellzwischenraum – befinden.

#### Immunabwehr auf Abwegen

Anlass für Kochs wissenschaftliche Arbeit ist die Multiple Sklerose (MS), eine Autoimmunerkrankung, bei der die Nerven geschädigt werden. Laut der Deutschen Multiple Sklerose Gesellschaft betrifft sie weltweit rund 2,5 Millionen Menschen, allein in Deutschland sind es mehr als 200.000. In der Regel erfolgt die Diagnose zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr. Anfangs sind die Symptome meist unspezifisch: taube Stellen auf der Haut, ein Kribbeln oder ein Taubheitsgefühl in den Beinen, verschwommenes Sehen. Nach einigen Tagen ist meist wieder alles normal. Die Beeinträchtigungen treten oft in Schüben auf, die sich bei vielen Betroffenen durch Medikamente mildern und in ihren zeitlichen Abständen vergrößern lassen. Die Erkrankten sind jedoch motorisch eingeschränkt, was schlimmstenfalls zum Leben im Rollstuhl führen kann. Und sie leiden unter Begleitsymptomen wie etwa einer raschen Erschöpfbarkeit. Die Krankheit ist unheilbar. Bei MS-Patienten funktionieren Teile der Immunabwehr nicht korrekt; sie richtet sich gegen den eigenen gesunden Körper. Durch diese Fehlsteuerung kommt es zu Schäden und Störungen an Nervenzellen und -fasern. „Für die Diagnose und die Beurteilung des Krankheitsverlaufs setzen Mediziner unter anderem die Kernspintomografie bei der Untersuchung des Gehirns ein“, erklärt Timo Koch. „Auf solchen Aufnahmen sind Bereiche zu erkennen, in denen die Blut-Hirn-Schranke geschädigt ist. In diesen sogenannten Läsionen sind die Kapillargefäße sehr viel durchlässiger als in gesundem Hirngewebe.“ Mittels Magnetresonanztomografie (MRT) lässt sich auch regelmäßig überprüfen, ob neue Läsionen hinzugekommen und andere abgeheilt sind, so dass die Mediziner die Therapie anpassen können.

In der Multiple-Sklerose-Forschung kommt zudem eine Variante dieses bildgebenden Verfahrens zum Einsatz, die sogenannte Perfusions-MRT. Hierbei wird dem Patienten ein Kontrastmittel verabreicht,



Im Sonderforschungsbereich „Grenzflächengetriebene Mehrfeldprozesse in porösen Medien“ geht es um das Verständnis, wie Grenzflächen in porösen Medien Strömung, Transport und Deformation beeinflussen. Im Bild (v.l.): Prof. Bernd Flemisch, Doktorand Timo Koch, SFB-Sprecher Prof. Rainer Helmig.

dessen zeitliche Ausbreitung sich im Gehirn verfolgen lässt: „An der Art der Veränderung des MRT-Signals kann man ablesen, wo das Kontrastmittel aus den Kapillaren in den Zellzwischenraum austritt“, erläutert Koch. Den Pfad über diese undichten Stellen würden auch die Zellen der Immunabwehr nehmen, um den unerwünschten Schaden an den Nervenzellen und -fasern anzurichten. Kochs Kooperationspartner am ARTORG Center for Biomedical Engineering der Universität Bern und in der Neuroradiologie des Inselspitals Bern haben festgestellt, dass der genaue Verlauf des MRT-Signals anzeigt, ob eine Läsion akut, abheilend oder vollständig ausgeheilt ist. Weil die MRT-Aufnahmen nur eine sehr geringe Auflösung haben, ist es dem Schweizer Forschungsteam nicht möglich, aus den Daten zu ermitteln, wie viel Kontrastmittel an einer bestimmten Stelle tatsächlich ausgetreten ist. Hier kommt Timo Koch ins Spiel: Er simuliert die Ausbreitung des Kontrastmittels am Computer. Das Modell, das Koch dafür verwendet, hat auf den ersten Blick nichts mit dem Aussehen eines realen Gehirns zu tun. Die Kapillargefäße stellt der Wissenschaftler als aneinandergereihte winzige Zylinder dar, die sich an verschiedenen Stellen kreuzen können. Diese Kapillaren schneiden im Modell

dicht gestapelte, winzige Würfel, die den Zellzwischenraum repräsentieren. Doch nicht das Aussehen ist entscheidend, sondern wie sich charakteristische physikalische Gleichungen verändern, wenn das Kontrastmittel durch eine undichte Stelle in der Kapillarwand austritt – etwa Gleichungen für Masse, Druck, Geschwindigkeit und Konzentration. „Für Kapillarsystem und Zellzwischenraum habe ich zunächst jeweils getrennte Modellgleichungen, die sich auf die beiden unterschiedlichen Gitter beziehen, also auf die verschiedenen Bezugssysteme für Würfel und Zylinder“, erklärt Koch. „Erst in der Rechnung führe ich diese beiden Gitter zusammen.“ Diese sogenannte Kopplung kann man sich anschaulich als einen Vorgang vorstellen, bei dem die beiden Bezugssysteme an den Schnittstellen zwischen den winzigen Zylindern und Würfeln einander angeglichen werden.

#### Strömungsprozesse im Gehirn verstehen

Das Ergebnis sind Gleichungen mit rund einer Million Unbekannten, was Koch mit Blick auf die Strömungsmechanik im Allgemeinen als „nicht ganz so viel“ bezeichnet. Eine einzelne Simulation für die Ausbreitung des Kontrastmittels dauert ungefähr ein bis zwei Minuten. „Es sind aber ein paar Tausend



Foto: Stock/crevis

Durchläufe nötig, um eine vernünftige Aussage treffen zu können – pro Bildpunkt!“ Es gebe Verfahren, mit denen sich die Simulationen beschleunigen ließen. „Das ist aber noch nicht nötig, denn zunächst geht es um prinzipielle Fragen zur Modellfindung und -kalibrierung“, so der Ingenieur.

Die vielen Durchläufe dienen dazu, die Parameter, also die Eingangsgrößen, abzuschätzen. „Dabei wird das Ergebnis der Simulation immer wieder mit den MRT-Aufnahmen des Patienten abgeglichen, um die am besten passenden und zugleich physikalisch sinnvollsten Parameter zu ermitteln“, verdeutlicht Koch. Dieser Vorgang läuft automatisiert ab. Maßgeblich sind dabei die Parameter, die die physikalischen Eigenschaften der Materialien beschreiben. Aus der wissenschaftlichen Literatur lassen sich etwa Diffusionskoeffizienten für die Kapillarwände entnehmen oder die Geometrie der Kapillaren. „Insgesamt haben in unserem Modell rund zehn Parameter Einfluss auf die Berechnungen“, sagt Koch. „Das Konzentrationsprofil, mit dem sich das Kontrastmittel durch die Kapillaren bewegt, ist letztlich unbekannt, so dass man hier eine vernünftige Spanne an Werten durchspielen muss.“ Schließlich muss der Wissenschaftler das Strömungsmodell mit den MRT-Aufnahmen zusammenführen. Erst dann lassen sich verwendbare Aussagen über die Entwicklung der Läsionen treffen. Hierzu modelliert Koch in einer nachgeordneten Simulation auch die MRT-Bildgebung. So erhoffen sich die Forscher, die Strömungsprozesse im Gehirn eines MS-Patienten besser zu verstehen, als es mit den bereits existierenden Modellen möglich ist.

