

Universität Stuttgart



FORSCHUNG LEBEN

DAS MAGAZIN DER UNIVERSITÄT STUTTGART

NR. 08 MAI 2017



Liebe Leserinnen und Leser,

in einem intensiven Diskussions- und Beratungsprozess hat sich die Universität Stuttgart in den zurückliegenden Monaten ein neues Leitbild erarbeitet und formuliert. Sie definiert sich darin als eine führende, technisch orientierte Universität mit weltweiter Ausstrahlung. Im Zentrum einer Region von hoher wirtschaftlicher Stärke sowie kultureller Integrationskraft versteht sie sich als Knotenpunkt universitärer, außeruniversitärer und industrieller Forschung sowie als Garant einer auf Qualität und Ganzheitlichkeit ausgerichteten, forschungsgeleiteten Lehre. Der Stuttgarter Weg steht für interdisziplinäre Integration von Ingenieur-, Natur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften auf der Grundlage disziplinärer Spitzenforschung.

Diese Maximen leiten sich aus einer großen Vision ab: Wir wollen Vordenker sein für die Themen der Zukunft auf dem Stuttgarter Weg der integrierten, interdisziplinären Forschung und Lehre. Weil wir an der Universität Stuttgart mit unserem Forschungsprofil die Möglichkeit haben, wichtige Zukunftsfragen ganzheitlich zu beantworten. Und weil wir uns mit unserem Wissen, Können und mit unserer Leidenschaft in einer besonderen Pflicht sehen, zur verantwortungsvollen Gestaltung unserer Zukunft beizutragen.

Wie unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diese Vision auf den zentralen Forschungsfeldern der Universität Stuttgart mit Leben füllen und welche hervorragenden Leistungen sie dabei erzielen, erfahren Sie in unserer aktuellen Ausgabe von FORSCHUNG LEBEN.

Lesen Sie, wie wir dank der Digitalisierung zu adaptiven Gebäuden kommen, mit denen sich der Baubedarf einer exponentiell wachsenden Weltbevölkerung auf ressourcenschonende Weise errichten lässt. Oder wie die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Bereich der Simulationstechnologien neue Ansätze bei der Behandlung von Gehirntumoren oder Wirbelsäulenerkrankungen ermöglicht.



Foto: Uli Regenscheid

„Wir sind Vordenker für die Themen der Zukunft auf dem Stuttgarter Weg der integrierten interdisziplinären Forschung und Lehre.“

Wolfram Ressel
Rektor der Universität Stuttgart

”

Lassen sie sich mitnehmen in die faszinierende Welt der Quantentechnologien, die an der Schwelle stehen von der Grundlagenforschung zu höchst interessanten Anwendungen in Elektronik und Medizin. Und erfahren Sie, wie neueste Produktionstechnologien – Stichwort Industrie 4.0 – die altgediente Einzel- fertigung neu beflügeln oder was man mit Hilfe der Digital Humanities zwischen den Zeilen von Shakespeare-Dramen entdecken kann.

Wir wünschen Ihnen eine inspirierende Lektüre!

**FREIRAUM** 02
Editorial**NACHRICHTEN** 06**GEMEINT**
Klimaerwärmung ist ein Kultur- und Naturthema

Gastautor Olaf Zimmermann
(Deutscher Kulturrat)
plädiert für eine Partnerschaft von Natur- und Geisteswissenschaften

WIE SOLL DAS GEHEN? 14
Anpassungsfähige Gebäude

Digitalisierung ermöglicht neuartige Konstruktions- und Bauformen

Leicht-Sinnig 20

Der Elytra Filament Pavillon basiert auf der Leichtbauweise von Käferflügeln

PATENT 22
Vermittlerin

Cordula Kropp bringt Mensch, Technik und Natur zusammen

IM BILDE 26
SOFIA und die Sternenforscher

SOFIA ist die weltweit einzige fliegende Sternwarte. Das Deutsche SOFIA Institut (DSI) der Universität Stuttgart koordiniert auf deutscher Seite den wissenschaftlichen Betrieb des Gemeinschaftsprojekts der DLR und der NASA.

FAKTOR X 50
Gegen den Strich gebürstet

Digitale Analyse alter Dramen liest zwischen den Zeilen

Die Bedeutungsschwere der leisen Zwischentöne 53

Computer lernen mithilfe von Algorithmen das Verstehen verstehen

Goethe digital 56

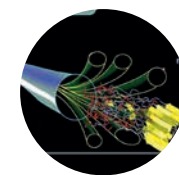
Geisteswissenschaftler im Maschinenraum

RPM – REVOLUTIONS PER MINUTE 58**FUTUR 22** 60
Harte Schale, zartes Händchen

Das Graduiertenkolleg Soft Tissue Robotics bringt Robotern den Umgang mit weichen Materialien bei

SATELLIT 90
“It’s all about the students!”

Für Markus J. Buehler bringt die Investition in den wissenschaftlichen Nachwuchs die Forschung voran

**WELTSICHT** 94
Den cleveren Lösungen der Natur auf der Spur

Einsturzgefahr gebannt
Bauingenieur Akanshu Sharma aus Indien macht Gebäude sicherer

**IMPRESSUM** 100**FORSCHUNG ERLEBEN**

62 **„WENN MÖGLICH, BITTE WENDEN“**
An der Universität Stuttgart entsteht ein „Navi“ für die Energiewende

65 **UNTERSTÜTZUNG FÜR DEN ARZT**
Simulationen der Wirbelsäule sollen bei der Skoliose-Behandlung helfen

68 **GEHIRNTUMORE BESSER VERSTEHEN**
SimTech setzt in der Krebsforschung auf interdisziplinäre Zusammenarbeit

72 **EINEN AUGENBLICK BITTE!**
Eye-Tracking-Forschung geht auf Blickfang

74 **KÜNSTLICHE INTELLIGENZ**
Weltspitze bleiben mit dem neuen Forschungsverbund Cyber Valley

76 **MENSCH DENKT, WOLKE LENKT**
Forscher arbeiten an cloudbasierter Steuerungstechnik für die Produktion

80 **INDUSTRIELL ZUM UNIKAT**
Hightech vereint ungleiche Paarung aus Massen- und Einzelfertigung

82 **TROPFEN AUF DEM HEISSEN STEIN**
DROPIT-Doktoranden sind dem Verhalten kleinster Wasserelemente auf der Spur

84 **BEREIT FÜR DIE ZWEITE QUANTENREVOLUTION**
Stuttgarter und Ulmer Kompetenzen unter einem Dach vereint

88 **MIT DIAMANT ZU KLEINEREN FESTPLATTEN**
Quantentechnologie erlaubt die Vermessung des Magnetfelds von Schreibköpfen



... aufgespießt

Verneigung vor NS-Opfern

Dass die Universitäten in Deutschland maßgeblich zur Diskriminierung von Juden und anderen Bevölkerungsgruppen durch die Nationalsozialisten beigetragen haben, ist seit Langem bekannt. Die Ausmaße des Unrechts an der Universität Stuttgart förderte Dr. Norbert Becker, Leiter des Universitätsarchivs, im Rahmen des Forschungsprojekts „Verfolgung und Unrecht an der Technischen Hochschule Stuttgart in der NS-Zeit“ zutage. Ermittelt wurden 440 Personen, denen in der NS-Zeit durch die Hochschule Unrecht geschehen ist, und die Verfolgung erleiden mussten. Elf Prozent der Professoren und neun Prozent der Assistenten wurden entlassen. Mindestens zwei Prozent der Studierenden waren von Diskriminierungen und Zwangsexmatrikulationen betroffen, aber auch Zwangsarbeiter aus den von der Wehrmacht besetzten Gebieten gehörten zu den Opfern. Bei einer Gedenkveranstaltung am 6. Februar 2017 bekannte sich die Universität vor Angehörigen und mehr als 300 Gästen zu ihrer Urheberschaft und Mittäterschaft im NS-Unrechtsregime und entschuldigte sich bei den Opfern. Zu der Studie erscheint eine Dokumentation, die im Laufe des Jahres als Buch verfügbar sein soll.



Foto: Universitätsarchiv Stuttgart

Doppelte Informationsoffensive

Einfacher, schneller, vernetzter: Der Megatrend in der IT-Branche verbindet auch drei Stuttgarter Start-ups, die sich Ende März gemeinsam mit dem Höchstleistungsrechenzentrum (HLRS) am Stand der Universität Stuttgart auf der diesjährigen Leitmesse CeBit präsentierten. Als Mitaussteller auf dem „Baden-Württemberg Gemeinschaftsstand“ zeigte die Universität dem Messepublikum aus aller Welt – darunter Bundesforschungsministerin Johanna Wanka, der baden-württembergische Ministerpräsident Winfried Kretsch-



BW/Gabriel Pöhlert Young

mann sowie Landeswirtschaftsministerin Nicole Hoffmeister-Kraut – attraktive Exponate aus der wissenschaftlichen Spitzenforschung, die zeitnah in industrielle Innovationen überführbar sind. Nur wenige Wochen später präsentierte die Universität zukunftsweisende Forschungsleistungen auf der Hannover Messe und unterstrich damit die Notwendigkeit, Erkenntnisse aus der Forschung rasch in industrielle Innovationen überzuführen. Insgesamt waren die Exponate von sieben Instituten und Einrichtungen zu erleben. Mit dabei der Forschungscampus ARENA2016 für die Automobilproduktion der Zukunft, hoch komplexe Dichtungs- und Steuerungstechnik, biobasierte Materialien und Stoffkreisläufe in der Architektur sowie Computersimulationen aus der Medizin und den Lebenswissenschaften. Und nicht zuletzt war ein Simulationsverfahren zu sehen, das Roboter in die Lage versetzt, sich automatisiert und verschleißfrei selbst beizubringen, wie man eine Kaffeetasse ergreift.

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



Wir machen das schon.



AUSSTELLUNG

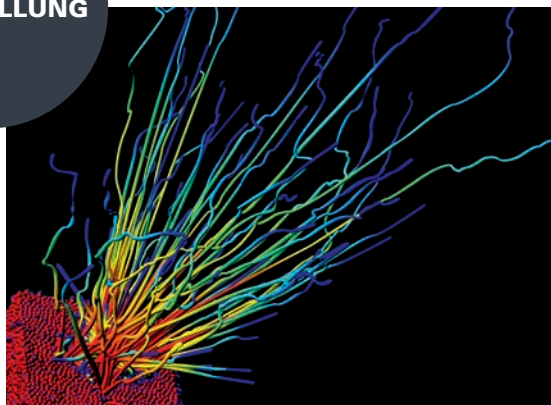


Foto: Universität Stuttgart / SPB 716

Im digitalen Labor

Wissenschaftlicher Fortschritt ist heute ohne Computersimulationen kaum noch denkbar. Sie ergänzen entwickelte Theorien und Experimente, lassen uns in die Zukunft schauen und ermöglichen Einblicke in Bereiche, die uns sonst verwehrt blieben. Doch was lässt sich mit Simulationen herausfinden? Warum und wofür werden sie überhaupt verwendet? Was ist ein wissenschaftliches Modell? Kann jeder am eigenen Computer simulieren? Diese und viele weitere Fragen beantworten der Exzellenzcluster SimTech und der Sonderforschungsbereich 716 der Universität Stuttgart im Rahmen der Wissenschaftsausstellung „Im digitalen Labor“, die noch bis 30. Juli 2017 im Stuttgarter Planetarium zu sehen ist. Die Schau gibt einen spielerischen Einblick in die Welt der virtuellen Experimente und lädt zum interaktiven Ausprobieren ein.

www.imdigitalenlabor.de

Zehnmal „A“ beim U-Multirank

Kräftig punkten konnte die Universität Stuttgart in der vierten Ausgabe des U-Multirank, der Ranking-Initiative der Europäischen Kommission. Mit zehn „A“-Werten liegt sie in der Spitzengruppe der fünf besten deutschen Hochschulen in den Bereichen Lehren und Lernen, Forschung, Wissenstransfer, Internationalisierung sowie regionales Engagement. Besonders gut schnitt die Universität Stuttgart in der Kategorie Forschung ab, wo sie bei fünf von insgesamt zehn Indikatoren den Spitzenwert erreichen konnte. Sehr erfolgreich schlug sich auch der Bereich Wissenstransfer mit Spitzenwerten bei vier von neun Indikatoren.

Datenanalyse XXL

Das Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart (HLRS) hat ein neues Big-Data-System in Betrieb genommen. Es handelt sich um eines der weltweit ersten Daten-Analyse-Systeme dieser Größenordnung im Produktionsbetrieb. Der neue Rechner umfasst insgesamt 64 Rechenknoten mit jeweils 36 Rechenkernen. Jeder Knoten ist mit einem Arbeitsspeicher von 512 Gigabyte und 1,6 Terabyte lokalem SSD-Speicher optimal ausgerüstet, um Lösungen für aktuelle und zukünftige Herausforderungen im Bereich der Datenanalyse bereitzustellen. Das HLRS bietet seinen Nutzern damit erstmalig die Möglichkeit, Petabyte-große Datenmengen effizient und zeitnah zu analysieren.

Gofuture!Klub

Nicht nur Großunternehmen, auch der Mittelstand kann von der Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart profitieren. Um den „Hidden Champions“ in der Region den Zugang zu Forschungsleistungen und Wissenschaftlern zu erleichtern und Studierenden neue Berufsperspektiven zu eröffnen, hat die Universität gemeinsam mit den Stuttgarter Unternehmen Jürgen Fürst (Suxes GmbH) und Christian Dau (Dau Kommunikation GmbH) der Gofuture!Klub gegründet. Ziel ist es, die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit mittelständischer Unternehmen zu stärken und sie bei der strategischen Personalgewinnung zu unterstützen. Auf die Mitglieder warten in einem exklusiven Kreis zahlreiche Veranstaltungen, persönliche Ansprechpartner und Möglichkeiten zum intensiven Austausch mit der Universität Stuttgart.

www.gofutureklub.de

Forschungsallianz „System Mensch“

Der Mensch ist ein hochkomplexes biologisches System, dessen „Untereinheiten“ fein abgestimmt, intelligent, dynamisch, energieeffizient und dabei auch wenig störungsanfällig ineinandergreifen. Dieses Zusammenspiel zu verstehen und systemtheoretisch zu modellieren, ist das Ziel einer regionalen Forschungsallianz der Universitäten Stuttgart und Tübingen. Sie wird vom Land Baden-Württemberg mit einer Million Euro auf drei Jahre gefördert. Das Mensch-Modell soll zum Beispiel für das Design technischer Systeme nutzbar werden. Indem auch die Störanfälligkeiten des „Systems Mensch“ erforscht werden, eröffnen sich zudem Ansätze zu neuen medizinischen Therapien. Hierbei stehen vor allem Erkrankungen des zentralen Nervensystems im Vordergrund.

Zweiter ERC-Grant für Prof. Wrachtrup

Bereits zum zweiten Mal verleiht der Europäische Forschungsrat (European Research Council, ERC) dem Physiker Prof. Jörg Wrachtrup von der Universität Stuttgart einen der renommierten ERC-„Advanced Investigator Grants“ für erfahrene exzellente Forschende. Mit dem neuen, mit 2,5 Millionen Euro dotierten Grant möchte Wrachtrup zeigen, wie man mit Quantensensoren elektrische Felder mit bisher unerreichter Empfindlichkeit und räumlicher Auflösung verfolgen kann. Das Forschungsprojekt mit dem Titel „Abbildung elektrischer Felder einzelmolekularer Ladungen mittels Quantensensoren“ knüpft an die bisherige Forschung Wrachtrups zur Nutzung atomarer Defekte in Diamanten für die Quantentechnologie an.