### Sonderforschung für poröse Medien

Das in Stuttgart vorhandene fachliche Know-how über poröse Medien spiegelt nicht nur in Kochs Forschung wider. Vielmehr hat die Universität im Herbst 2017 einen Sonderforschungsbereich (SFB) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zu „Grenzflächengetriebenen Mehrfeldprozessen in porösen Medien“ bewilligt bekommen. Im SFB 1313 treten mehr als 20 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Institute der Universität als Principal Investigators auf; SFB-Sprecher ist Prof. Rainer Helmig. Gemeinsam wollen sie grundlegend verstehen, wie Grenzflächen in porösen Medien Strömung, Transport und Deformation beeinflussen.

Diese Grenzflächen können zwischen zwei Fluiden oder zwischen einem Fluid und einem Festkörper auftreten. Dabei wollen die Beteiligten quantifizieren, welchen Einfluss Faktoren wie die Porengeometrie, die Heterogenität oder Risse des porösen Mediums auf die Dynamik der Strömungsprozesse ausüben. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung mathematischer und numerischer Modelle, mit denen sich die Auswirkungen von Prozessen, die auf sehr viel kleineren Skalen stattfinden, in Strömungssimulationen integrieren lassen.

### Therapie für Osteoporose

Auch wenn die Forschung von Timo Koch nicht unter die SFB-Förderung fällt, ist sie doch inhaltlich eng mit den dort bearbeiteten Fragestellungen verwandt. Dagegen ist die kürzlich angelaufene Forschung zu Simulationen bei der perkutanen Vertebroplastie, einer Therapie zur Behandlung der Osteoporose (Knochenschwund), ein SFB-Projekt. Angesiedelt ist es bei Oliver Röhrle, Professor für Kontinuums-Biomechanik und Mechanobiologie am Institut für Mechanik (Bauwesen) der Universität Stuttgart. „Wir wollen mit unserer Modellierung und Simulation den Medizinern helfen, dass sie die

Vorgänge bei dieser Behandlungsmethode besser verstehen können“, umreißt der Biomechaniker das Ziel der eigenen Forschung.

### Komplikationen bei Behandlung vermeiden

Bei der perkutanen Vertebroplastie spritzt der Arzt sogenannten Knochenzement in die Wirbel von Patienten, die an Osteoporose leiden. Die Behandlung erfolgt minimalinvasiv; der Arzt injiziert schrittweise wenige Milliliter des Knochenzements und kontrolliert immer wieder die Folgen mit Röntgenaufnahmen. „Es ist eine Standardbehandlung“, sagt Röhrle, „aber es gibt leider immer mal wieder Komplikationen, so dass zum Beispiel Knochenzement aus einem Wirbel austritt. Zudem weiß der Arzt nicht, wie sich das mechanische Verhalten des menschlichen Bewegungsapparats durch den Knochenzement ändert.“ Schließlich haben sich Wirbel, Bänder, Sehnen und Muskeln im Lauf der Zeit an die veränderte Statik der Wirbelsäule angepasst. „Hinzu kommt, dass sich der injizierte Knochenzement letztlich bei jedem Patienten anders verteilt.“

Aus Sicht der Strömungsmechanik ist die perkutane Vertebroplastie ein typisches Beispiel für die Vorgänge in porösen Medien. Der injizierte flüssige Knochenzement härtet im Wirbel aus, so dass es zunächst beim Eindringen des Zements zu einer

Volumenänderung und anschließend beim Aushärten zu einer Phasenänderung von flüssig nach fest kommt. „Diese Vorgänge versuchen wir, mit Simulationen zu beschreiben“, sagt Röhrle. Und dabei die Eigenschaften von immerhin drei unterschiedlichen Materialien zu berücksichtigen – von Knochen, Knochenmark und Knochenzement. Um das Stuttgarter Modell zu validieren, werden die Wissenschaftler mit dem AO Research Institute

Davos zusammenarbeiten. „Dort haben sie die experimentellen Laboraufbauten und die klinischen Fragestellungen, die wir für unsere Modellbildung benötigen“, so Röhrle. Erst wenn die Ergebnisse aus dieser ersten Phase vorliegen, können sich die Projektbeteiligten an die eigentlich interessantere Fragestellung heranwagen: Was passiert genau, wenn es zu einem Bruch oder einem Riss im Wirbel kommt?

Michael Vogel

Schwamm, Gehirn, Knochen haben eine Gemeinsamkeit: Sie sind poröse Medien. Forscher nutzen ihr ähnliches physikalisches Verhalten, um mithilfe von Simulationen die medizinische Forschung zu unterstützen.



Foto: Stock/Prill Mediendesign

## Koordinationsstörung auf Knopfdruck

### Mit menschenähnlichen Robotern neuronalen Erkrankungen auf der Spur

**Das System Mensch ist höchst komplex. Um die biologischen Bewegungen besser zu verstehen, haben Forscher innerhalb der Forschungsallianz System Mensch zwischen den Universitäten Stuttgart und Tübingen einen Bioroboter gebaut.**

„Stellen Sie sich den Menschen wie ein Orchester vor: Man hört nur das Gesamtergebnis, was jedoch die einzelnen Komponenten beitragen, ist nicht direkt ersichtlich. So stellt sich auch biologische Dynamik dar“, sagt Prof. Syn Schmitt vom Exzellenzcluster Simulation-Technology der Universität Stuttgart. Um diese einzelnen, hochkomplexen Bewegungen im biologischen System Mensch zu untersuchen und zu verstehen, hat er gemeinsam mit seinem Kollegen Dr. Daniel Häufle am Universitätsklinikum Tübingen und deren beiden Nachwuchsgruppen den Bioroboter ATARO gebaut.

ATARO bewegt seinen Arm wie ein echter Mensch. Er kann die Bewegung exakt nachmachen, da er seinen Arm mit Muskeln bewegt. Das heißt, die Energie für die Muskelbewegung ergibt sich aus der linearen Bewegung, der Kontraktion eines Muskels. „Inzwischen kann ATARO einen Ball schnell Richtung Decke werfen und mit seiner Hand einen Kreis abfahren“, sagt Schmitt.

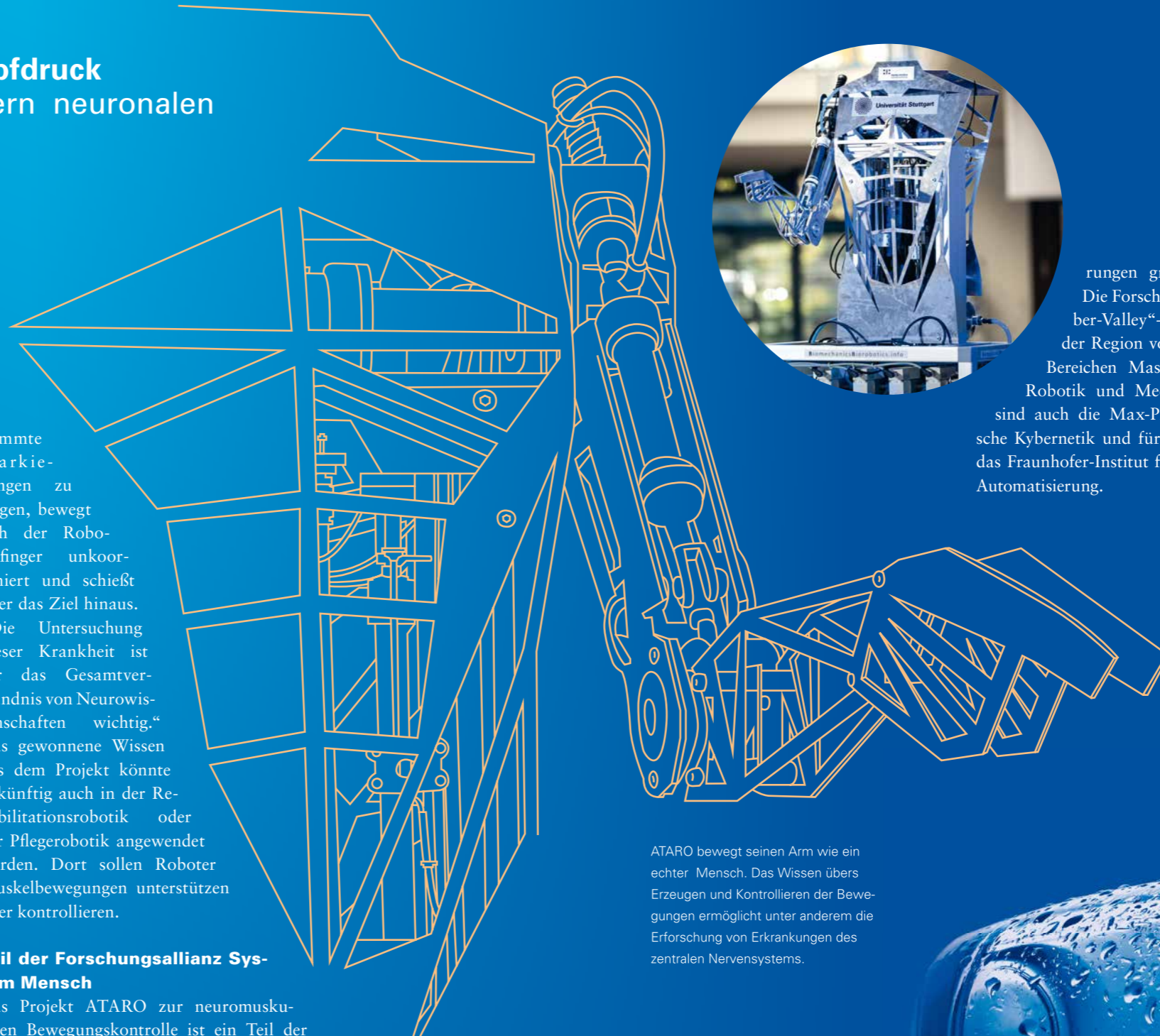
Das Wissen über die Erzeugung und Kontrolle dieser Bewegungen ermöglicht Schmitt und seinem Team unter anderem, Krankheiten, die das zentrale Nervensystem betreffen, zu erforschen. Sie haben sich auf die Untersuchung der zerebellären Ataxie spezialisiert, einer Störung in der Bewegungskoordination, die durch Durchblutungsstörungen im Kleinhirn ausgelöst wird. Betroffene Menschen können nicht mehr gezielt nach einem Glas greifen und werfen es um. „Wir wollen ein mathematisches, theoretisches Modell des Systems Mensch erstellen, das Ataxie erklären kann.“ An ATARO ist es ihnen bereits gelungen, gezielt Ataxie einzuschalten. Statt direkt auf be-

stimmte Markierungen zu zeigen, bewegt sich der Roboterfinger unkoordiniert und schießt über das Ziel hinaus.

„Die Untersuchung dieser Krankheit ist für das Gesamtverständnis von Neurowissenschaften wichtig.“ Das gewonnene Wissen aus dem Projekt könnte zukünftig auch in der Rehabilitationsrobotik oder der Pflegerobotik angewendet werden. Dort sollen Roboter Muskelbewegungen unterstützen oder kontrollieren.

#### Teil der Forschungsallianz System Mensch

Das Projekt ATARO zur neuromuskulären Bewegungskontrolle ist ein Teil der Forschungsallianz in Baden-Württemberg zwischen den Universitäten Stuttgart und Tübingen. Dabei sollen Modelle des hochkomplexen, biologischen Systems Mensch entwickelt werden. Ziel dieser Modelle ist es, eine erfolgreiche Mensch-Maschine-Interaktion zu ermöglichen sowie Diagnostik und Therapie krankheitsbedingter Stö-



ATARO bewegt seinen Arm wie ein echter Mensch. Das Wissen über Erzeugen und Kontrollieren der Bewegungen ermöglicht unter anderem die Erforschung von Erkrankungen des zentralen Nervensystems.

rungen grundlegend zu verbessern. Die Forschungsallianz gehört zur „Cyber-Valley“-Initiative und nutzt die in der Region vorhandene Expertise in den Bereichen Maschinenbau, Automobilbau, Robotik und Medizintechnik. Mit beteiligt sind auch die Max-Planck-Institute für biologische Kybernetik und für Intelligente Systeme sowie das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung.

*Bettina Künzler*

## Gesucht: der richtige Dreh Medizintechniker entwickeln altersgerechte Bedienelemente für den Alltag

**Als interuniversitärer Studiengang zwischen den Universitäten Stuttgart und Tübingen bildet die Medizintechnik mit breitem Wissen ausgestattete Fachleute aus. Und die finden sogar in einem so vertrauten Bauteil wie dem Drehknopf noch Verbesserungspotenzial.**

Wir drehen an Knöpfen, wenn wir den Herd einschalten oder das passende Programm an der Waschmaschine auswählen. Auch in vielen Autos lassen sich Navigationsgerät, Radio und andere Funktionen per Drehregler steuern. Meist bemerken wir dabei gar nicht bewusst, wie die Drehregler uns Informationen vermitteln. Was aber, wenn wir im Alter an taktiler Sensibilität einbüßen, wenn wir al-

Drehregler so mit Informationen ausstatten, dass der Fahrer zum Beispiel den Menüwechsel spürt, statt den Blick von der Straße nehmen zu müssen – daran arbeitet Peter Schmid von der Universität Stuttgart.



Foto: Universität Stuttgart/IKTD

so sprichwörtlich das Fingerspitzengefühl verlieren? Gibt es Drehregler, deren Funktionen sich altersgerecht anpassen lassen?

Mit diesen Fragen beschäftigt sich Peter Schmid vom Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) der Universität Stuttgart. Der junge Forscher befasst sich im Rahmen seiner Promotion in einer von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Untersuchung mit sogenannten haptischen Mensch-Maschine-Schnittstellen. Was kompliziert klingt, sind schlicht und einfach von Hand bedienbare Elemente wie Drehknöpfe, Schieberegler oder Schalter. Und die könnte die Industrie künftig noch präziser und besser für die Bedürfnisse älterer Nutzer gestalten.

### Seniorengerechte Gestaltung

„Uns geht es um eine altersgerechte Produktentwicklung“, sagt Peter Schmid. Im Mittelpunkt steht



Am IKTD geht es um altersgerechte Produktentwicklung. Dafür nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch die Erfahrungen ihrer Zielgruppe.

Foto: Universität Stuttgart/IKTD

die Frage, wie sich ein Drehregler verändern muss, damit er auch alten Menschen die gewünschten Informationen vermittelt. In Drehknöpfen stecken dabei mehr Gestaltungsmöglichkeiten, als auf den ersten Blick zu erwarten. Zum einen können die Entwickler den Drehwinkel verändern, also den Weg von einem Rastpunkt zum nächsten. Zum anderen lässt sich auch der Kraftaufwand zur Überwindung des Rastpunkts anpassen. Die Wahrnehmung dieser Parameter erfolgt rein über den Tastsinn.

Um die passiv durch den Drehregler vermittelten Informationen noch zu verfeinern, lassen sich unterschiedliche Drehwinkel und Drehmomente kombinieren. „Wir wollen den Drehregler mit Informationen ausstatten, damit die Nutzer zum Beispiel einen Menüwechsel im Auto spüren“, erklärt Schmid.