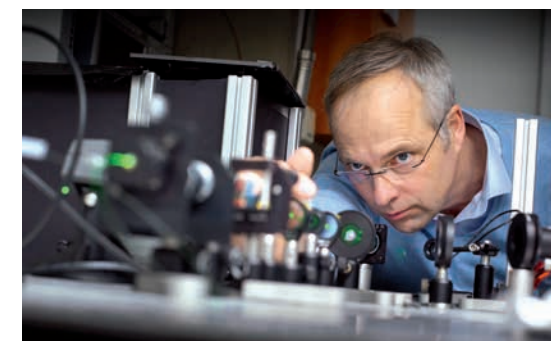


Foto: Frank Eppler

AUSGEZEICHNET

Herausragende Nanoroboter

Peer Fischer, Professor für Physikalische Chemie an der Universität Stuttgart und Leiter der Forschungsgruppe „Mikro-, Nano- und Molekulare Systeme“ am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, erhielt den World Technology Award 2016 in der Kategorie „Information Technology – Hardware“. Zusammen mit seiner Gruppe hat Fischer neue 3D-Nanofabrikationsmethoden und Nanoroboter entwickelt, unter anderem den ersten reziproken Mikroschwimmer und den ersten elastischen Mikroroboter, der sich durch die Veränderung der Körperform schwimmend fortbewegen kann. Darüber hinaus publizierte die Forschungsgruppe vor Kurzem das erste akustische Hologramm.



Foto: Ferdinando Iannone

Preis für mutige Wissenschaft

Dr. Ferdinand Ludwig vom Institut Grundlagen moderner Architektur und Entwerfen (IGMA) der Universität Stuttgart erhielt vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg den bundesweit einmaligen Preis für mutige Wissenschaft. Mit seiner Forschungsarbeit hat der Baubotanik-Pionier eine einzigartige Spielart der Architektur entwickelt, bei der hoch originelle Bauwerke durch das Zusammenwirken von technischem Fügen und pflanzlichem Wachsen entstehen.

Sein Konzept, Architektur und Natur zu vereinen, gilt als innovativ und wird als Beitrag zur Steigerung unserer Umwelt- und Lebensqualität verstanden.

Klimaerwärmung ist ein Kultur- und Naturthema Plädoyer für eine Partnerschaft von Natur- und Geisteswissenschaften

Interdisziplinarität, das Zusammenwirken der Natur-, Ingenieur-, Sozial- und Geisteswissenschaften sind als der Kerngedanke des „Stuttgarter Wegs“ im Leitbild der Universität Stuttgart verankert. Warum dieses Miteinander unabdingbar ist und welche Fragen die Stimme der Kultur stellen kann, beleuchtet der Geschäftsführer des Deutschen Kulturrats, Olaf Zimmermann, am Beispiel des Klimawandels.

Die Einflüsse der menschlichen Kultur auf die Natur, also unsere Umwelt, sind unübersehbar und kein Fleckchen der Erde ist von ihnen verschont. Trotzdem machen wir gerne einen Unterschied zwischen einer vermeintlichen natürlichen Umwelt und einer unnatürlichen, also von Menschen beeinflussten Umwelt. Bei dem Wort „natürlich“ assoziieren wir sofort „ursprünglich“, „unberührt“, „rein“, „sauber“, also zumindest „nicht künstlich“. Doch dieses Ideal von natürlicher Natur ist eine Fiktion: Überall, wo die menschliche Kultur ihre Spuren hinterlassen hat, ist die vermeintliche Unberührtheit dahin. Heute sind diese menschlichen Kulturspuren in den tiefsten Tiefen der Meere, auf den höchsten Bergen und sogar im ewigen Eis zu finden.

„Schuld“ daran ist die menschliche Natur. Wir wollen unsere Umwelt kultivieren. Kultur, vom lateinischen cultura „Bearbeitung“, „Pflege“, „Ackerbau“, bezeichnet im weitesten Sinne alles, was der Mensch selbst gestaltend hervorbringt. Aber nicht als Selbstzweck, sondern als notwendige Maßnahme, um in der Umwelt überleben zu können. Die Vorstellung gerade von Naturfreunden, dass mit weniger kultureller Beeinflussung die Natur besser, weil unberührter sei, ist aus der Sicht eines Menschen eher eine akademische als eine praktische Frage. Ohne Zweifel wäre die Natur ohne den Menschen nicht Kultur, vielleicht auch schöner, aber der Mensch könnte in ihr nicht leben. So weit geht dann

die Naturliebe auch des größten Naturfreundes wohl doch nicht.

Mehr Gegensätze als Gemeinsamkeiten

Trotzdem beschreiben die Begriffe Kultur und Natur in den gesellschaftlichen Debatten der vergangenen Jahrzehnte mehr Gegensätze als Gemeinsamkeiten. Diejenigen, die sich für die Natur einsetzten, und diejenigen, die sich für die Kultur engagierten, standen sich oft wie feindliche Brüder gegenüber. Doch ist dieser alte Gegensatz noch zeitgemäß?

Denn, wenn es die unberührte Natur nicht mehr gibt, dann ist alles um uns herum Kulturnatur oder Naturkultur. Das bedeutet aber gerade nicht, dass der Mensch keine Verantwortung für seine Umwelt hätte. Gerade weil er der universelle Gestalter ist und obwohl er diese Gestaltung auch nicht einfach abstellen kann, ist er für sein Tun, also die Art und Weise der Gestaltung mit all ihren Auswirkungen, verantwortlich. Er trägt Verantwortung für das Artensterben, die Erderwärmung und den Raubbau an den Schätzen der Natur.

Erderwärmung aus kultureller Perspektive

Das Klima ist ein gutes Beispiel für die Dualität von Kultur und Natur. Unsere kulturelle Entwicklung ist maßgeblich vom Klima gestaltet worden. Das Römische Reich konnte sich vor mehr als zweitausend Jahren leichter ausdehnen, als die Alpenpässe – wegen der Klimaerwärmung – auch im Winter leichter nutzbar wurden. Fast tausend Jahre später zerstörten nach einer deutlichen Abkühlung Gletscher viele römische Straßen in den Alpen und beschleunigten den Untergang des Römischen Reiches. Nord- und Nordwesteuropa wurden wegen der Klimaänderung zu dieser Zeit von Hungersnöten heimgesucht, die, so glauben Wissenschaftler, den Anstoß für die Völkerwanderung, einen fundamentalen kulturellen Aufbruch, gaben. Später

lösten Erwärmungen im Osten Dürreperioden aus, die den Handel der damaligen Zeit nachhaltig schädigten und höchstwahrscheinlich auch zur Zerstörung der Seidenstraße führten.

Wechselwirkung: Umwelt und Kultur

In Nordeuropa wirkte sich die Erwärmung dagegen überwiegend positiv aus. Es wurde grüner, Landwirtschaft wurde auch in Höhenlagen möglich. Die steigende landwirtschaftliche Produktion ermöglichte die Versorgung einer wachsenden Bevölkerung und den Ausbau von Handel und Gewerbe. Die kleine Eiszeit beendete diese kulturelle Aufwärtsbewegung. Die Pest und der Hunger hatten Europa fest im Griff. Der religiöse Fundamentalismus, auch eine Kulturerscheinung, nahm damals dramatisch zu. Kriege waren an der Tagesordnung. Flucht war oftmals die einzige Rettung. Seit 150 Jahren erwärmt sich das Klima wieder. Dieses Mal ist der Mensch nicht nur Opfer oder Nutznießer dieser Entwicklung, sondern er ist auch selbst mitverantwortlich für diese Veränderung. Schon jetzt zeigen sich die Wirkungen weltweit. Der Nothilfekordinator der UN, Stephen O'Brien, schlug im März dieses Jahres Alarm. In Afrika und Asien drohen 20 Millionen Menschen zu verhungern. Gründe sind Krieg, Vertreibung, Missmanagement, aber auch der Klimawandel. Zunehmen werden weltweit das Auftreten von Wirbelstürmen, Hitzewellen, Überschwemmungen und anderen Extremereignissen. Parasiten und tropischen Krankheiten werden sich auch in Mitteleuropa ausbreiten und immer mehr Menschen werden vor den Umweltkatastrophen, besonders in Afrika und Asien, auch nach Europa flüchten. Die Klimaänderungen haben unsere Kultur verändert und werden sie auch in der Zukunft massiv prägen.

Schnelles Gegensteuern unumgänglich

Die gerade stattfindende Erderwärmung, die wir Menschen zumindest stark mitbefördern, wird kei-

Die Dualität von Kultur und Natur muss sich auch im Hochschulalltag deutlicher zeigen.

Olaf Zimmermann

Geschäftsführer des Deutschen Kulturrates, des Spitzenverbands der Bundeskulturverbände

”

nen kulturellen Segen bringen. Die Zahlen liegen auf dem Tisch, die Notwendigkeit eines schnellen Gegensteuerns ist eigentlich unumgänglich. Warum passiert trotzdem so wenig?

- Weil die Klimaerwärmung nicht als Kulturthema, sondern nur als Naturthema gesehen wird.
- Weil es versäumt wurde, Umweltbildung als essenziellen Teil der kulturellen Bildung und umgekehrt zu verstehen.
- Weil es zugelassen wurde, dass Kultur und Umwelt als ein Gegensatz statt einer Einheit wahrgenommen werden.

Foto: Tim Flavor

Nebeneinander war gestern

Doch was bedeutet das für einen Kulturverband wie den Deutschen Kulturrat? Es ändert die bislang schön aufgeteilten Verantwortlichkeiten. Die einen kümmern sich um die Natur, die anderen um die Kultur. Die einen sind Naturwissenschaftler, die anderen Kulturwissenschaftler. Die einen sind Umweltpolitiker, die anderen sind Kulturpolitiker. Die einen engagieren sich in Umweltverbänden, die anderen in Kulturverbänden. Auch an den Hochschulen ist die meist strikte Trennung der Natur- und der Geisteswissenschaften schädlich für den Blick über den wissenschaftlichen Tellerrand. Die Natur- und die Geisteswissenschaften müssen sich gemeinsam dem Thema Klimawandel annehmen und gemeinsame Lösungen erarbeiten. Den Luxus eines Nebeneinanderher-Arbeitens können wir uns nicht mehr erlauben. Die Dualität von Kultur und Natur muss sich auch im Hochschulalltag deutlicher zeigen. Bislang hat sich der Kulturbereich aus Naturthemen weitgehend herausgehalten. Mit Blick auf Themen wie die Klimaerwärmung lässt sich erkennen, wie

unverantwortlich das ist. Da in diesem Jahr die 23. Weltklimakonferenz in Bonn (6.-17.11.) stattfindet, besteht die Chance, Umweltschutzfragen als Kulturfragen gemeinsam neu zu bewerten. Fangen wir gemeinsam an!

Olaf Zimmermann

► **Olaf Zimmermann, Jahrgang 1961 und gelernter Kunsthändler, ist seit März 1997 Geschäftsführer des Deutschen Kulturrates, des Spitzenverbands der Bundeskulturverbände mit 257 Mitgliedsorganisationen. Ziel dieser Institution ist es, kulturpolitische Diskussion auf allen politischen Ebenen anzuregen und für Kunst-, Publikations- und Informationsfreiheit einzutreten.**

Zudem ist Zimmermann Herausgeber und Chefredakteur von Politik & Kultur, der Zeitung des Deutschen Kulturrates sowie Koordinator und Moderator der Initiative kulturelle Integration.



Abbildung: Deutscher Kulturrat



Durchstarten in Deine Zukunft!

Wir sind ein international führender Hersteller von hochwertigen Spezialprodukten der Medizintechnik und beschäftigen weltweit in über 40 Ländern mehr als 7.100 Mitarbeiter. Wir bieten kontinuierlich spannende Themen für Praktika und Abschlussarbeiten in verschiedenen kaufmännischen und technischen Bereichen an.

Schau doch rein unter www.karlstorz.com

Generation Education

STORZ
KARL STORZ — ENDOSKOPe

Anpassungsfähige Gebäude Digitalisierung ermöglicht neuartige Konstruktions- und Bauformen

Der Welt steht ein gigantischer Bauboom bevor. Mit den bisherigen Verfahren wird dieser nicht zu bewältigen sein. An der Universität Stuttgart gehen interdisziplinäre Teams deshalb in gleich zwei Sonderforschungsbereichen der Frage nach, wie man mit neuartigen Methoden der Planung, der Konstruktion und des Bauens unsere gebaute Umwelt so gestalten kann, dass sie sich selbsttätig an wechselnde Anforderungen, wie etwa hinsichtlich Tragverhalten oder Wärmedämmung, anpassen kann. Als Vorbild dient den Architekten und Ingenieuren auch die Natur.

Als sich Konrad Zuse in den 1930er-Jahren daranmachte, den ersten Computer der Welt zu entwickeln, lebten gerade einmal zwei Milliarden Menschen auf der Erde. Heute, 85 Jahre später, sind es 7,5 Milliarden. Etwa 2 Milliarden Kinder und Jugendliche werden in den nächsten Jahren erwachsen. Sie werden eigene Wohnungen, Arbeitsplätze und Einkaufszentren benötigen. „Alles, was bis 1930 gebaut wurde, müssen wir in den nächsten 16 Jahren noch einmal bauen“, sagt Prof. Werner Sobek, Leiter des Instituts für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK). „Um unseren Planeten nicht endgültig zu überfordern, benötigen wir dringend neue Ansätze, die es erlauben, mehr mit weniger zu bauen, und mit deren Hilfe sich verbautes Material wieder voll in natürliche und technische Stoffkreisläufe zurückführen lässt.“ Denn das Bauwesen ist weltweit der mit Abstand größte Ressourcenverschwender: Es verbraucht die meiste Energie, das meiste Wasser, die meisten Ressourcen und produziert den meisten Müll.

Digitalisierung als Chance

Diese Herausforderungen vor Augen nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von heute

die Möglichkeiten der einst von Zuse angestoßenen digitalen Revolution. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt dies und fördert an der Universität Stuttgart zwei Sonderforschungsbereiche (SFB) mit jeweils rund 10 Millionen Euro für zunächst vier Jahre. Beide dienen dem Ziel, anpassungsfähige und effiziente Gebäude zu entwickeln, die die Ressourcen und damit die Umwelt schonen. Auf dem Weg dahin setzen sie aber durchaus unterschiedliche Akzente.

Bereits seit 2014 widmen sich in Stuttgart Architekten und Ingenieure im transregionalen Sonderforschungsbereich SFB/TRR 141 – gemeinsam mit Biologen und Physikern der Universität Freiburg sowie mit Geowissenschaftlern und Evolutionsbiologen der Universität Tübingen – den „Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien in Biologie und Architektur“. „Unser Ziel sind multifunktionale, anpassungsfähige und gleichzeitig ökologisch effiziente Strukturen, die die Grenzen herkömmlicher Baukonstruktionen weit hinter sich lassen“, erklärt Sprecher Prof. Jan Knippers vom Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart. Hierfür nehmen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die außerordentlich vielfältigen und effizienten Strukturen in der Natur zum Vorbild und übertragen deren Prinzipien auf Architektur und Technik.