Dabei geht es nicht um bloßen Komfort: Wer etwa beim Fahren durch einen unklar codierten Drehregler abgelenkt wird, könnte sich und andere gefährden. Im Haushalt könnten klar codierte Drehregler beispielweise bei nachlassender Sehkraft helfen, Geräte richtig zu bedienen. In seinen Versuchsreihen hat Schmid daher Probanden im Alter zwischen 21 und 82 Jahren eingesetzt. Zunächst testete er das feinmotorische Vermögen seiner Probanden, anschließend sollten sie im Fahrsimulator und an

einem Drehknopf auf der Mittelkonsole vorgegebene Werte einstellen. Schmid maß unter anderem, wie sehr diese Aufgaben die Probanden von ihrer eigentlichen Aufgabe, dem Fahren, ablenkten.

„Wir erhielten signifikante Unterschiede hinsichtlich der Stellzeit, der Aufgabenerfüllung, der Spurhaltung und der Präzisionsbewertung zwischen Jung und Alt“, erklärt der Forscher. Daraus kristallisierte sich eine Drehregler-Konfiguration heraus, die über alle Generationen hinweg am besten funktioniert. Bei dieser dreht sich der Knopf zwischen den einzelnen Rasten um 30 Grad, wobei das Überwinden einer Raste einen Kraftaufwand von 0,09 Newtonmeter erfordert.

### Finger verlässlicher als Augen

„Wir betreiben hier nicht nur Forschung, sondern haben auch die Anwendung im Blick“, betont Prof. Thomas Maier, Leiter des Forschungs- und Lehrgebiets Technisches Design am IKTD. Ziel des im September 2018 abgeschlossenen Projekts war es, Gestaltungsrichtlinien für altersgerechte Mensch-Maschine-Schnittstellen zu erstellen, damit Unternehmen bei der Produktentwicklung stärker auch die Bedürfnisse älterer Nutzer im Blick haben können. „Wir sind der Meinung, dass Touch-Ober-

flächen nicht überall das Optimum sind“, sagt Maier. „Die Ablenkung bei der Fahrt ist doch erheblich, weil der Anwender zuerst hinschauen muss, wo das Bedienfeld zu berühren ist.“ Schmid fügt hinzu: „Ältere Menschen sind froh, dass es noch Drehregler gibt und sie bei nachlassender Sehkraft über den Tastsinn unterstützt werden.“ Dennoch – oder gerade deshalb – hoffen die Forscher am IKTD auch auf die Genehmigung eines Anschlussprojekts, in dem sie das Design einer taktilen Touch-Oberfläche erforschen wollen. Diese könnte, so Maier, winzige Impulse an den Finger abgeben und so praktisch eine fühlbare Skala abbilden.

Es mag verwundern, dass diese für so breite praktische Anwendungsbereiche angelegte Forschung ihren Ursprung im Studiengang Medizintechnik hat. Aber, so Prof. Maier: „Es ist schon deshalb Medizintechnik, weil wir sensorische und motorische Einschränkungen berücksichtigen.“ Man verbinde mit Medizintechnik zwar meist Entwicklungen zur Behandlung von Krankheiten oder für die Rehabilitation. Die Drehregler-Entwicklung aber, so

Drehregler versus Touchscreen: Ältere Menschen mit nachlassender Sehkraft sind froh, wenn sie im Alltag über den Tastsinn unterstützt werden.



Foto: Stock/Tobias Langner

Maier, „greift schon ein, bevor schwere Handicaps entstehen“. Diese weit gefächerten Ansätze und Potenziale der Medizintechnik nicht nur zu erkennen, sondern auch in praxisnahe Forschung umzusetzen, sieht Maier als eine der großen Stärken des noch jungen Studiengangs Medizintechnik.

### Technik- und Medizinkompetenz

Der Bachelor in Medizintechnik startete 2010. „Er entstand aus der Idee, gemeinsam mit der Universität Tübingen einen interuniversitären Studiengang aufzubauen“, erzählt Thomas Maier, der zu den Begründern des Studiengangs gehört. Der Gedanke dahinter ist die Kombination der medizinischen Kompetenz Tübingens mit der Stuttgarter Technikkompetenz. Der Ansatz stieß von Beginn an auf viel Gegenliebe: „2010 hatten wir 100 Plätze zu vergeben und 456 Bewerber“, sagt Maier. Heute seien es bis zu 700 Bewerber pro Jahr.

„Studiengänge in Medizintechnik sind in Deutschland nicht selten“, räumt Maier ein, betont aber: „Dass zwei renommierte Universitäten so eng zusammenarbeiten, ist bis heute einzigartig.“ Die Studierenden sind an beiden Hochschulen eingeschrieben und pendeln zwischen den Vorlesungsorten. Seit

2013 gibt es auch den Master-Studiengang Medizintechnik, der mit 36 Studierenden startete. Mehr als 50 Prozent der heute über 300 Studierenden sind Frauen. Auch zwei Professuren für Optikdesign und Medizingerätekonstruktion wurden seither eingerichtet. Und nicht zu vergessen: Auch die Nachfrage nach den Absolventen war vom Start weg groß. „Die meisten gehen in die Industrie, dort gibt es eine große Nachfrage nach unseren Absolventen“, so Prof. Maier. Früher hätten die Medizintechnik-Unternehmen oft notgedrungen Maschinenbauer eingestellt

und in Richtung Medizin weitergebildet oder aber ausgebildete Mediziner zu Konstrukteuren geschult. Der Studiengang Medizintechnik bringe Fachleute mit breiter Wissensbasis hervor. Peter Schmid gehörte zu den ersten Jahrgängen der Medizintechnik. „Mein Impuls war, Menschen zu helfen, und gleichzeitig bin ich technikbegeistert“, erzählt der Doktorand. Der Fachbereich biete viele Herausforderungen, auch abseits klassischer Medizingeräte für Krankenhäuser und Praxen.

Jens Eber

Wie können Senioren auch mit gesundheitlichen Herausforderungen mobil bleiben und im Notfall dennoch zuverlässig Hilfe holen? Mit diesen Fragen beschäftigt sich das junge Unternehmen AGE-Ing. AGE-Ing. – sprich Ageing, also englisch für Altern – wurde von den Ingenieuren Benedikt Janny und Matti Schwalk initiiert, beide ehemalige akademische Mitarbeiter am IKTD im Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design. Sie entwickelten ein sogenanntes Wearable, ein tragbares High-Tech-Produkt in Form einer Kette oder eines Armbands, das sehr einfach zu bedienen ist und mit einer Mischung aus Mobilfunk und GPS für Sicherheit sorgt.

Im Gegensatz zu vielen erhältlichen Smartwatches und Notruf-Uhren setzt AGE-Ing. mit seinem Notrufsystem auf möglichst reduzierte und klare Funktionalität, ohne den Nutzer dabei durch die Gestaltung zu stigmatisieren. Der Clou daran: Potenzielle Nutzer waren von Beginn an in die Entwicklung integriert. „Wir haben uns schon als Doktoranden mit nutzerzentrierter Technikgestaltung beschäftigt und ein Probandenkollektiv aufgebaut“, erzählt Benedikt Janny. Etwa 65 Senioren sind in die

Gestaltung eingebunden, testen Prototypen und geben wertvolle Rückmeldungen. Weitere Probanden seien jederzeit willkommen, sagt Schwalk. Mit diesem Kollektiv arbeitet das Start-up auch an Projekten wie der Optimierung von Technik für die Bedürfnisse älterer Nutzer, zum Beispiel an der Elektrifizierung von Rollatoren.

AGE-Ing. ist die erste Ausgründung aus dem IKTD. Das Unternehmen startete Anfang 2018 mit Anschubhilfe durch ein Forschungsstipendium; die Universität Stuttgart stellt mit Prof. Thomas Maier und Prof. Hansgeorg Binz die Mentoren.

Den interdisziplinären Studiengang Medizintechnik werten die beiden Gründer als großes Plus. Als ehemaliger Studiengangs-Manager sagt Janny: „Die Verbindung von Mensch und Technik, von biologischen, medizinischen und technischen Grundlagen ist ein tolles Arbeitsgebiet, und dafür wird man mit breitem Wissen ausgestattet.“ Zusätzlich, so Schwalk und Janny, brauche es auch das Eigenengagement der Studierenden, um angesichts der Breite in detaillierteres Wissen vorzustoßen. je

## Der Spaghetti-Effekt

### Biophysiker folgen Proteinen auf ihrem Weg durch die Zellmembran

**Haben Spaghetti etwas mit Biophysik zu tun? Auf den ersten Blick nicht. Aber wenn Prof. Stephan Nußberger von der Universität Stuttgart seine hochkomplexe Forschung erklärt, wird Pasta zum sehr anschaulichen didaktischen Mittel. Ein Blick in die geheimnisvolle Welt der Organellen und Proteine.**

Prof. Stephan Nußberger gehört zu den leidenschaftlichen Wissenschaftlern. Der Leiter der Abteilung Biophysik am Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme der Universität Stuttgart untersucht natürliche Prozesse in einer Dimension, die dem Laien zunächst unzugänglich erscheint. Weil Nußberger aber durchaus mitreißend erzählt und erklärt, verlässt man sein Büro nach ein paar Stunden mit dem Gefühl, in einen faszinierenden Kosmos geblickt zu haben. Um Protein-Translokasen geht es, also um bestimmte Proteine, die den Durchtritt von Molekülketten durch Zellwände erlauben. Und das ist unerlässlich: Denn dass etwa Eiweiße zum richtigen Zeitpunkt und in der richtigen Anzahl in die Mitochondrien, also die „Kraftwerke“ in allen Zellen des menschlichen Körpers, gelangen, ist eines der Prinzipien des funktionierenden Organismus. In die Mitochondrien des Menschen müssen allein mehr als 1.400 verschiedene Proteinpolymere durch diese Poren gefädelt werden. Eine Störung dieses unaufhörlichen Übertritts führt zu gravierenden Erkrankungen. Das freilich ist gründlich gesichertes Wissen. Der amerikanische Biochemiker Günter Blobel hat 1999 den Nobelpreis für Medizin für die Erkenntnis erhalten, dass jedes Organell einer Zelle Poren sowie spezifische Rezeptoren benötigt, um Proteine durchfädeln zu können. Und auch, dass es Proteinen unzählige Male in jedem Moment des Lebens gelingt, Zellmembranen zu durchdringen, ist klar. Nur wie?

Das Wissenschaftsmagazin „Nature“ habe den Vorgang einmal als „The Art of Sucking Spaghetti“ beschrieben, serviert Prof. Nußberger ein sehr griffiges Bild. Lange, soßentiefende Nudeln genüsslich in den Mund zu saugen, ist ein Prinzip, das zumindest Pasta-Freunde sofort vor Augen haben. Wer oder was zieht aber an den Proteinketten? „Wie die Natur das macht, ist noch nicht verstanden“, sagt der Biophysiker und fügt hinzu: „Aber deshalb bin ich hier, es ist für mich als Physiker der wissenschaftliche Reiz, das herauszufinden.“

#### Abtauchen in unvorstellbare Dimensionen

Um einzuordnen, warum es so schwierig ist, Moleküle oder Polymere beim Durchschlüpfen einer Zellwand zu beobachten, zieht Nußberger einen weiteren Vergleich heran. Die Sonne, sagt er, sei etwa 150 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Eine ähnlich gewaltige Distanz müsse man sich vorstellen, um in den Größenbereich weniger Atome vorzudringen, denn in dieser Dimension spielen sich die Aktivitäten der Protein-Translokasen ab. Selbst mit den enorm leistungsfähigen Mikroskopen, die den Biophysikern in Nußbergers Abteilung zur Verfügung stehen, ist es nur sehr schwer mög-

Ihre Forschungen rund um die Protein-Translokasen führen die Wissenschaftler in für Laien unvorstellbare Dimensionen.

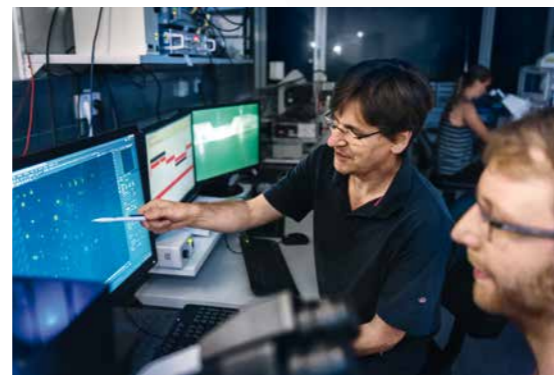


Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

lich, Proteine in Bewegung zu beobachten, so, wie man etwa einen Regenwurm beim Einbohren in die Erde betrachtet. Den Stuttgarter Forschern ist aber etwas anderes gelungen, das Prof. Nußberger in Kooperation mit Prof. Werner Kühlbrandt vom Max-Planck-Institut für Biophysik in Frankfurt/Main in einem vielbeachteten Artikel im renommierten Fachjournal „Cell“ dargelegt hat. Im Sommer 2017 haben die Biophysiker in Stuttgart und Frankfurt die Struktur einer Protein-Translokase erzeugt, und zwar mit einer Auflösung von 6,8 Ångström, wobei ein Ångström ungefähr die Größe eines Atoms bedeutet. In der Abbildung, die Nußberger präsentiert, sieht man die Translokase-Struktur und ihre beiden Öffnungen mit ihrem Durchmesser von elf Ångström, die ein wenig an eine venezianische Maske erinnert. Dass eine solche mitochondriale Translokase – in der Fachsprache TOM-Translokase für „translocase of the outer mitochondrial membrane“ – über zwei Poren verfüge, habe er schon vor zehn Jahren festgestellt, berichtet der Professor. Dass diese Erkenntnis nun aber als dreidimensionale Abbildung bei nahezu atomarer Auflösung vorliegt, wertet Nußberger mit charmantem Understatement als „schönes wissenschaftliches Ergebnis“.

#### Dickköpfigkeit und Laboralltag

Der Weg dahin führte über handfeste Laborarbeit. Dort züchteten die Forscher in 100-Liter-Tanks Roten Brotschimmelpilz, aus dem in einem mehrstufigen Verfahren hochreine Mitochondrien sowie letztlich TOM isoliert und dann mithilfe der 2017 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichneten Kryo-Elektronenmikroskopie betrachtet wurden. „Der Reiz an unserer Arbeit ist, dass wir in Dimensionen vordringen, die vor uns noch niemand gesehen hat“, sagt Nußberger. Sein Team suche nach Strukturen, von denen sie nicht einmal wüssten, wie sie aussehen. „Ich bin aber auch dankbar, dass diese Dickköpfigkeit beim Verstehen-Wollen biologischer Grundfragen in unserer universitären Landschaft möglich ist“, fügt der Forscher hinzu. Zu den offenen Fragen gehört zum Beispiel auch die nach der Mechanik des „Durchschlüpfens“, ob also das Protein-Spaghetto hindurchgeschoben oder -gezogen wird. Dabei ist die Arbeit der Biophysiker durchaus Basis für praxisorientierte Anwendungen. So gibt es bereits Ansätze, solche Nanoporen für die DNA-Sequenzierung zu nutzen. Und auch für Zellbiologen, die mitochondriale Erkrankungen erforschen, sind die Antworten aus Nußbergers Abteilung hilfreich.