Zu Beginn des Jahres 2017 ist der Sonderforschungsbereich SFB 1244 „Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen“ hinzugekommen. Dessen Sprecher Prof. Werner Sobek will mit dem von ihm postulierten „Triple-Zero-Konzept“ erreichen, dass Gebäude in Zukunft nicht mehr Energie verbrauchen, als sie selbst aus nachhaltigen Quellen gewinnen (zero energy), dass sie keine für Mensch und Umwelt schädlichen Emissionen erzeugen (zero emissions) und dass sie ohne Rückstände vollständig in natürliche oder technische Kreisläufe rückführbar sind (zero waste).



Glasfassade mit integrierten Scherenaktoren zur Reduktion der Fassadendeformation unter Windlasten.

Foto: Universität Stuttgart/ILEK

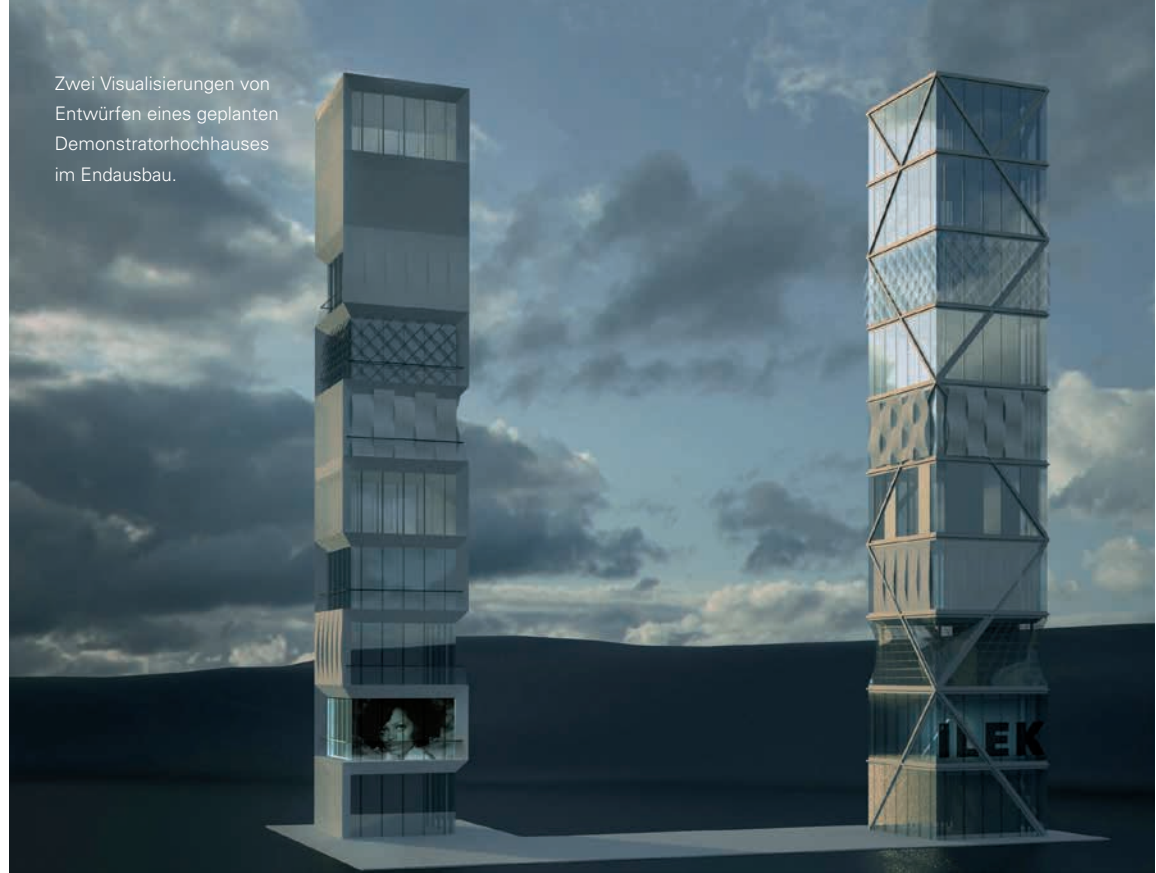
Gebäude stellen sich auf Belastungen ein

Ein Schlüsselwort auf dem Weg dahin lautet Adaptivität. Dieser völlig neue Ansatz steht für eine grundlegende Transformation der architektonischen Konzeption von Gebäuden, die sowohl einzelne Komponenten, als auch deren Einbindung in das Gesamtsystem umfasst. Sobek verdeutlicht dies für den SFB 1244 am Beispiel der Baustruktur: Bislang habe man Bauten so geplant, dass sie die zu erwartenden maximalen Beanspruchungen aushalten. Die Wahrscheinlichkeit, dass derartige Extremfälle tatsächlich eintreten, ist aber typischerweise eher gering. Die Folge sind Tragwerke, die für den größten Teil ihrer Lebensdauer signifikant überdimensioniert sind. Das kostet Material und Geld. Seit inzwischen 20 Jahren forscht man am ILEK daher an anpassungsfähigen Systemen. Eine adaptive Struktur ersetzt die Masse, die für Extremlasten vorgehalten werden muss, durch Energie, die nur kurzzeitig eingesetzt wird. Dies erlaubt radikale Einsparungen bei den einzusetzenden Baustoffen.

Sobek erforschte dies in der Vergangenheit bereits mit anderen Instituten, insbesondere mit dem Institut für Systemdynamik (ISYS) der Universität Stuttgart, dessen Leiter Prof. Oliver Sawodny auch stellvertretender Sprecher des neuen Sonderfor-

schungsbereichs ist. Zuvor kooperierten die beiden in der ebenfalls DFG-geförderten Forschergruppe 981 „Hybride intelligente Konstruktionselemente“, einer fruchtbaren Zusammenarbeit, die zum Nukleus des jetzigen Sonderforschungsbereichs werden sollte. In ihrem Kontext entstand die „Stuttgart SmartShell“, das weltweit erste anpassungsfähige Schalentragwerk im großen Maßstab: Eine nur 4 Zentimeter dicke Holzschale überspannt mehr als 100 Quadratmeter Fläche. Dies funktioniert, weil Sensoren ständig die Belastungen im Bauwerk messen. Drei von vier seiner Auflagepunkte lassen sich mit Hydraulikzylindern bewegen. So stellt sich die Konstruktion innerhalb von Millisekunden auf besondere Krafteinwirkungen ein, beispielsweise durch Schnee oder starke Windböen.

Diese Forschung führt der SFB 1244 weiter. Daran beteiligen sich 15 Institute der Universität Stuttgart sowie das Fraunhofer Institut für Bauphysik – Architekten und Bauingenieure, Flugzeug- und Maschinenbau-Ingenieure sowie Informatiker. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen das Prinzip der „Stuttgart SmartShell“ übertragen und untersuchen, wie man mit Sensoren und Aktoren etwa intelligente Hochhäuser und Brücken bauen kann. In einem weiteren Teilbereich des SFB 1244



Zwei Visualisierungen von Entwürfen eines geplanten Demonstratorhochhauses im Endausbau.

Foto: Universität Stuttgart/ILEK

sollen sogenannte Fluidaktoren, also hydraulische oder pneumatische Elemente, direkt in Bauteile integriert werden. Diese könnten die Anpassungen in den Auflagern überflüssig machen, wie sie bei adaptiven Strukturen wie der SmartShell vorgenommen werden. In einem anderen Projekt will das Team zudem eine schaltbare Atmungsaktivität für Gebäudehüllen entwickeln.

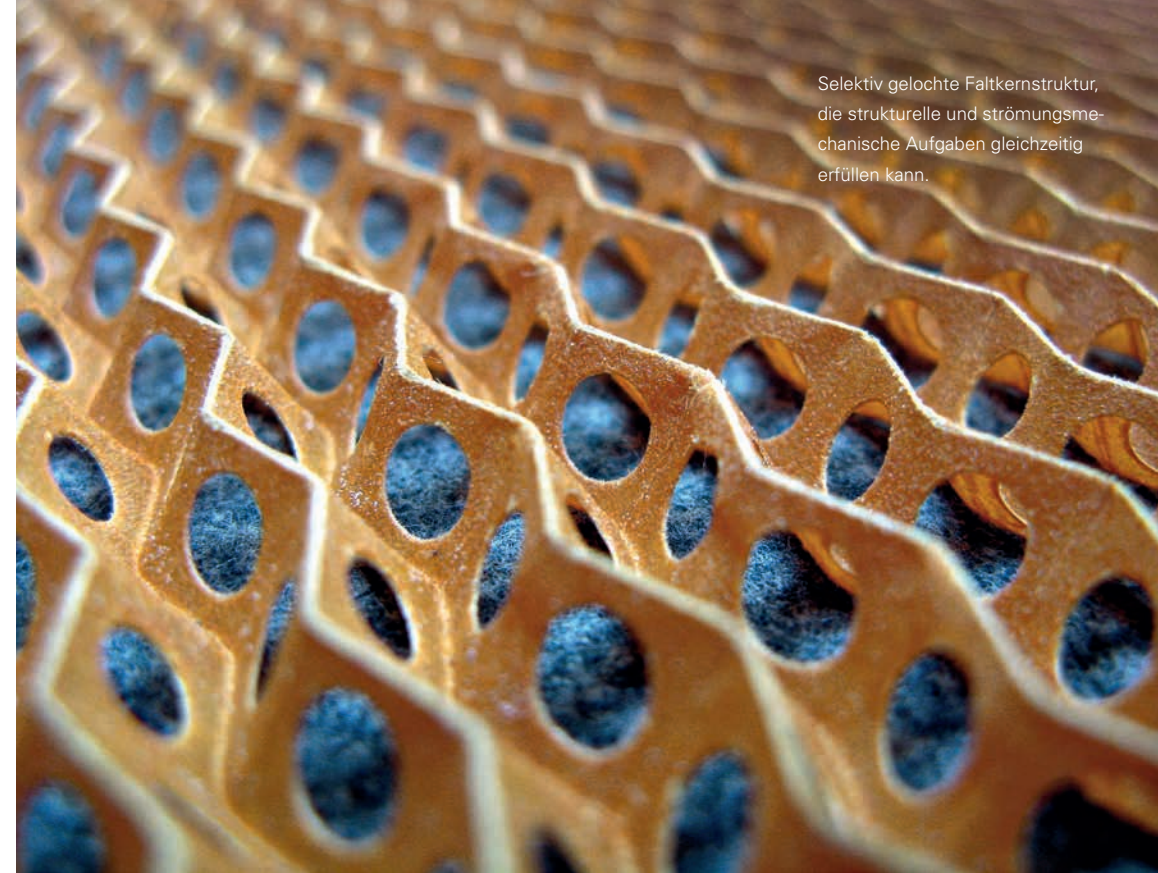
Tradition mit Weitblick

Innovationen im Bauwesen herbeizuführen, indem verschiedene Disziplinen zusammenarbeiten, hat an der Universität Stuttgart Tradition. Die Hochschule brachte prägende Ingenieure und Architekten wie Fritz Leonhardt, Jörg Schlaich und Frei Otto hervor, der 2015 als zweiter Deutscher den Pritzker-Preis erhielt. Otto etablierte Zusammenarbeit, während anderswo Rivalität herrschte – und war damit wegweisend: „Seit der Gründung des Instituts für Leichte Flächentragwerke durch Frei Otto, das ich 1994 übernommen und im Jahr 2000 mit dem damaligen Institut für Konstruktion und Entwurf zum ILEK verschmolzen habe, hat die Universität Stuttgart eine weltweite Spitzenposition im Leichtbau inne“, sagt Sobek. Heute ist das am ILEK entwickelte Forschungsfeld „Ultraleichtbau durch aktiverbare Bauwerke“ zu einem zentralen Bestandteil des

Forschungsprofils der Universität geworden. Eine herausragende Leistung Ottos sei zudem gewesen, neue Entwicklungen im Material auch in neuartige Formen der Konstruktion zu übertragen, betont Prof. Achim Menges, Leiter des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen (ICD). Otto ließ sich von der Natur inspirieren und strebte nach geringem Materialverbrauch. Beide Prinzipien führen seine Nachfolger im SFB/TRR 141 und dem SFB 1244 fort. Wie damals vollziehe sich derzeit ein fundamentaler Paradigmenwechsel im Bauen, sagt Menges, dessen Institut an beiden Sonderforschungsbereichen mitwirkt. „Das ist der Einzug der digitalen Technologien.“ Ohne diese wäre ein Bauwerk wie die „Stuttgart SmartShell“ undenkbar.

Digitale Revolution braucht Kooperation

Daraus resultieren komplexe digitale Planungs- und Fertigungsprozesse, wofür alle Beteiligten intensiv zusammenarbeiten müssen. Das wollen die Stuttgarter Forscher vorleben. Den künftigen Planern gebe man so die erforderlichen neuen Werkzeuge und Methoden an die Hand, mit deren Hilfe sie adaptive Systeme entwerfen, gestalten und baulich umsetzen können, sagt Sobek. Über zahlreiche Kooperationen mit ausländischen Hochschulen und weil in Stuttgart viele junge Menschen aus allen



Selektiv gelochte Faltkernstruktur, die strukturelle und strömungsmechanische Aufgaben gleichzeitig erfüllen kann.

Foto: Universität Stuttgart/IFB/Y. Klett

Kontinenten studieren, gelangt dieses Wissen in die großen Wachstumsregionen der Welt. Zudem arbeiten viele deutsche Planer, Architekten und Ingenieure an Projekten in den Regionen, in denen die Lebenswelt für zwei Milliarden junge Erwachsene entstehen muss.

Vom Seeigel zur Ausstellungshalle

Den Gedanken der Interdisziplinarität verfolgt auch der TRR 141: „Die Grundidee des Transregio ist es, Natur- und Ingenieurwissenschaftler zusammenzubringen“, erklärt Jan Knippers. Ziel dieses Teams ist es, aus der Biologie Modelle der Strukturen von Pflanzen und Tieren zu gewinnen, diese zu digitalisieren und in das Ingenieurwesen zu übertragen. Wie der Prozess mit zahlreichen Forschern unterschiedlicher Disziplinen abläuft, lässt sich am Beispiel einer Ausstellungshalle für die Landesgartenschau 2014 in Schwäbisch Gmünd nachvollziehen. Am Beginn der Arbeiten stand eine Gattung des Seeigels, der Sanddollar. „Er lebt in der Brandung und ist durch eine innere Stützstruktur angepasst an hohe mechanische Belastungen“, erklärt Knippers. Diese Struktur erfassten die Biologen mit computertomografischen Aufnahmen. Ein speziell entwickeltes Computerprogramm übersetzte die Grauwerte des Bildes in Festigkeits-

eigenschaften. Daraus entstand eine Simulation. So ließ sich ein Prinzip ableiten, wie der Sanddollar seine Skelettplatten anordnet und aufbaut.

„Dieses Prinzip folgt Regeln, die ich algorithmisch beschreiben kann“, erklärt Achim Menges. Um derartige Prozesse in der Architektur zu etablieren, hatte er im Jahr 2008 das Institut für Computerbasiertes Entwerfen gegründet. Für die Seeigel-Halle programmierte Menges’ Team ein digitales Planungswerkzeug. Jede der Platten wurde als einzelnes Element mit individuellen Eigenschaften angelegt: Kriterien dabei waren Einschränkungen des Materials, Baubarkeit durch Roboter oder einwirkende Kräfte. „Diese sogenannten Agenten wandern durch den Raum und finden einen Zustand, in dem alle Anforderungen erfüllt sind“, erklärt Menges. „Der Architekt entwirft nicht die finale Form, sondern den Prozess.“ So entsteht eine Mensch-Maschine-Interaktion, die jenseits dessen liegt, was Mensch oder Computer jeweils alleine bisher zu leisten vermochten.