Jens Eber

## „Das Ende der Fahnenstange ist längst nicht erreicht“ Künstliche Intelligenz in der Medizintechnik

**Die Digitalisierung wird in der Medizintechnik völlig neue Wege eröffnen. Dieser Ansicht ist Alexander Kunze, Absolvent der Universität Stuttgart und heute als Produktmanager beim Medizintechnik- und Gesundheitsunternehmen Fresenius Medical Care tätig. Er beschäftigt sich zum Beispiel mit der Frage, wie sich Dialysegeräte fit machen lassen für die Zukunft der Industrie 4.0.**

Verbandsmaterial, Spritzen oder Implantate: Die Bandbreite medizinischen Materials erstreckt sich von simplen Alltagsprodukten bis hin zu hochkomplexen technischen Geräten. Die Geschichte der Medizintechnik – die korrekte Bezeichnung lautet eigentlich „Medizinprodukte“ – geht weit zurück und ist fest mit der Entwicklungsgeschichte der Menschheit verbunden. Seit den ersten, urtümlichen Therapieformen, bei denen Wunden mit Baumrinde oder Blättern heilkräftiger Pflanzen versorgt wurden, hat sich viel getan – nicht nur bei den Verbandsmaterialien.

Insbesondere chronisch kranken Menschen wird heute dank ausgefeilter Technik ein deutlich längeres und lebenswerteres Dasein ermöglicht. Etwa mithilfe von Dialysegeräten, wenn die Nieren nicht mehr richtig oder gar nicht mehr funktionieren. Zu den Unternehmen, die die Entwicklung von Dialyseprodukten maßgeblich vorangebracht haben, gehört Fresenius Medical Care, mit Hauptsitz in Bad Homburg. Der auf Produkte und Dienstleistungen für chronisches Nierenversagen spezialisierte Konzern hat den medizinischen und technischen Fortschritt in den vergangenen Dekaden durch intensive Forschung vorangetrieben. „Das Ende der Fahnenstange ist hier noch längst nicht erreicht“, weiß Alexander Kunze. Denn mit der digitalen Transformation ergeben sich im Bereich der Medizinprodukte zahlreiche neue, vielverspre-

chende Möglichkeiten. „Vor allem die künstliche Intelligenz und Big Data werden zukünftig eine wesentliche Rolle in der Medizintechnik spielen“, ist sich Kunze sicher.

### Smarte Maschinenwartung

Als Produktmanager bildet er in der Konzernzentrale die Schnittstelle zwischen der Entwicklungsabteilung und den Kunden – und begleitet so den gesamten Lebenszyklus der Produkte, von der ersten Planung bis zur aktiven Betreuung nach der Markteinführung. Erfahrungen in der Produktentwicklung sammelte er bereits während seines Studiums an der Hochschule Furtwangen und seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA). Für seine Interessensgebiete Orthopädietechnik und Kardiologie gab ihm der Master in Medizintechnik an der Universität Stuttgart das notwendige Werkzeug an die Hand. „Einerseits waren wir hier natürlich nah an der Forschung, andererseits gab es aber auch einen großen Bezug zur Praxis. Das hat mir schon im Laufe meines Studiums viele Türen in die Industrie geöffnet.“ Heute, knapp drei Jahre nach seinem Abschluss, bildet er gemeinsam mit drei Kollegen die „Smart Dialysis Clinic“ innerhalb des Konzerns. Der noch recht junge Unternehmensbereich befasst sich unter anderem mit der Neu- und Weiterentwicklung von Systemen und Geräten im Zuge der Digitalisierung. Das Thema künstliche Intelligenz verantwortet der 30-Jährige alleine. „Dabei geht es beispielsweise um die Entwicklung und Anwendung von Algorithmen, die Daten für Prognosen auswerten. Das spielt vor allem für die Instandhaltung der Geräte eine große Rolle.“ Was in anderen Industriezweigen die Produktivität steigert, könnte hier lebensrettend sein: die Möglichkeit, Maschinenausfälle rechtzeitig vorherzusehen und dadurch zu vermeiden.

Blickt in die digitale Zukunft der Medizintechnik: Produktmanager und Querdenker Alexander Kunze treibt bei Fresenius Medical Care die Entwicklung von künstlicher Intelligenz für Dialysegeräte voran.

Foto: Universität Stuttgart/Uwe Nölike

### Neue Bedarfe und Geschäftsmodelle

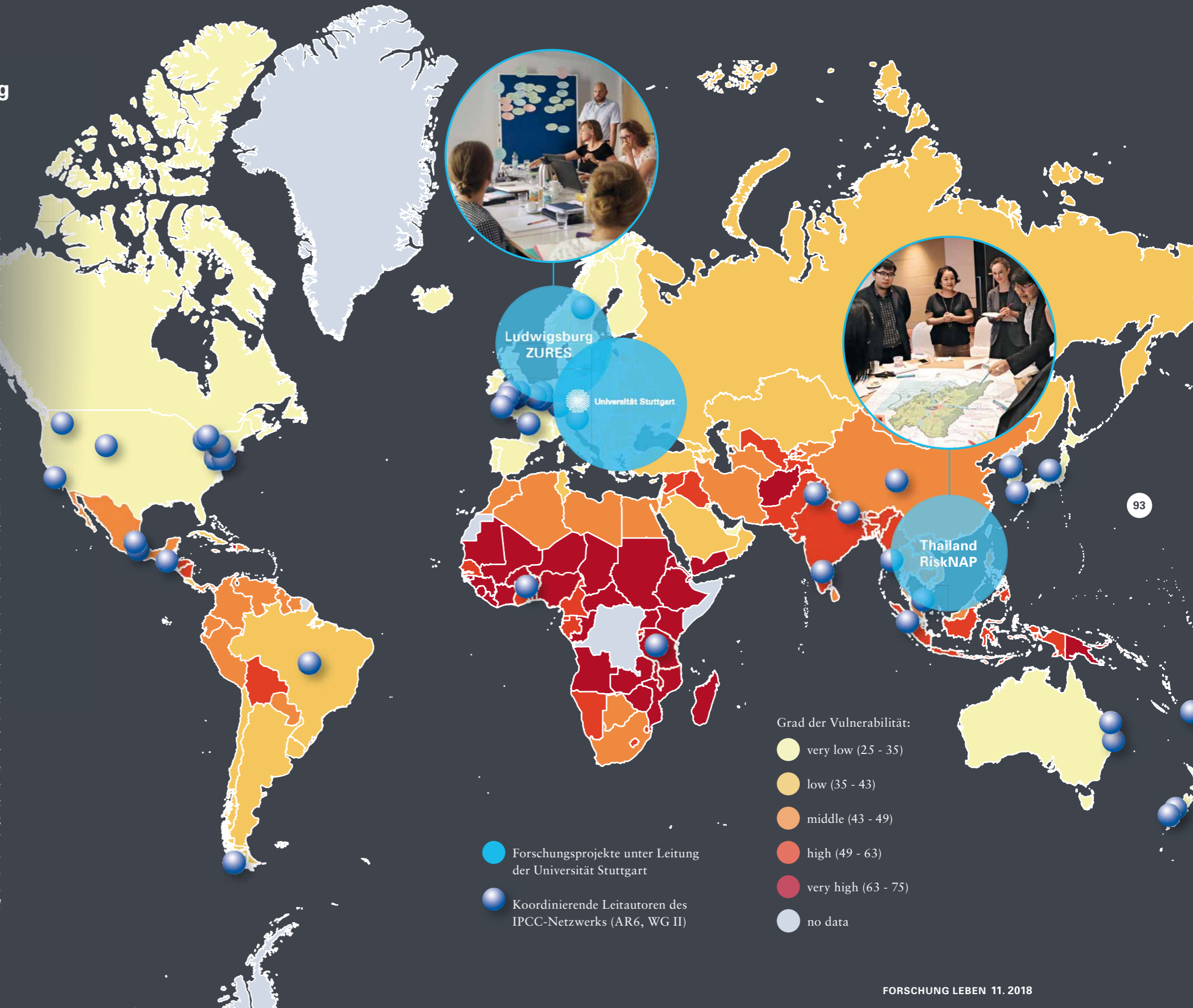
Der Schwerpunkt der „Smart Dialysis Clinic“ ist jedoch das Erschließen und Aufbauen neuer Geschäftsmodelle. Kunze hat daher ein waches Auge auf den Markt, um Bedarf und Bedürfnisse der Kunden rechtzeitig zu erkennen. Dabei zeigt sich, dass die Hardware selbst keine wesentliche Rolle mehr spielt. „Wir haben in diesem Bereich mittlerweile eine sehr hohe Qualität erreicht. Worauf es den Kunden eher ankommt, ist das Versprechen, dass wir diese auch gewährleisten können“, sagt Kunze. Für Fresenius Medical Care als Technikanbieter bedeutet das eine umfassende Umstrukturierung des Portfolios: weg vom Geräte-Entwickler hin zum Service-Anbieter. „Ärzte sollen sich zu 100 Prozent auf die Technik verlassen und dadurch vollständig auf die Behandlung konzentrieren können. Was wir in Zukunft verkaufen werden, ist nicht mehr das eigene Produkt, sondern das Ergebnis. So, als würde der Kunde nicht mehr die Bohrmaschine, sondern das fertige Loch kaufen.“ Als wäre das nicht genug, steckt der ambitionierte 30-Jährige nebenbei mitten in der Gründung seines eigenen Start-ups. Ganz dem Zeitgeist und seiner Expertise entsprechend, geht es auch hier um die Digitalisierung im Gesundheitssystem. „Bei unse-

rer Geschäftsidee handelt es sich um eine Plattform für die Vermittlung und Koordination von Patiententransporten.“ Auch wenn das Vorhaben bislang noch in den Kinderschuhen steckt, haben er und seine Geschäftspartner nichts Geringeres als das Ziel vor Augen, „die Organisation von Patiententransporten zu revolutionieren“. Tatsächlich ist das Wohl des Patienten Herzensangelegenheit und Antrieb des Produktmanagers: „Spätestens seit meiner Ausbildung als Rettungssanitäter stand für mich fest, dass ich mein Möglichstes tun möchte, um Patienten zu helfen. Wir sind hierzulande schon sehr gut aufgestellt, aber es geht immer noch ein bisschen besser.“

Constanze Trojan

## Verwundbarkeit – Messung des Unmessbaren

Risiken und Schäden durch Extremereignisse und den Klimawandel hängen nicht nur von Stärke und Häufigkeit der Naturereignisse wie Hochwasser oder Stürme ab, sondern auch von der Verwundbarkeit (Vulnerabilität) der Infrastrukturen, Städte und damit letztlich des Menschen. Die Frage, wie man Verwundbarkeit messen kann, ist eine zentrale wissenschaftliche Herausforderung. Das zeigt das Beispiel der Hitzewelle, die im Jahr 2003 in Europa herrschte: Damals starben besonders viele ältere Menschen. In einer aktuellen, von den Wissenschaftlern des Instituts für Raumordnung und Entwicklungsplanung (IREUS) der Universität Stuttgart durchgeführten Haushaltsbefragung in der großen Kreisstadt Ludwigsburg schätzen sich aber gerade ältere Menschen vielfach als wenig verwundbar gegenüber Hitze ein. Von zentraler Bedeutung für Risikoanalysen und Anpassungen ist die Messung von Verwundbarkeit gegenüber Extremereignissen und dem Klimawandel auf internationaler Ebene. Nach Berechnungen am IREUS weisen Länder in Subsahara-Afrika und die Inselstaaten im Pazifik eine hohe und vielfach persistente Verwundbarkeit auf. Verwundbarkeit, Resilienz und Anpassung sind heute global diskutierte Konzepte. Aufgrund der international anerkannten Forschungen am IREUS zur Verwundbarkeit wurde dessen Leiter, Prof. Jörn Birkmann, zum Koordinierenden Leitautor für den sechsten Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC) gewählt. Mit Fachleuten aus über 90 Ländern wird er in den nächsten vier Jahren die Folgen des Klimawandels und Fragen der Verwundbarkeit und Anpassung analysieren. Die ersten zwei Treffen finden 2019 in Süd-Afrika sowie in Nepal statt; die Veröffentlichung des Berichts ist für das Jahr 2021 geplant. Die Zusammenfassung für Entscheidungsträger, die sogenannte Summary for Policy Makers, wird von über 180 Regierungen Wort für Wort gelesen und diskutiert – kaum ein anderer wissenschaftlicher Bericht erhält eine solch große Aufmerksamkeit. *red*





## Dr. Do und die Detektive ... und die netzweite Suche nach den Fehlern im Code

**Dr. Quoc Huy Do arbeitet seit 2017 am Institut für Informationssicherheit der Universität Stuttgart daran, Hackern das Leben schwer zu machen. Zusammen mit seinen Kollegen am SEC fahndet der Vietnamese nach Sicherheitslücken in grundlegenden Web-Standards und -Protokollen.**

Im Vergleich zu den Fluren im Institut für Informationssicherheit (SEC) der Universität Stuttgart mit ihren Sitzecken und verspiegelten Teeküchen erscheint das Büro von Dr. Quoc Huy Do geradezu spartanisch. Papierlos der Schreibtisch, Laptop, Flachbildschirm und eine Tasse Tee. Ein Foto seiner Familie ist sein einziges Zugeständnis ans Privatleben. Es scheint, als wolle der 36-Jährige alle Ablenkung von seiner Arbeit fernhalten, damit ihm nicht jene Fehler unterlaufen, die vielen Programmierern passieren: Sie schreiben versehentlich Sicherheitslücken in die Codes des Internets – und nichts motiviert einen Hacker mehr als so ein security hole. „Wir arbeiten hier sehr hart“, ist Dos freundlich lächelnde Zusammenfassung des Büroumfelds.

Dr. Do ist in dem Kräftespiel der Datenjäger und -sammler einer der Guten. Zusammen mit seinen Kollegen einer Arbeitsgruppe am SEC fahndet er nach Sicherheitslücken in grundlegenden Web-Standards und -Protokollen. Ob er eine Art Detektiv sei, der mit Ausdauer und präzisiertem Verstand nach Spuren möglicher Angriffspunkte suche? Do nickt, ja, das könne man so sagen.