In diesem Fall lieferte das Programm die Daten für den Industrieroboter, der daraus ableitete, wie er die Platten sägen, fräsen und bohren soll. Auch diese robotische Bearbeitung von Holz ist eine Innovation. Zunächst baute die Gruppe einen Forschungspavillon aus diesen Holz-Segmentschalen,

der die Erkenntnisse für die hochgradig effiziente, selbsttragende Ausstellungshalle lieferte. Deren 270 Platten ließen sich wie ein 3D-Puzzle zusammenstecken und bei Bedarf auch wieder abbauen. „Wir haben es geschafft, mit 12 Kubikmetern Holz 605 Kubikmeter Raum zu umbauen. Die Schale überspannt 10 mal 19 Meter, ist aber nur 50 Millimeter stark“, sagt Menges. Inzwischen verwenden die ersten Bauvorhaben die Holz-Segmentschalen. Das Prinzip ist im Bau-Alltag angekommen. „Ich sehe unsere Aufgabe in einem hochentwickelten Technologieland darin, die Technologie weiter voranzubringen“, beschreibt Jan Knippers die Rolle der Forscher. „Wenn es sich in der Spitze bewährt hat, wird es sich schrittweise in der Breite durchsetzen.“

Ohne Gelenke, Rollen oder Scharniere

Warum Konstruktionen, die sich an der Natur orientieren, herkömmlichen Strukturen überlegen sein können, erklärt Knippers so: „Normalerweise haben wir viele Komponenten, die wir zusammenschrauben.“ Je komplexer jedoch ein technisches System aufgebaut ist, desto anfälliger wird es: „Es klemmt und quietscht. Wenn nicht jedes Gelenk genau da sitzt, wo es sein soll, gibt es Probleme.“ Mit Hilfe der Bionik verschiebt man diese mechanische Komplexität ins Material. Dabei greift man auf zwei Grundprinzipien der Natur zurück: einen Aufbau aus Fasern oder einen aus porösen Strukturen. „In beiden Fällen geht es darum, sehr fein abgestufte physikalische und chemische Eigenschaften zu erzie-

Eine Idee ist immer nur so gut wie ihre Umsetzung

Visionäre Ideen bringen uns nur weiter, wenn sie umgesetzt werden. Für die Energiewende beispielsweise werden in der Umsetzung junge Macher wie Sie gebraucht. In der Energie- und Wasserwirtschaft können Sie viel bewegen und Ihre Talente und Fähigkeiten einbringen. Ob in einer Abschlussarbeit oder durch einen Masterstudiengang, bei einem Praktikum oder in einer Festanstellung – alle Möglichkeiten finden Sie im Portal »Berufswelten Energie & Wasser«. Gute Idee, oder? Sie brauchen sie nur noch umzusetzen.



goo.gl/IFP8FT



Schaltbare, gepixelte Verglasung in unterschiedlichen Abdunklungen und mit unterschiedlichen Motivdarstellungen.

Foto: Universität Stuttgart/ILEK



len“, sagt Knippers. Zahlreiche Teilprojekte im TRR 141 widmen sich daher der Frage, wie man bewegliche, veränderbare Konstruktionen ohne Gelenke, Rollen oder Scharniere bauen kann, indem man Pflanzenbewegungen in mechanische Systeme überträgt. Als Vorbilder dienen dabei unter anderem die Venus-Fliegenfalle und der Öffnungsmechanismus eines Kiefernzapfens. Zwar sind derartige Systeme aufwendiger und komplexer zu konstruieren. Dank digitaler Technik kann man so jedoch einfacher, effizienter und dauerhafter bauen – bei wesentlich geringerem Materialeinsatz.

Bis sich die Erkenntnisse aus der Forschung vollständig im Bauwesen niederschlagen, wird es nach Werner Sobeks Schätzung noch etwa ein Jahrzehnt dauern. Er rechnet damit, dass sich in einigen Jahren bis zu 70 Prozent der heute eingesetzten Ressourcen einsparen lassen. Die Zeit drängt, denn schon in den 2020er-Jahren soll die Zahl der lebenden Menschen die Marke von 8 Milliarden übersteigen.

Daniel Völpellamg

Info

Der Baubionik des Sonderforschungsbereichs 141 widmet sich vom 19. Oktober 2017 bis 6. Mai 2018 die Sonderausstellung „baubionik – biologie beflügelt architektur“ im Staatlichen Museum für Naturkunde Stuttgart, Schloss Rosenstein. Die

Ausstellung zeigt Beispiele, Ideen, Forschungsansätze und Visionen, die das Ziel haben, eine nachhaltige Architektur zu entwickeln, die mit Energie effizient umgeht und gleichzeitig ästhetisch überzeugt.

Leicht-Sinnig Der Elytra Filament Pavilion basiert auf der Leichtbauweise von Käferflügeln

Anders als der Mensch konstruiert die Natur mit Fasern: Pflanzen aus Cellulose, Insekten aus Chitin, Wirbeltiere aus Kollagen. Warum nicht dieses Prinzip ins Bauwesen übertragen, dachten sich Forscherinnen und Forscher der Universität Stuttgart. Ein Pavillon, der mit ihrer neuartigen Methode entstand, war im Jahr 2016 die Hauptattraktion des Victoria & Albert Museums in London.

Vor 165 Jahren war das Victoria & Albert Museum in London gegründet worden, um die Einflüsse der Industrialisierung auf die Gesellschaft aufzuzeigen. 2016 wollte das Museum mit der weltgrößten Kunst- und Designsammlung verdeutlichen, wie sehr das Ingenieurwesen das 20. Jahrhundert geprägt hat. Der Publikumsmagnet im Innenhof zu dieser „Engineering Season“, der „Elytra Filament Pavilion“, hat seine Wurzeln an der Universität Stuttgart. Der

Entwurf dieses Exponats basiert auf dem inneren Aufbau von Käferflügeln. Damit entschieden die Stuttgarter den Wettbewerb um das Exponat im John Madejski Garden für sich.

„Unsere Idee war, aufzuzeigen, wie sich Engineering und Design in Zukunft begegnen können“, erklärt der Architekt Prof. Achim Menges, Leiter des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen der Universität Stuttgart. Das Team um Menges und den Bauingenieur Prof. Jan Knippers vom Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen hat dafür ein Roboterverfahren verfeinert – eine eigens programmierte Software entwarf die Struktur. Anschließend wickelte ein Roboter Glas- und Kohlefasern, die mit Epoxydharz getränkt waren, auf ein sechseckiges Leiterrüst. Der Clou: Der Industrieroboter baute keinen fertigen Entwurf nach, sondern die Fasern fanden ihre Lage beim Wickeln von selbst. So entstanden 45 komplexe Sechsecke, jedes in seiner Faserstruktur einzigartig und auf die jewei-



Foto: V&A London



Foto: NAARO

Der Elytra Filament Pavilion der Universität Stuttgart war ein Publikumsmagnet der Kunst- und Designsammlung des Victoria & Albert Museums in London 2016.

lige Funktion im Dach angepasst. Für das Team war dieses Herangehen völlig neuartig: „Entwurf und Fertigung greifen nahtlos ineinander“, sagt Menges. Die Bauweise hatten sich die Forscher von den Deck- oder auch Panzerflügeln, den sogenannten Elytren, einheimischer Käferarten abgeschaut. Gebildet werden diese aus einer Ober- und Unterschale, die wie flache Waben untereinander verbunden sind. Da, wo sie sich berühren, sorgen unterbrechungslos durchlaufende Fasern aus Chitin für Festigkeit. Dazwischen sind die Flügel hohl. Nach diesem Vorbild schuf das Forscherteam eine hochfeste, aber extrem leichte Konstruktion. Das gesamte Dach mit 225 Quadratmeter Fläche wog 2,5 Tonnen – so viel wie zwei Quadratmeter der Backsteinfassade des Victoria & Albert Museums. Für Menges verkörpert der Elytra Filament Pavilion „das Zusammendenken von architektonischem Entwurf, ingenieurhafter Konstruktion und neuesten Fertigungsmethoden“. Sie ist typisch für den transregionalen Sonderforschungsbe- reich SFB/TRR 141, dessen Sprecher Jan Knippers ist. Der interdisziplinäre

und integrative Ansatz dieses Bereichs bringt Architekten und Ingenieure der Universität Stuttgart, Biologen und Physiker der Universität Freiburg sowie Geowissenschaftler und Evolutionsbiologen der Universität Tübingen zusammen.

Aktuell spinnen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Prinzip an einem neuen Pavillon weiter: „Jetzt haben wir zwei Roboter, die sehr weit auseinander stehen, und eine Drohne, die die Fasern vom einen zum anderen fliegt“, berichtet Menges. Irgendwann könnten Maschinen auf diese Weise womöglich komplette Stadiondächer bauen.

Der Prototyp dafür wird vom Frühjahr 2017 an auf dem Uni-Campus Stadtmitte zu sehen sein.

Daniel Völpe



Prüfender Blick: die Glas- und Carbonfaserzellen des Elytra-Pavillons.

Foto: V&A London

Vermittlerin

Cordula Kropp bringt Mensch, Technik und Natur zusammen

Die Kombination von Geistes- und Naturwissenschaften zieht sich wie ein roter Faden durch das Leben von Cordula Kropp. Damit steht die Technik- und Umweltsoziologin exemplarisch für das Leitbild der Universität Stuttgart, an der interdisziplinäre Zusammenarbeit und das kritische Begleiten von Forschung und deren Folgen großgeschrieben werden. Seit August 2016 ist Kropp hier Professorin für Soziologie mit dem Schwerpunkt sozialwissenschaftliche Risiko- und Technikforschung.

„Das ist genau meine Professur“, entgegnet Cordula Kropp lachend auf die Frage, warum sie den Ruf an die Universität Stuttgart angenommen hat. Leicht ist ihr, die fast ihr gesamtes Leben in München verbracht hat, dieser Schritt nicht gefallen. Schließlich hinterlässt sie dort Haus, Ehemann und das jüngste von zwei bereits erwachsenen Kindern. „Das Zusammenwirken von Technik und Umwelt hat mich schon immer fasziniert“, gesteht Kropp. Außerdem sei ihr neuer Wirkungsort einer von drei Standorten in Deutschland, an denen zu Technik- und Umweltsoziologie geforscht werde – neben München und Berlin. Für Stuttgart spreche die langjährige Tradition, Technikrisiken verstärkt unter die Lupe zu nehmen.

Als Umwelt- und Techniksoziologin interessiert sich Kropp dafür, wie Technik sich überhaupt entwickelt und verbreitet. Warum setzten sich beispielsweise Anfang des 20. Jahrhunderts Autos mit Verbrennungsmotor gegenüber Elektroautos durch? Die Soziologinnen und Soziologen untersuchen, welche Chancen oder Gefahren technische Errungenschaften mit sich bringen und wie die Menschen darauf reagieren. Sie analysieren, wie aktuelle Trends, etwa das Smartphone, sich auf die Gesellschaft auswirken und umgekehrt, welchen Einfluss die Gesellschaft

auf die Technikgestaltung hat. Und sie beschäftigen sich damit, wie die Gesellschaft mit den Folgen des technischen Fortschritts, wie etwa Klimawandel, Luftverschmutzung oder Artenschwund, umgehen kann, um auch den nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umgebung zu hinterlassen.

Zuvor war Kropp sieben Jahre lang Professorin für sozialwissenschaftliche Innovations- und Zukunftsforschung an der Hochschule München. Sie erforschte, wie sich zukunftsfähige soziale Innovationen durchsetzen, die engagierte Bürgerinnen und Bürger als Antwort auf gesellschaftliche Herausforderungen, wie beispielsweise Klima- und Energiewende oder ökologische Lebensmittelproduktion, entwickeln. Beispiele für solche soziale Innovationen, die althergebrachte verkrustete Routinen aufbrechen können, sind unter anderem Bürger-Energiegenossenschaften oder städtische Gemeinschaftsgärten. Sie entstehen als Folge von Technik, begleiten technische Entwicklungen oder machen diese erst möglich.

Klimawandel – aber nicht bei uns

Besonders ans Herz gewachsen ist Kropp das Thema Klimawandel. In mehreren Verbundprojekten untersuchte die Soziologin zusammen mit Kollegen, wie Pioniergemeinden im Alpenraum auf die globale Klimaveränderung reagieren und welche Lösungen sie entwickeln. Warum handelt eine Gemeinde klimafreundlich, indem sie auf regenerative Energieträger umstellt und auf ökologische Landwirtschaft oder sanften Tourismus setzt, aber eine direkt benachbarte nicht? „Es kommt nicht auf eine investitionsstarke Bevölkerung mit hoher Bildung an, sondern es braucht visionäre Personen mit guten Verbindungen zu Politik und Wirtschaft“, nennt Kropp einen der Erfolgsfaktoren.

Die Untersuchung zeigte auch, dass viele Menschen sich nach wie vor nicht direkt vom Klimawandel betroffen fühlen. Für sie ist er eine zukünftige Bedro-

Der globale Klimawandel muss ‚am Boden‘ gelöst werden. Dabei kommt es nicht auf eine investitionsstarke Bevölkerung mit hoher Bildung an, sondern es braucht visionäre Personen mit guten Verbindungen zu Politik Wirtschaft.

Cordula Kropp



Foto: Uli Regenschmitt

hung vor allem für südliche Länder, verursacht von Städten und Industriezentren. Um die Menschen zu klimafreundlichem Handeln zu bewegen, muss man ihnen verdeutlichen, wie sich schon jetzt Erwärmung, Schneemangel oder Hochwasser konkret auf ihr Leben, die lokale Land- und Forstwirtschaft oder den Wintersport auswirken. Kropp ist daher überzeugt, dass der globale Klimawandel „am Boden gelöst werden muss“, indem die Zivilgesellschaft sowie örtliche Unternehmen eingebunden werden. Die Sozialwissenschaftlerin prägte dafür den Begriff „Klima von unten“ und schrieb mehrere Buchbeiträge und Aufsätze darüber.

Hochriskant: Vages Wissen, schlechte Kommunikation

Im Laufe ihrer beruflichen Karriere hat sich Kropp immer wieder anderen Aspekten der Technik- und Umweltsoziologie gewidmet. Bei der gemeinnützigen Münchner Projektgruppe für Sozialforschung, wo sie ebenfalls sieben Jahre lang tätig war, stand vor allem Wissens- und Risikokommunikation im Agrarbereich im Fokus ihrer Forschung. So analysierte Kropp beispielsweise die BSE-Krise, die zu den größten Lebensmittelskandalen Deutschlands zählt und die negativen Auswirkungen der industriellen Massentierhaltung aufzeigte. Als Auslöser des Rinderwahns gilt infiziertes Tiermehl, das Landwirte als preiswerten Eiweißlieferanten an Rinder verfütterten.

Kropp interessierte, wie das zunächst vage Wissen um die Übertragung und um die mögliche Ansteckungsgefahr für den Menschen seinen Weg aus der Forschung in die Politik und Gesellschaft nahm, und wie diese damit umgingen. Sie publizierte, wie es Wissenschaftlern gelingen kann, Politiker angemessen zu beraten. Und sie fand in einem anderen Projekt heraus, dass gerade Lebensmittelskandale, aber auch Umbrüche im Lebenslauf wie Schwan-

gerschaft, Krankheit oder Scheidung, Menschen dazu bewegen können, ihre Ernährungsgewohnheiten umzustellen – von Billig-Lebensmitteln auf Bioprodukte. Kropps Forschungsportfolio reicht von der Risikokommunikation von Nahrungsergänzungsmitteln und Nanomaterialien über die Verbreitung von wiederverwertbaren Lebensmittel-Verpackungen bis hin zu Nullenergiehäusern und vernetzten Mobilitätsangeboten.

„Technische Konstruktionen sind schön“

Anders als manche Kollegen hatte die Soziologin schon immer eine große Nähe zu Naturwissenschaften und Technik. Bereits als junge Gymnasiastin in München wählte sie Deutsch und Physik als Abiturfächer. „Ich erkenne in einer technischen Konstruktion auch eine Schönheit“, erklärt Kropp, die seit Jahren mit einem Ingenieur verheiratet ist. „Da ist oft eine unangemessene Überheblichkeit seitens der Soziologen, die selbstverständlich erwarten, dass Ingenieure sich mit kulturellen Fragen auseinandersetzen, ohne sich selbst mit naturwissenschaftlichen Theorien zu befassen“, kritisiert Kropp ihre Zunft. Ihr persönlicher Weg zur Soziologie führt zunächst über einen Umweg. Direkt nach dem Abitur macht Kropp eine Ausbildung zur Buchhändlerin – den Eltern zuliebe, denen damals ein geisteswissenschaftliches Studium als brotlose Kunst erschien. Tief in ihrem Inneren beschäftigt sie jedoch ein Ereignis, das die Welt in ihrem Fortschrittsglauben erschütterte: die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl, die sich 1986, im Jahr ihres Abiturs, abspielte. Kropp wird bewusst, in welchem Spannungsverhältnis Fortschritt und Umweltfolgen stehen können. Sie liest Bücher zu Technikphilosophie und -soziologie und führt intensive Gespräche mit dem berühmten französischen Soziologen Pierre Bourdieu. Dieser ist Kunde in der Pariser Buchhandlung, in der sie

Nasse Warnung: Nur wenn den Menschen bewusst wird, wie sich schon jetzt Erwärmung und Hochwasser konkret auf ihr Leben auswirken, lassen sie sich zu klimafreundlichem Handeln bewegen.



Foto: Fotolia

später arbeitet, und weckt schließlich die Liebe zur Soziologie in der jungen Frau. Zurück in München trifft Kropp während des Studiums der Soziologie an der Ludwig-Maximilian-Universität auf einen weiteren Wegbereiter. Ulrich Beck ist damals schon einer der bekanntesten deutschen Soziologen. Mit seinem Buch „Risikogesellschaft“, das zufällig kurz nach dem Unfall von Tschernobyl herauskam, traf er den Nerv der Zeit und landete so einen Bestseller. Er beschreibt darin den Wandel von der Industrie zur Risikogesellschaft, in der sich die Menschen aufgrund des Fortschritts immer neuen Herausforderungen stellen und Entscheidungen treffen müssen, die das Leben riskanter machen.

Andere Denkschule, ähnliches Ergebnis

Kropp promoviert bei dem inzwischen verstorbenen Beck über die bis dato einseitige Betrachtung der „Natur“ in der Soziologie – entweder als Welt fernab von Technik, oder als Ressourcenquelle für die Menschheit. Ganz im Sinne ihres Doktorvaters sieht Kropp hingegen keine Trennung zwischen Natur auf der einen Seite sowie Gesellschaft und

Technik auf der anderen. Sie beeinflussen sich gegenseitig. Kropp zeigt auf, dass bei Naturkonflikten viele verschiedene Akteure eine Rolle spielen, die miteinander in Beziehung stehen. Angelehnt an die Akteur-Netzwerk-Theorie nach Bruno Latour, John Law und Michel Callon gehören für die Soziologin nicht nur Menschen zu den Akteuren, sondern auch Dinge, Ideen, Medien oder Regelwerke. „Wenn wir erklären wollen, wie Risiken entstehen, was sie bedeuten und wie sie zu bewerten sind, müssen wir berücksichtigen, dass diese Faktoren zutiefst vermischt sind“, sagt Kropp.

Dieser sozialwissenschaftlichen Denkschule will sie nun auch in Stuttgart stärkeres Gewicht verleihen. „Es ist eine etwas andere Herangehensweise als die meines Vorgängers Ortwin Renn, der den Akzent stärker auf Technikfolgenabschätzung legte. Das Ergebnis ist oftmals ähnlich“, erklärt Kropp. Angesichts der Chancen, die Stuttgart biete, werde sie sich zukünftig verstärkt Infrastrukturen widmen, sei es als Voraussetzung für selbstfahrende Autos, oder aber um die Bevölkerung mit nachhaltig produzierten Lebensmitteln zu versorgen. Renns „Steckenpferde“, Risikoforschung und Technikfolgenabschätzung, werden weiterhin zum Forschungsportfolio gehören.

Sechs Monate nachdem sie die Professur an der Universität angetreten hat und viele Treffen mit Kolleginnen und Kollegen unterschiedlicher Disziplinen später, ist Kropp vor allem von einem an der Universität Stuttgart beeindruckt: „Diese Begeisterungsfähigkeit für eine fachübergreifende Zusammenarbeit habe ich so noch nirgends gefunden“.

Helmine Braitmaier



SOFIA und die Sternenforscher

Das Universum – unendliche Weiten. Die Milchstraße – das Zuhause von ein paar 100 Milliarden Sternen. Und immer wieder entstehen neue. Vor allem an den dunklen Stellen im Band der Milchstraße, das sich hier eindrucksvoll über den neuseeländischen Himmel spannt.

Für das menschliche Auge, das nur optische Informationen wahrnehmen kann, bleiben diese Spektakel jedoch unsichtbar. Für „Wesen“, deren Augen im infraroten Bereich des Lichts empfindlich sind, werden sie sichtbar. In der Stratosphäre über Neuseeland ist die Luftfeuchtigkeit im Winter minimal und damit der Blick ins infrarote Universum so frei wie an kaum einem anderen Ort auf dem Erdball. Deshalb sind Sternengucker der Universität Stuttgart einmal im Jahr für mehrere Wochen „Down Under“, um zu erforschen, wie genau Sterne entstehen. Die Plattform ihrer Wahl ist dabei die fliegende Sternwarte SOFIA. Die folgenden Seiten dokumentieren ihre Entstehung, technische und wissenschaftliche Meilensteine – und die Begeisterung, mit der die Forscher an und mit SOFIA arbeiten.

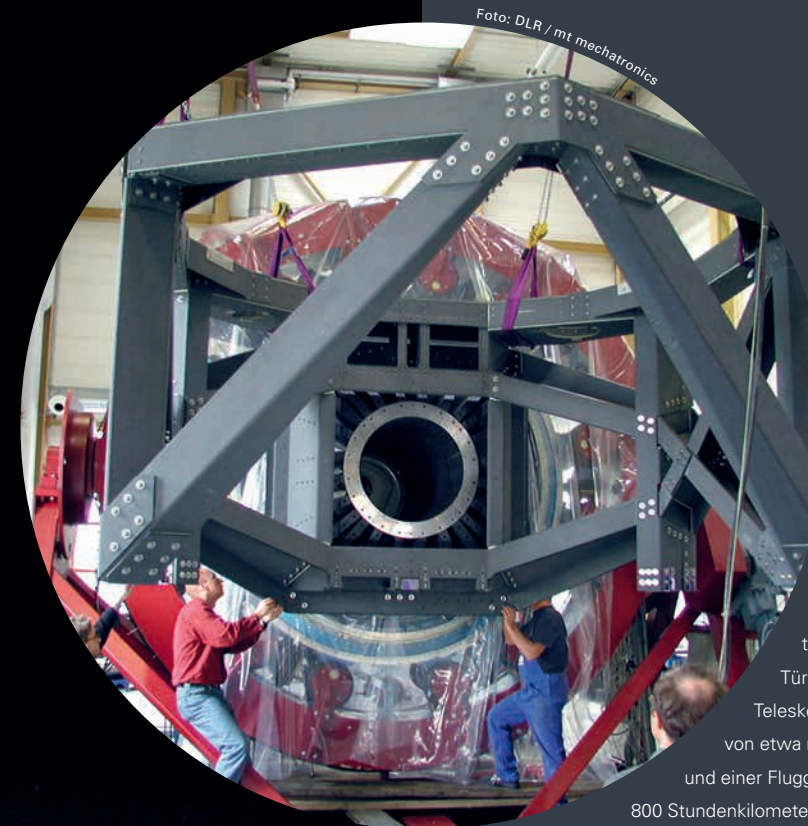
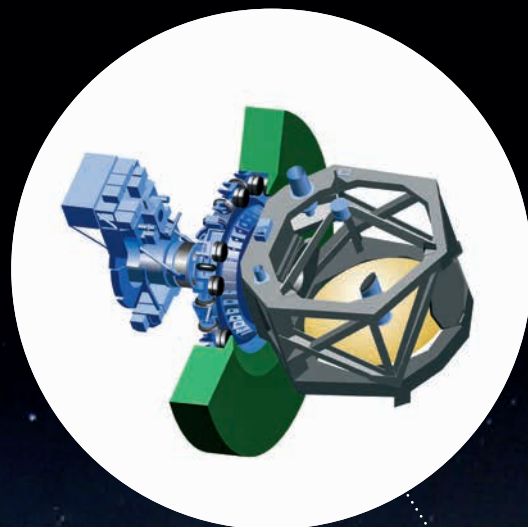
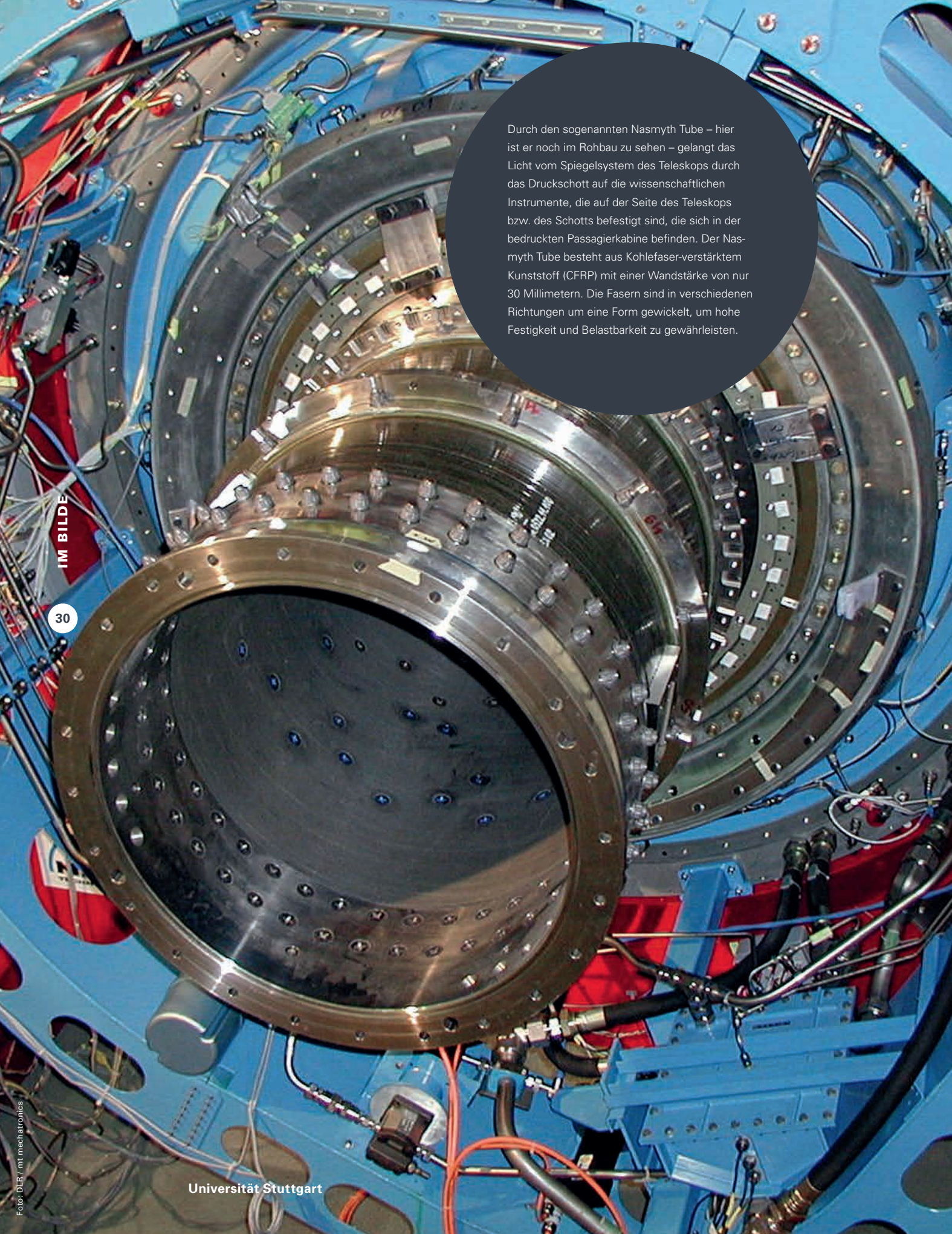


Foto: DLR / mt mechatronics

Der Rahmen des SOFIA-Teleskops besteht aus Kohlefaser-verstärktem Kunststoff. Er ist während der Beobachtungen bei geöffneter Tür zusammen mit den Teleskopspiegeln Temperaturen von etwa minus 50 Grad Celsius und einer Fluggeschwindigkeit von rund 800 Stundenkilometern mit entsprechenden Windlasten ausgesetzt.



SOFIA, das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie, ist eine umgebaute Boeing 747SP mit einem 2,7-Meter-Teleskop an Bord. Diese weltweit einzige fliegende Sternwarte ist ein Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der National Aeronautics and Space Administration (NASA). Das Deutsche SOFIA Institut (DSI) der Universität Stuttgart koordiniert auf deutscher Seite den wissenschaftlichen Betrieb. Und betreut zusammen mit den amerikanischen Kolleginnen und Kollegen vor allem das Teleskop, aber auch drei der derzeit acht wissenschaftlichen Instrumente von SOFIA. Vor allem der Wasserdampf der Erdatmosphäre lässt infrarotes Licht nicht passieren, Instrumente können diese Strahlung aus dem Universum vom Erdboden aus nur eingeschränkt empfangen. Daher gehen Astronomen an Bord von SOFIA mehrmals wöchentlich in die Luft – genau genommen in die untere Stratosphäre. Dort ist in der Höhe von etwa 13 Kilometern der Einfluss der Erdatmosphäre vernachlässigbar und damit der Weg frei für die Beobachtung kosmischer infraroter Strahlung. SOFIAs Heimatbasis ist das NASA Armstrong Flight Research Center in Palmdale, Kalifornien.



Durch den sogenannten Nasmyth Tube – hier ist er noch im Rohbau zu sehen – gelangt das Licht vom Spiegelsystem des Teleskops durch das Druckschott auf die wissenschaftlichen Instrumente, die auf der Seite des Teleskops bzw. des Schotts befestigt sind, die sich in der bedruckten Passagierkabine befinden. Der Nasmyth Tube besteht aus Kohlefaser-verstärktem Kunststoff (CFRP) mit einer Wandstärke von nur 30 Millimetern. Die Fasern sind in verschiedenen Richtungen um eine Form gewickelt, um hohe Festigkeit und Belastbarkeit zu gewährleisten.