### Kein klassischer Tatort

Natürlich – und da fängt die Komplexität des Themas bereits an – ist das Internet nicht wie ein Tatort, an dem gründliche Ermittler Fingerabdrücke, Tatwaffen oder DNA-Material finden. Das Netz präsentiert sich uns zwar scheinbar physisch auf allerlei Bildschirmen, aber es ist in Wahrheit nicht greifbar. Und auch nicht unangreifbar. Im Gegenteil: Das Internet

ist eine Art unkontrolliert wachsender Organismus, der sich in jede Dimension immer weiter ausdehnt. Dass dabei auch Lücken entstehen, Angriffspunkte für Hacker, liegt in der natürlichen Fehlbarkeit des Menschen begründet. „Nichts auf der Welt ist perfekt, auch kein Code“, sagt Dr. Do. Daher hat sich das Team um Institutsleiter Prof. Ralf Küsters ein Werkzeug zum Ziel gesetzt, das Web-Entwicklern mögliche Schwachstellen in ihren Codes schon aufzeigen soll, bevor sie damit online gehen. Eine Art unbestechlicher Prüfinstanz, die Fehler in den Codes auf logisch-mathematischer Basis aufspürt.

Auf dem Papier ist dieses Tool bereits skizziert – und schon da ist es ein hochkomplexes Projekt. Bis Ende des Jahres, so hofft Do, soll auch ein erster struktureller Rahmen des Test-Werkzeugs programmiert sein.

### Verwurzelt in der Computerwissenschaft

Die Computerwissenschaft zieht sich schon seit Beginn seines Studiums durch Quoc Huy Dos Karriere. Und mit jedem weiteren Schritt drang der Vietnamese tiefer in die Materie vor, bis er nun in Stuttgart quasi an den Fundamenten des Internets angekommen ist. In Vietnams Hauptstadt Hanoi geboren, studierte Do an der People's Security Academy zunächst die Grundlagen, im Masterstudium an der Vietnam National University in Hanoi – „die beste Universität in Vietnam“ – arbeitete er sich bereits in die Welt der Programm-Verifikation vor. Da war der Weg nach Stuttgart freilich noch nicht vorgezeichnet.

Für seine Promotion forschte Do an der Technischen Universität Darmstadt in der Arbeitsgruppe von Prof. Reiner Hähnle. „Dort arbeitete ich an Informationsfluss-Sicherheit“, erklärt Do. Das klingt für den Laien zwar ähnlich, der Forscher versichert jedoch, dass das „etwas völlig anderes“ war: „Wir programmierten ein Tool für Java-Entwickler, das prüft, ob die Software versteckte Informationsflüsse aufweist.“

Am Thema Sicherheit hatte sich Quoc Huy Do da allerdings schon festgebissen: „Nach meiner Promotion

wollte ich weiter in diese Richtung arbeiten.“ Und in Stuttgart schien sich eine Gelegenheit aufzutun: Prof. Küsters hatte in Trier an einer umfassenden Sicherheitsanalyse des OAuth-2.0-Protokolls gearbeitet und war zu dieser Zeit gerade an die Stuttgarter Universität gewechselt.

Diese Forschung in einer frisch zusammengestellten Arbeitsgruppe fand Do faszinierend und bewarb sich. Und obwohl er zur gleichen Zeit auch andere Angebote hatte, entschied sich Do für Stuttgart. „Die Arbeitsatmosphäre und die enge Zusammenarbeit sind toll, außerdem ist Stuttgart eine schöne Stadt“, sagt der Post-Doktorand, der im September 2017 seine Stelle am SEC antrat.

Wohnte Do mit seiner Familie zunächst im Gästehaus der Universität, vermittelte das Welcome Center der Stadt Stuttgart bald Kontakte zu potenziellen Vermietern, half bei allerlei behördlichen Fragen („ein Alptraum“) und organisierte für die neu Angekommenen sogar eine Weihnachtsfeier. „Meine Kinder waren begeistert davon“, erzählt er. Mittlerweile hat



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

die Familie nicht nur eine Wohnung gefunden – sie ist auch gewachsen: „Mein Sohn wurde bereits in Stuttgart geboren“, sagt Do. Die beiden Töchter gehen hier in den Kindergarten und in die Grundschule.

### Fan der Forschungsfreiheit

„Wissenschaftler zu werden, war anfangs gar nicht mein Plan“, sagt der Sicherheitsexperte. Heute fühlt sich der 36-Jährige sehr wohl in der universitären Forschungswelt. „Ich mag es, zu lernen und mich neuen Herausforderungen zu stellen. Genau dafür ist Wissenschaft eine tolle Möglichkeit.“ Auch wenn er bislang noch nie für ein Unternehmen gearbeitet habe, schätze er die Freiheit in der Forschung als höher ein. „Wir konzentrieren uns auf bestimmte Themen, während man in der Wirtschaft immer das Endprodukt im Blick haben muss.“

Im Kern des Projekts, an dem Quoc Huy Do mit seinen Kollegen arbeitet, steht mit OAuth 2.0 (Open Authorization) ein weit verbreitetes Protokoll zur Autorisierung und Authentifizierung im Netz. Dies soll eine sichere Autorisierung von Web-Diensten oder -Anwendungen gewährleisten, ohne dass Drittanbieter geheime Daten erhalten. In der Praxis wählt man sich über seine geheimen Zugangsdaten bei einem Anbieter ein und kann danach auch Dienste von Drittanbietern nutzen, ohne sich jedes Mal neu anmelden zu müssen.

In der Vergangenheit gab es bereits mehrere Hackerangriffe auf OAuth 2.0. Solche Attacken führen in der Regel zu eiligen Reparaturen an den Programmcodes. Das Werkzeug, an dem das SEC arbeitet, soll anhand der Muster erkannter Schwachstellen von OAuth dazu beitragen, potenzielle Einfallstore für Bösewichte bereits in einem frühen Stadium zu erkennen.

Dos Vertrag am Institut läuft noch bis September 2019, ob er danach weiter in Stuttgart arbeiten wird, weiß er noch nicht. Dass hingegen Sicherheit sein Thema bleiben wird – das ist sicher.

Jens Eber

# Impressum

**Herausgeber:** Universität Stuttgart

**Anschrift:** Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70174 Stuttgart  
Telefon 0711 685-82211, Fax 0711 685-82291  
hkom@uni-stuttgart.de, www.uni-stuttgart.de

**Redaktion:** Dr. Hans-Herwig Geyer, Andrea Mayer-Grenu,  
Symptra GmbH (GPRA)

**Konzept:** Tempus Corporate  
www.tempuscorporate.zeitverlag.de

**Gestaltung und Umsetzung:** Zimmermann Visuelle Kommunikation  
www.zimmermann-online.info

**Anzeigen:** ALPHA Informationsgesellschaft mbH  
info@alphapublic.de, www.alphapublic.de

**Druck:** W. Kohlhammer Druckerei GmbH & Co. KG, Stuttgart

**Auflage:** 7.500

**ISSN:** 2198-2848

**Internet:** [www.uni-stuttgart.de/forschung-leben/](http://www.uni-stuttgart.de/forschung-leben/)



Gedruckt auf Circlesilk Premium White, zertifiziert mit dem EU-Ecolabel (Reg.-Nr. FR/11/003).  
Hergestellt aus 100 % Altpapier.



**FESTO**

## Innovation beginnt im Kopf. Ihre Karriere bei uns.

In der Industrie 4.0 verschmelzen Produktion und digitale Welt. Festo gestaltet diesen Trend maßgeblich mit – mit intelligenten Automatisierungslösungen von der Steuerungstechnik bis zur Sensorik und Aktorik. Neben der Entwicklung neuer Technologien bedeutet Industrie 4.0 für uns aber auch, unsere rund 20.100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf künftige Herausforderungen optimal vorzubereiten. Und ihnen die Freiheit zu geben, Innovationen aktiv mitzugestalten. Sind Sie bereit für die Industrie von morgen? Dann starten Sie Ihre Karriere bei Festo.