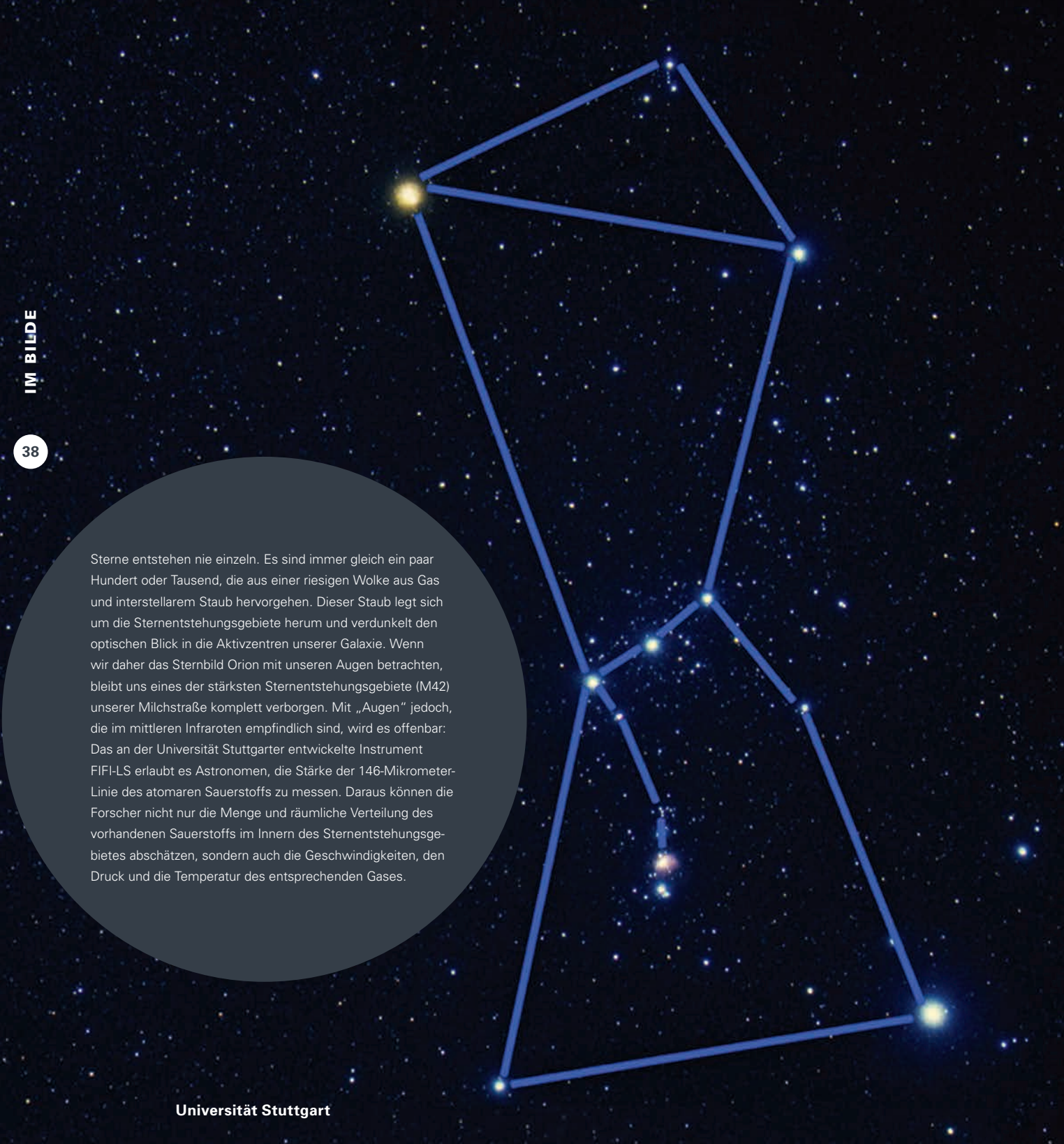


Damit die Teleskopaufhängung exakt in den Flugzeugrumpf eingebaut werden konnte, mussten zwei Kräne die etwa 9.300 Kilogramm schwere Last stabilisieren.

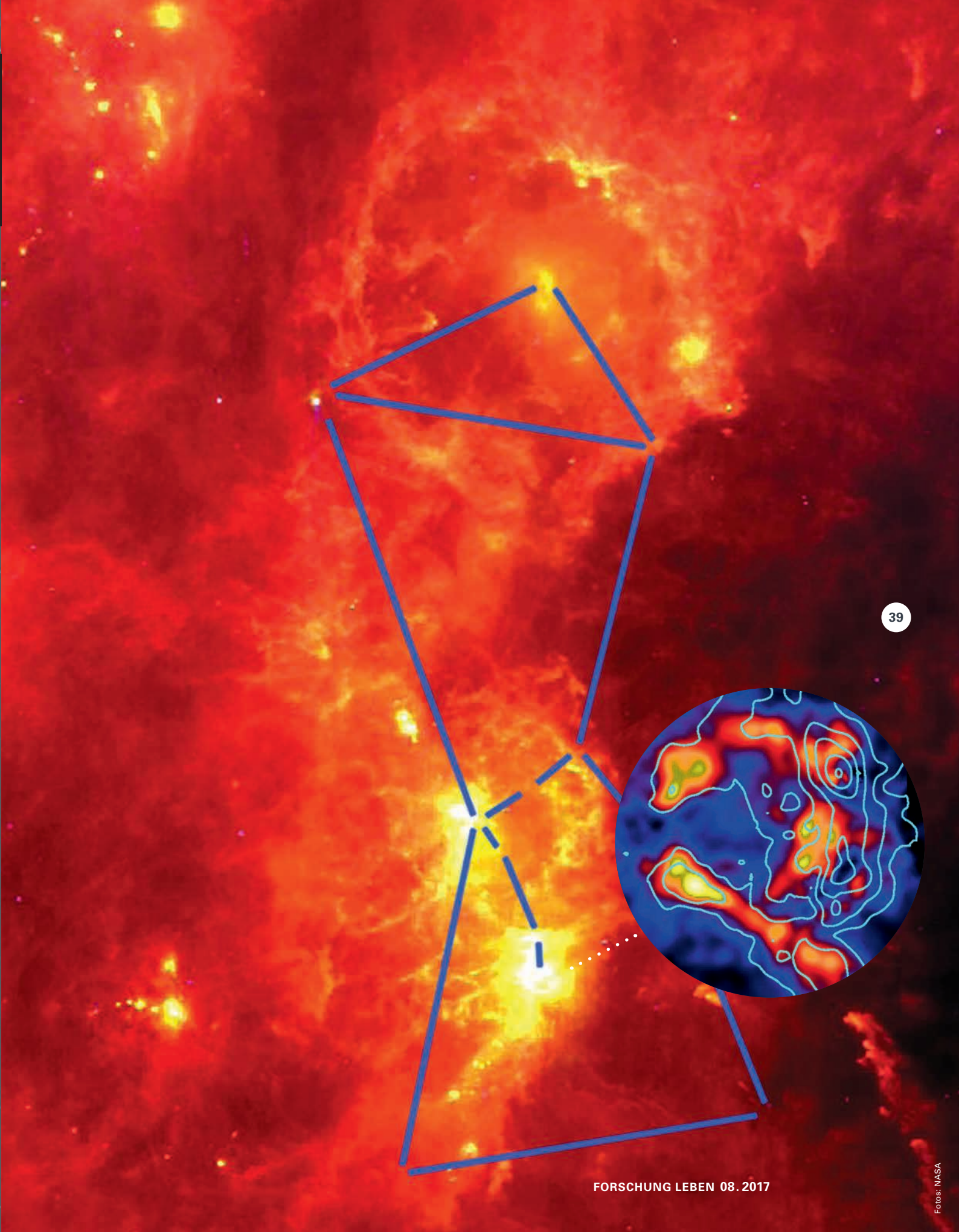
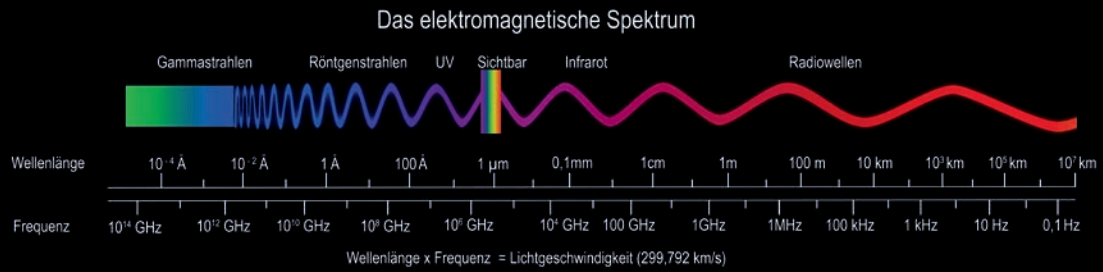
Das Herzstück des Teleskops ist sein etwa 750 Kilogramm schwerer Spiegel. Er besteht aus Zerodur, einer Glaskeramik, die ihre Form und Ausdehnung auch bei größten Temperaturunterschieden nicht ändert. Im Juni 2008 wurde der Spiegel zum ersten Mal mit Aluminium beschichtet, um ein optimales Reflexionsvermögen zu erhalten. Diese Aluminiumschicht ist nur 0,00015 Millimeter dick, ungefähr ein 1/300 der Dicke eines menschlichen Haares. Sie wiegt etwas mehr als 2 Gramm und damit nur ein Siebtel des Aluminiums, das in einer Getränkedose steckt. Hier ist zu sehen, wie zwei Mitglieder des Beschichtungsteams das Ergebnis am eigenen Spiegelbild überprüfen.

Im Frühjahr 2013 hat das SOFIA-Team das abbildende Ferninfrarot-Spektrometer FIFI-LS (Field-Imaging Far-Infrared Line Spectrometer) in Betrieb genommen. Unter Leitung von Prof. Alfred Krabbe haben Kollegen vom Institut für Raumfahrtssysteme das Instrument in Stuttgart auf den Einsatz in die Stratosphäre vorbereitet: Hier erwarten Alfred Krabbe, Felix Rebell, Leslie Looney (hintere Reihe, v. li.) sowie Sebastian Colditz und Bill Wohler (vorne, v. li.) an Bord von SOFIA mit Spannung die ersten Beobachtungsdaten. Mit FIFI-LS können Astronomen nicht nur die Entstehung von Sternen, sondern auch die Eigenschaften des interstellaren Mediums, also der Materie zwischen den Sternen, in unserer eigenen sowie in entfernten Galaxien erforschen.

Als 3D-Spektrometer nutzt FIFI-LS die kostbare Beobachtungszeit an Bord von SOFIA höchst effizient aus. Es nimmt nicht nur einfache Bilder auf, sondern detektiert zusätzlich – mithilfe eines höchst komplexen Spiegelsystems – für jeden Bildpunkt spektrale Informationen und ordnet so der aufgenommenen Strahlung eine Wellenlänge zu. Erst die Fülle der mit FIFI-LS gewonnenen Informationen ermöglicht es, spezielle physikalische Prozesse im Weltraum zu identifizieren und besser zu verstehen. Das Instrument arbeitet im ferninfraroten Wellenlängenbereich von zirka 45 bis 210 Mikrometer und kann unter anderem das interstellare Medium sowie Sternentstehungsgebiete in unserer Milchstraße oder benachbarten Galaxien untersuchen.

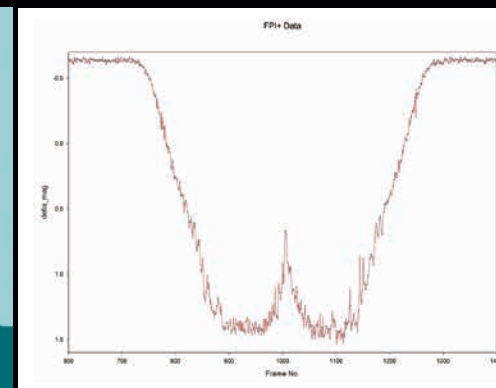
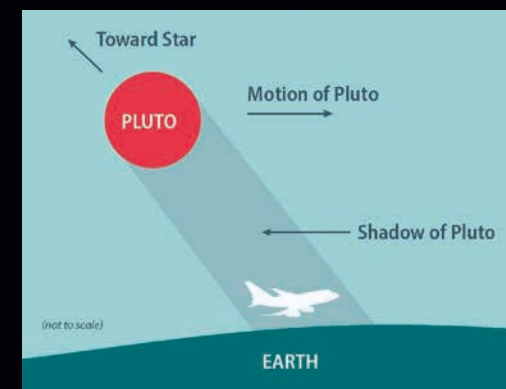


Sterne entstehen nie einzeln. Es sind immer gleich ein paar Hundert oder Tausend, die aus einer riesigen Wolke aus Gas und interstellarem Staub hervorgehen. Dieser Staub legt sich um die Sternentstehungsgebiete herum und verdunkelt den optischen Blick in die Aktivzentren unserer Galaxie. Wenn wir daher das Sternbild Orion mit unseren Augen betrachten, bleibt uns eines der stärksten Sternentstehungsgebiete (M42) unserer Milchstraße komplett verborgen. Mit „Augen“ jedoch, die im mittleren Infraroten empfindlich sind, wird es offenbar: Das an der Universität Stuttgarter entwickelte Instrument FIFI-LS erlaubt es Astronomen, die Stärke der 146-Mikrometer-Linie des atomaren Sauerstoffs zu messen. Daraus können die Forscher nicht nur die Menge und räumliche Verteilung des vorhandenen Sauerstoffs im Innern des Sternentstehungsgebietes abschätzen, sondern auch die Geschwindigkeiten, den Druck und die Temperatur des entsprechenden Gases.



Wenn Sterne wie unsere Sonne entstehen, dann immer in Zusammenhang mit einer Scheibe, aus der sich dann ein Planetensystem wie das unsere bilden kann. Ob das auch für Sterne funktioniert, die 20- oder 30-mal schwerer sind als die Sonne, war lange Zeit unklar. Ferninfrarotdaten von SOFIA – aufgenommen mit dem Stuttgarter Instrument FIFI-LS – haben in Kombination mit Beobachtungen anderer Observatorien eindeutig gezeigt, dass dies sehr wohl möglich ist. Massive Sterne können genau wie ihre masseärmeren Geschwister entstehen, indem sie zunächst Gas und Staub in einer Scheibe um sich herum ansammeln. Vom inneren Rand dieser Scheiben stürzt die Materie dann nach und nach auf den zentralen Stern. So gewinnt der junge Stern an Masse und die dabei freiwerdende Energie wird abgestrahlt. Dieser Massezuwachs findet jedoch nicht stetig, sondern in Form von Wachstumsschüben statt, da die Materie in den Sternscheiben nicht ebenmäßig verteilt ist, sondern in Klumpen. Wenn diese auf den Stern stürzen, verursachen sie dort – wie von FIFI-LS beobachtet – einen plötzlichen Helligkeitsanstieg.

Gelegentlich zieht ein Objekt aus unserem Sonnensystem vor einem weit entfernten Stern hinweg, bedeckt diesen für eine kurze Zeit und wirft einen Schatten auf die Erde. Leider fallen diese Schatten nur selten nachts dorthin, wo ein Observatorium ist. SOFIA kann ihren Standort flexibel anpassen und genau dort hinfliegen, wo dieser Schatten beobachtbar sein wird. Dann nämlich können Astronomen den bedeckten Stern als helle, weit entfernte Lampe „missbrauchen“, die die Atmosphäre des Schattenwerfers von hinten durchleuchtet. So geschehen bei der Plutobedeckung im Juni 2015 und beobachtet mit SOFIAs Focal Plane Imager Plus (SPI Plus), der vom DSI entwickelt wurde. Aus dem Abfall und Anstieg der Helligkeit am Anfang und Ende der Bedeckung können die Wissenschaftler wertvolle Schlüsse über die Struktur und Schichtung der Planetenatmosphäre ziehen. Stehen Stern, Planet und Beobachter bei der maximalen Bedeckung genau auf einer Linie, dann bündelt die durchleuchtete Atmosphäre das Sternenlicht wie eine fokussierende Linse und produziert den „Zentralen Flash“, der in den FPI+-Daten von 2015 deutlich zu sehen ist – ein Indiz dafür, dass die SOFIA-Piloten das Flugzeug tatsächlich zur rechten Zeit am rechten Ort platziert haben. Die feinen Strukturen in der Atmosphäre sind auch in dem Bild wiederzuerkennen, das die New-Horizons-Sonde zwei Wochen später – auf astronomischen Zeitskalen also gleichzeitig – aufgenommen hat.



SOFIA ist ein fliegendes Labor, und alle Komponenten müssen regelmäßig gewartet werden. Auch die wissenschaftlichen Instrumente, wie zum Beispiel FIFI-LS, werden fortwährend auf ihre Betriebsfähigkeit überprüft und von den Wissenschaftlern vor jedem neuen Einsatz an Bord der fliegenden Sternwarte auf die neue Mission vorbereitet. Damit die Detektoren von Infrarot-Instrumenten nicht nur die Wärmestrahlung ihrer Umgebung wahrnehmen, bedarf es der Kühlung: Hier füllt Ingenieur Christian Fischer vom DSI der Universität Stuttgart flüssiges Helium als Kühlmittel nach, damit das Ferninfrarotspektrometer für den anstehenden Systemcheck bereit ist.



Wie ein Auto muss auch ein Flugzeug regelmäßig zum TÜV, zum sogenannten D-Check. 2014 war es auch für SOFIA so weit. Sie ist eine verkürzte Version des Jumbo Jets und kann daher höher als ihr großer Bruder und somit bis in die Stratosphäre fliegen. Lufthansa Technik in Hamburg ist eine der wenigen Werften, die die Lizenz zur Wartung dieses Flugzeugtyps haben. SOFIA wurde auf Herz und Nieren geprüft. Hierbei wurden nicht nur alle Triebwerke demontiert, gewartet und in der Lärmschutzhalle im Einsatz getestet, sondern alle Strukturen auf mögliche Risse überprüft, die Cockpit-Elektronik durchgecheckt, Streben und Fenster bei Bedarf ausgetauscht oder erneuert. Nach fünf Monaten hat Lufthansa Technik der NASA, unter deren Flagge SOFIA offiziell fliegt, ein checkheftgeprüftes Flugzeug zurückgegeben, bereit für viele weitere Flüge in die Stratosphäre im Auftrag des Astronomie.





Nicht nur Studierende der Universität Stuttgart haben die Möglichkeit, an Bord von SOFIA mitzufliegen, um zum Beispiel Bachelor-, Master oder Doktorarbeiten anzufertigen. Im Rahmen eines einmaligen Bildungsprogramms können sich auch Lehrer aus dem gesamten Bundesgebiet für einen SOFIA-Mitflug bewerben. Die Idee dahinter ist es, die Lehrer mit Forschern und Technikern zu vernetzen und ihnen die Möglichkeit zu geben, Forschung leibhaftig mitzuerleben. Mit diesen authentischen Erfahrungen und einer breiten Themenpalette aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften sollen sie ihre Schülerinnen und Schüler nachhaltig für diese Themen begeistern. Diese besondere Lehrerfortbildung, die es so kein zweites Mal in der deutschen Forschungslandschaft gibt, ist letztlich eine wirkungsvolle Investition in die Zukunft.



Gegen den Strich gebürstet

Digitale Analyse alter Dramen liest zwischen den Zeilen

Wie stark hat Shakespeare das deutsche Drama beeinflusst? Wie verändern sich Geschlechterrollen in Theaterstücken im Lauf der Epochen? Fragen, die zu beantworten für Literaturwissenschaftler zu-nächst Fleißarbeit bedeutet: Sie müssen jeden Text einzeln lesen und interpretieren. Dabei stoßen sie häufig schlicht an zeitliche Grenzen. Hier springt die Computerlinguistik ein: Mit ihren digitalen Werkzeugen lässt sich eine Vielzahl von Texten rasch analysieren. Das ist auch das Ziel zweier junger Forscher der Universität Stuttgart im Projekt QuaDramA.

Um sowohl für die Computerlinguistik als auch für die Literaturwissenschaft neue Forschungsergebnisse zu erzielen, haben Dr. Nils Reiter vom Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung und Dr. Marcus Willand, Abteilung Neuere Deutsche Literatur II am Institut für Literaturwissenschaft, das Projekt

Anhand sogenannter Wortfeldanalysen können die Wissenschaftler die thematische Tendenz einer jeden Figurenrede ermitteln. Die Grafik zeigt „Das leidende Weib“ (1775) von Friedrich M. Klinger.

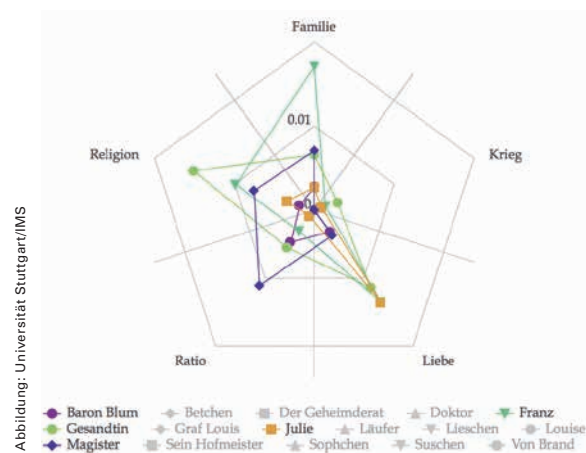


Abbildung: Universität Stuttgart/IMS

Quantitative Drama Analytics, kurz QuaDramA, ins Leben gerufen. Darin wollen die beiden Mitt-dreißiger dramatische Texte untersuchen, genauer 600 Theaterstücke aus dem Zeitraum von 1740 bis 1920. „Aus literaturwissenschaftlicher Perspektive ist das Projekt deshalb spannend, weil wir in der Dramengeschichte bisher immer nur ausschnitthaft in die Literatur schauen konnten“, sagt Willand. „600 Texte sind schon sehr viel Material, um beispielsweise historische Verlaufsformen zu betrachten.“ Das Team will mit den Mitteln beider Fächer vor allem erforschen, welche Figurtypen in den Stücken vorkommen, wie diese interagieren und wie sie sich entwickeln. Neu an dieser Herangehensweise ist, dass sich die Dramen nicht nur interpretieren, sondern auch ihre Textmerkmale zählen oder messen lassen.

Ausgangspunkt: Ein echtes Drama

„Diese Texte sind für die technische Seite interessant, weil sie sehr stark strukturiert sind“, sagt der Computerlinguist Reiter. „Wir haben Akte und Szenen, wir wissen, wer wann spricht.“ Dass jetzt auch literarische Texte in den Fokus maschineller Untersuchungen geraten, was bislang vor allem Zeitungsartikeln vorbehalten war, ist neu. Deshalb sollen für QuaDramA vorhandene Programme kombiniert und neue digitale Werkzeuge programmiert werden. Die Literaturwissenschaft habe sich lange Zeit auf wenige Werke der bedeutsamsten Autoren wie etwa Goethe, Schiller oder Gottsched fokussiert, so die Meinung des Literaturwissenschaftlers Willand. „Seit den 1970er-Jahren gibt es die Ambition, auch neben diesen Kanon zu schauen.“ Wie also lassen sich dramatische Texte verwenden, um etwa für Historiker aufzuzeigen, welche Informationen sich zwischen den Zeilen verbergen? Wie hat sich beispielsweise die Vaterrolle im 18. Jahrhundert verändert und wann ist aus dem Patriarchen ein liebevoller Vater geworden? „Indem wir die Figuren vieler



Mit Hilfe des Computers lassen sich die Figuren verschiedener Dramen in Typen ordnen, sodass Ähnlichkeiten und Veränderungen etwa der Vaterrolle über die Epochen hinweg sichtbar werden.

Foto: Badisches Staatstheater

Werke einer Epoche analysieren, können wir besser nachvollziehen, wie sich die Gesellschaft verändert hat“, erklärt Willand.

Hier bietet sich auch für Reiter ein neuer Ansatz. Interessant wird es für ihn beim Vergleich von Figuren, wobei sich unweigerlich die Frage stellt, wer wem gegengestellt werden soll. „Also haben wir uns überlegt, dass wir Figurentypen brauchen, die nach Kategorien wie zum Beispiel Geschlecht oder Alter, aber auch nach der Rolle für die Handlung, der sozialen Rolle oder Ähnlichem entstanden sind.“ Das Computer-Werkzeug soll die Figuren der Stücke in Typen ordnen, sodass Ähnlichkeiten und Veränderungen sichtbar werden, die bislang verborgen geblieben sind. „Bis 1750 spielen Tragödien immer im höfischen Umfeld, der Vater ist ein König oder Thronfolger“, erklärt Willand am Beispiel der Vaterrolle. „Dann wechselt es in ein bürgerliches Umfeld. Da ließe sich jetzt analysieren, mit wem der Vater vor allem spricht, mit den Söhnen oder den Töchtern? Und wie er spricht – mit einem eher zärtlichen oder eher in martialischem Vokabular?“

Shakespeare auf der Spur

Aktuell arbeiten Reiter und Willand an einem Artikel zur Geltung William Shakespeares für das

deutsche Drama. Sie gehen der Frage nach, wie der englische Dramatiker die Autoren der Sturm-und-Drang-Epoche in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts beeinflusste. „Die Sturm-und-Drang-Autoren sagen, Shakespeare lege seine Figuren so an, wie sie in der Natur vorkommen, also nicht künstlich“, sagt Willand. „Die Frage ist: Wie kann man das messen?“ Um dies zu beantworten, wollen die beiden Wissenschaftler statt reiner Strukturdaten auch linguistische Informationen heranziehen, etwa Redeanteile oder die Sprache der Figuren.

Wichtige Vorarbeit haben Reiter und Willand bereits geleistet: Sie entwickelten ein Vorgehen, das die Komplementierung von strukturellen Informationen mit einer computerlinguistisch unterstützten Analyse der Figurenreden erlaubt. Teil der modernen Arbeitsweise in den Digital Humanities ist, die Forschung mittels digitaler Vernetzung bereits im Prozess der Wissenschaftscommunity zugänglich zu machen. Die beiden Forscher nutzen dazu den Blog quadrama.github.io.

Dank einer Förderung durch die Volkswagen-Stiftung können die Forscher für QuaDramA zwei Doktoranden und einige wissenschaftliche Hilfskräfte einstellen. Sie sollen in den nächsten drei Jahren unter anderem ein Werkzeug programmie-

ren, das Koreferenzen auflöst. Darunter versteht man beispielsweise, dass sich verschiedene Sprachkonstruktionen auf dieselbe Figur beziehen: Diese kann mit ihrem Namen benannt werden, mit ihrer Funktion wie „der Vater“ oder mit dem Personalpronomen. Der Computer soll lernen, diese Varianten über den Wechsel von Figuren, Szenen und Regieanweisungen hinweg präzise zuzuordnen. Dazu markieren die Wissenschaftler in Texten entsprechende Stellen und füttern damit das Programm, das mit dem gelernten Wissen dann neue Texte durcharbeitet. Wenn die Forschergruppe die-



Foto: Max Kovalenko

Literaturwissenschaftler meets Computerlinguist: Marcus Willand (li.) und Nils Reiter arbeiten im Projekt QuaDrama an der raschen Analyse einer Vielzahl von Texten per digitaler Werkzeuge.

se Herausforderung gemeistert hat, ist sie ihrem Ziel ein Stück näher, Figurentypen in einer Vielzahl von Dramen automatisch zu identifizieren und zu analysieren. Mit den gewonnenen Informationen lassen sich dann wiederum die einzelnen Werke in ihrer Bedeutung für die Dramengeschichte einordnen – vielleicht sogar, ohne sie überhaupt je gelesen zu haben.

Daniel Völpe

› Extruder › Dosierungen › Komponenten › Pneumatische Förderung › Komplette Anlagen

» Wir fördern Ihre Zukunft! Coperion entwickelt und produziert weltweit Maschinen und Anlagen für die Kunststoff-, Chemie- und Nahrungsmittelindustrie. Unser Erfolg als Weltmarktführer bei Compoundiersystemen und Fördertechnikanlagen resultiert aus einmaliger System- und Prozesskompetenz, jahrzehntelanger Erfahrung, innovativen Technologien, einzigartigem Know-how und nicht zuletzt unseren hoch qualifizierten, engagierten Mitarbeitern. » www.coperion.com

Starten Sie mit uns durch: Karriere bei Coperion



coperion
confidence through partnership

Die Bedeutungsschwere der leisen Zwischentöne Computer lernen mithilfe von Algorithmen das Verstehen verstehen

Sie ist intelligent, schön und einfühlsam. Die Rede ist von Ava, ein weiblicher Androide aus dem Film „Ex Machina“. Auch wenn sie wie ein Mensch aussieht und handelt, ist sie keiner. Was diese humanoide Maschine von anderen Robotern unterscheidet, ist ihre Fähigkeit, eigenständig zu sprechen und zuzuhören – und das Gehörte zu verarbeiten. Während Hollywood schon seit Jahrzehnten auf der Leinwand künstliche Intelligenz leben lässt, sind wir in der Realität noch weit davon entfernt. Um Computersysteme entwickeln zu können, die Sprache fehlerfrei verarbeiten, fehlt noch ein entscheidender Schritt: Ihnen muss zuerst das Verstehen menschlicher Sprache beigebracht werden. Daran arbeiten Wissenschaftler der Universität Stuttgart.

Computerlinguist Sebastian Padó, Professor am Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung, erforscht das Prinzip des Sprachverstehens. Denn es sind vor allem die Zusammenhänge in der Sprache, mit denen Computer bislang noch nichts anfangen können. Sie sind nicht in der Lage, unausgesprochene oder implizite Anteile im Sprachgeschehen zu erkennen. Der Mensch hingegen kann durch Erfahrungswissen das Gehörte sofort in Beziehung zu dem setzen, was er weiß. „Ein Computer hat kein eigenes Wissen über Sprache“, so Padó. „Für ihn besteht ein Satz ausschließlich aus einer Reihe von Symbolen. Damit kann er zunächst nichts anfangen.“ Das möchten der Professor und sein Team in Zukunft ändern. Dazu beschäftigen sie sich vor allem mit der sogenannten distributionellen Bedeutungsbeschreibung: Sie versuchen, dem Computer Bedeutung beizubringen. „Das machen wir, indem wir ihm sagen: Schau dir an, wie die Wörter verwendet werden, die wir dir

sagen“, erläutert Padó. Das funktioniert im Grunde ein bisschen so, wie beim Menschen, wenn er eine neue Sprache praktisch erlernt.

Schrittweises Herantasten

Das soll der Computer künftig ebenfalls können. Hierfür tastet sich das Team Schritt für Schritt an die Bedeutung eines Begriffs heran und bezieht die vorausgehenden und nachfolgenden Satzteile mit ein. Dieser Prozess lässt sich so beschreiben: Hören Menschen ein unbekanntes Wort – „Gurmel“ beispielsweise –, können sie es zunächst nicht einordnen. Der Zusatz „steht im Stall“ legt jedoch nahe, dass es vermutlich ein Tier sein könnte. Folgt dann noch „und macht muh“, handelt es sich ziemlich sicher um eine Kuh. „So ähnlich gehen wir auch bei unserer Forschung vor“, erklärt Padó. „Dazu geben wir dem Computer eine sehr große Menge Text und lassen ihn auswerten, welche Wörter in welchem Zusammenhang verwendet werden.“

Anwendung findet dieses Prinzip beispielsweise bei Suchmaschinen, die auf diese Weise nicht nur nach dem Suchbegriff, sondern auch nach verwandten

Wörtern suchen können. Ganz ähnlich arbeiten auch automatische Übersetzungssysteme, die auf der Basis von sehr großen Textsammlungen dieselbe Art von Analyse durchführen. Dadurch können sie ermitteln, wie Worte über Sprachen hinweg ähnlich verwendet werden und Vorschläge für Übersetzungen liefern. Damit dem Computer das gelingt, müssen die Computerlinguisten konkrete Algorithmen entwickeln, die Texte entsprechend analysieren.

„Dieser Teil unserer Arbeit verbindet Sprachwissenschaft mit Informatik und maschinellem Lernen“, so Padó. Das heißt, dass die Algorithmen nicht nur informatisch oder mathematisch motiviert sind, sondern auch von linguistischen Theorien. Beispielsweise prüfen die Computerprogramme von Padó einzelne Substantive mithilfe der zugehörigen Eigenschaftswörter und Verben, um so ihre Bedeutung zu lernen. „Durch unsere Algorithmen sieht der Computer, dass der Gurmel mit Eigenschaftswörtern wie groß und fleckig in Verbindung steht. Und dass er muh macht und wiederkäut. Durch all diese Zusatzinformationen weiß er dann, dass es sich um eine Kuh handelt.“

Bewährtes um neue Kenntnisse erweitern

Aus dem Zusammenspiel von sprachwissenschaftlichen Theorien und Algorithmen kann die Linguistik ebenfalls neue Erkenntnisse gewinnen. Denn die Analysen helfen dabei, linguistische Theorien zu bestätigen – können sie zum Teil allerdings auch über den Haufen werfen. „Wir sehen immer wieder in unseren Textkorpora, dass die Wirklichkeit nicht so einfach ist, wie es in den Theorien angenommen wird“, sagt Padó. Während die Linguistik nämlich davon ausgeht, dass Menschen grammati-

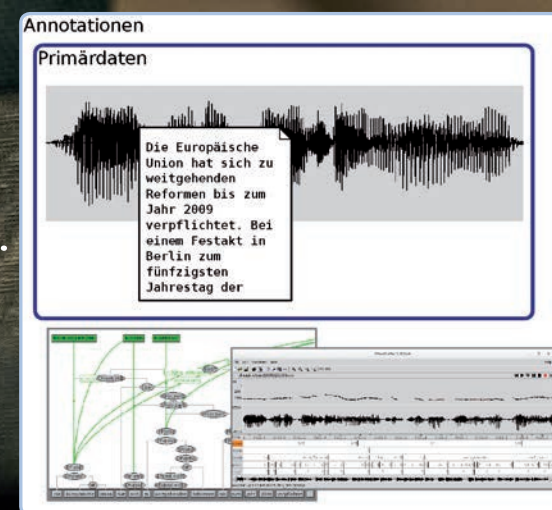


Abbildung: Universität Stuttgart/IMS

Metadaten	
ResourceTitle	Discourse Information Radio News Database for Linguistic analysis
Modalities	spoken written
Topic	radio news
Project	SFB 732 A1
TotalSize	5 hours 3221 sentences
Speaker	professional speakers
Demographics	5 male, 4 female

Driving progress in tunnel projects.



Seit über 20 Jahren ist VMT mit seinen Vermessungssystemen und -services führender Anbieter im Tunnelbau und in der Industrievermessung. Weit über 1.000 erfolgreiche Tunnelvortriebe weltweit dokumentieren die Leistungsfähigkeit und die Innovationsstärke des VMT-Produktportfolios in den Bereichen Navigationstechnologie, Produktions- und Logistikmanagement, Deformations- und Prozessmonitoring sowie Datenmanagement.

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir am Standort Bruchsal bei Karlsruhe engagierte und verantwortungsvolle Mitarbeiter/-innen für die folgenden Stellen:

- ▣ Vermessungsingenieure/Vermessungstechniker
- ▣ Softwareentwickler .NET
- ▣ Supportingenieur/Supporttechniker
- ▣ Ingenieure im Bereich Automation/Industrievermessung/mobile 3D-Messtechnik

Es erwarten Sie:

- ▣ Herausfordernde Aufgaben, kurze Entscheidungswege und viel Eigenverantwortung
- ▣ Entwicklungschancen in einem dynamisch wachsenden, internationalen Unternehmen
- ▣ Förderung der persönlichen Entwicklung
- ▣ Umgang mit modernstem Equipment

Weitere Details zu unseren Stellenangeboten finden Sie unter www.vmt-gmbh.de

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung an:

personal@vmt-gmbh.de oder an VMT GmbH | Personalabteilung | Stegwiesenstraße 24 | 76646 Bruchsal



kalisch korrekte und demnach wohlgeformte Sprache sprechen, sieht es in der Realität meist anders aus. „Zwischen einem Buch oder einer Zeitung und Kommentaren im Internet gibt es zum Teil gravierende Unterschiede“, so Padó. „In der Regel stehen da keine vollständigen, grammatikalischen Sätze.“ Abgesehen davon lassen sich die computerlinguistischen Methoden auch für linguistische Analysen einsetzen. „Wir untersuchen beispielsweise große Mengen an Text auf das Vorkommen bestimmter Wörter. Dadurch können wir das Aufkommen neuer Begriffe wie ‚Brexit‘ oder den Bedeutungswandel von Begriffen bestimmen“, erläutert Padó. Eine Sisyphusarbeit, die für einen Menschen kaum zu bewältigen ist. „Wir hingegen können ein Programm schreiben, das die Texte innerhalb weniger Minuten analysiert. Damit steht der Linguistik ein effektives Werkzeug zur Verfügung.“

Texte und Wissen zugänglich machen

Letztlich betreffen die Erkenntnisse aus Padós Forschung jeden Menschen. Zum Beispiel weil sie dabei helfen, Übersetzungssysteme oder sprachgesteuerte

Programme noch weiter zu verbessern. Für Professor Padó gehören diese Anwendungsgebiete allerdings bereits zum technologischen Status quo. Viel spannender ist für ihn folgender Aspekt: Der Großteil des Wissens, das unsere Gesellschaft generiert, wird nach wie vor in Textform festgehalten. „Der Schlüssel zum Wissen ist also die Sprache“, so Padó. „Unser Ziel ist es, Text für automatische Methoden erschließbar und damit die Daten für uns zugänglich zu machen. Das geht über eine bloße Google-Suche weit hinaus.“

Wohin ihn seine Forschung letztlich führen wird, ist den großen Fortschritten der vergangenen Jahre zum Trotz derzeit noch offen. „Wir sind noch Jahre davon entfernt, eine Maschine bauen zu können, die genauso gut sprechen, zuhören und sich Sprache beibringen kann wie ein Mensch.“ Bis dahin bleiben immer noch Hollywoods Filmvisionen von sprachverstehenden Computern und künstlicher Intelligenz.

Constanze Trojan



Goethe digital Geisteswissenschaftler im Maschinenraum

Was haben Goethes „Leiden des jungen Werther“ und Adornos „Ästhetische Theorie“ mit der „Parzival“-Sage und Reden im Bundestag gemeinsam? Sie stehen im Fokus eines Projekts von Philosophen, Politologen, Sprach- und Literaturwissenschaftlern an der Universität Stuttgart, das digitale Forschungsmethoden voranbringen soll. In Kooperation mit Computerlinguisten und Experten für Visualisierung wollen die Forscherinnen und Forscher künftig Maschinen programmieren, die schnell und effizient große Textmengen analysieren können. Ein neuartiger Ansatz der Zusammenarbeit, der den Geisteswissenschaften neue Erkenntnisse verspricht.

Wer in einer Geistes- oder Sozialwissenschaft forschen möchte, der muss in der Regel viel lesen. Doch so sehr man sich auch vertieft: Angesichts der Vielzahl an Quellen und Literatur bleibt die Recherche ausschnittshaft. Computer können hingegen große Textmengen innerhalb kürzester Zeit analysieren – allerdings bleiben sie dabei immer nur auf der Strukturebene. An der Universität Stuttgart hilft ein Forschungsverbund den digitalen Kollegen jetzt auf die Sprünge: Das Centrum für reflektierte Textanalyse (CRETA) will Textsammlungen maschinell auch inhaltlich analysieren. Der Leiter von CRETA, Prof. Jonas Kuhn vom Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung (IMS), ist überzeugt, dass auf diese Weise eine neue Form der Textanalyse entstehen wird. Digital Humanities, die „digitalen Geisteswissenschaften“, gelten als interdisziplinäres Fach der Geistes- und Kulturwissenschaften, das sich für seine Forschungszwecke der systematischen Anwendung computergestützter Verfahren bedient. Die Grundlagen für CRETA legten zwei Projekte, in deren Mittelpunkt der Einsatz digitaler Ressourcen zur Textanalyse stand: In „ePoetics“ entwickelt ein

Team um die Literaturwissenschaftlerin Prof. Sandra Richter gemeinsam mit Kuhn und seinen Mitarbeitern Werkzeuge, um Schriften zur Dichtkunst aus drei Jahrhunderten maschinell zu untersuchen. Die Politologin Prof. Cathleen Kantner und ihre Gruppe entwarfen gemeinsam mit Computerlinguisten im Projekt „e-Identity“ ein Programm, das knapp eine Million Zeitungsartikel auf die Frage hin durchforstete, inwiefern in einer Krise kollektive Identitäten wie Religion oder Nationalität zur Begründung eines bestimmten Handelns angeführt werden. Beide Teams beteiligen sich an CRETA, das das Bundesministerium für Bildung und Forschung für zunächst drei Jahre fördert. Hinzu kommen weitere Vertreterinnen und Vertreter aus den Literaturwissenschaften und der Linguistik, das Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme sowie das IMS. „Das Ministerium wollte an den Universitäten Zentren für Digital Humanities einrichten, die die Digitalisierung wissenschaftlicher Methoden vorantreiben“, erklärt Kuhn. Besonders froh ist er darüber, dass die Universität eine Professur für Digital Humanities am Institut für Literaturwissenschaft einrichtete. Auch deshalb erhielt CRETA Anfang 2016 den Zuschlag. Der Inhaber der neuen Professur, Gabriel Viehhauser, ist Teil des CRETA-Teams.

Computer erleichtern Textanalyse

„Bei uns schließen sich unter anderem Expertinnen und Experten aus den Literatur- und Politikwissenschaften sowie der Wissenschaftstheorie darüber kurz, welche Fragestellungen bei der Analyse von Texten in allen Disziplinen wiederkehren – dafür entwickeln wir dann geeignete Methoden. Dieser übergreifende Ansatz ist ein Novum“, sagt Kuhn. Da CRETA der Grundlagenforschung dient, entstehen vor allem Prototypen für Maschinenlernmodelle, die immer weiter optimiert werden. Wie Forschung auf dieser Basis aussehen könnte, beschreibt Kuhn anhand eines Beispiels. So ließen sich etwa Werkzeuge entwickeln,



In der CRETA-Werkstatt arbeiten zahlreiche Disziplinen an digitalen Forschungsmethoden.

Foto: Ulf Regenschmitt

die in historischen Texten Datums- oder Ortsangaben identifizieren oder Eigenheiten in der Schreibweise. „Wenn ich drei solcher Tools zusammenstecke, um sehr große Korpora zu analysieren, kann ich mein Augenmerk auf überraschende Konstellationen richten, die ich durch traditionelles Lesen nie gefunden hätte.“ Um Tools zu entwickeln, die für mehrere Fachrichtungen nützlich sind, begeben sich die Beteiligten zweimal jährlich für drei Tage in die CRETA-Werkstatt. Als erstes Projekt kristallisierte sich dabei die Erkennung von Entitäten heraus, also das Dasein von Dingen, Personen oder Orten in Schriftstücken. Zwar können Computerprogramme schon heute Entitäten auffinden, doch die Geisteswissenschaften benötigen auch andere Analysekatoren. Damit der Computer die im Team erstellten Kriterien erkennen kann, werden die Beispieltex te mithilfe sogenannter Annotationen (Bemerkungen) markiert. Parallel dazu entwickeln die Computerlinguisten Werkzeuge, mit denen sich interessante sprachliche Merkmale in Texten auf unterschiedlichen Ebenen erkennen und auswerten lassen, die Informatiker suchen nach Möglichkeiten, die Ergebnisse zu visualisieren. Alle zwei Wochen erörtern die Forscher gemeinsam, wo sie stehen, welche Schwierigkeiten sich ergeben haben oder ergeben könnten, und verfeinern so ihre Werkzeuge.

Aufgabenteilung übers weltweite Netz

Neuland betritt die Gruppe, indem sie „shared tasks“ herausgibt: Dazu stellte sie ein Textkorpus mit Ausschnitten aus Werther, Parzival, der Ästhetischen Theorie sowie Reden unter anderem von Angela Merkel ins Internet. Weltweit sind Forschende aufgerufen, Analysewerkzeuge dafür zu entwickeln und unterschiedliche Ansätze auszuprobieren. „Es ist schon interessant, dass man in einer so heterogenen Sammlung von Texten dieselben Entitäten annotieren kann“, resümiert Dr. Nils Reiter, der das CRETA-Projekt inhaltlich koordiniert. „Diese Shared-task-Idee wollen wir weiterentwickeln, weil wir glauben, dass das für Digital Humanities ein interessantes Konzept ist.“ Mittelfristig werden die Erkenntnisse aus CRETA auch in die wirtschaftliche Nutzung einfließen. Unternehmen etwa wollen automatisiert erfassen, wie Käufer Produkte auf Internetseiten bewerten. „Perspektivisch gibt es einen echten Bedarf, diejenigen, die sich sehr sorgfältig Gedanken darüber machen, was Texte bewirken, in die technologische Entwicklung einzubeziehen“, ist Kuhn sicher. Genau das will CRETA etablieren – weit über Goethe, Adorno und Merkel hinaus.

Daniel Völpel



Foto: Universität Stuttgart / PI 4

Neuartige Membran-Laser

Die Institute für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen sowie für Strahlwerkzeuge der Universität Stuttgart haben nach einem Weg gesucht, um Halbleiter-Scheibenlaser in ihrer Ausgangsleistung weiter zu verbessern. Und zwar ohne dabei deren Vorteile – unter anderem ein hervorragendes Strahlprofil und die Möglichkeit, die Wellenlänge bei laufendem Betrieb zu verstellen – aufs Spiel zu setzen. Die Lösung bestand in einer Art Abspeckkur: Die Experten entfernten das Trägersubstrat, auf dem die Halbleiterschichten abgeschieden werden, komplett und ersetzen den bei Halbleiter-Scheibenlasern stets integrierten Halbleiterspiegel durch einen weiteren externen Spiegel. Übrig blieb die nur wenige 100 Nanometer dicke, laseraktive Zone. Diese wurde zwischen zwei Diamantscheibchen gepresst, da sich der transparente Edelstein hervorragend als integrierter Kühlkörper eignet. Das Diamant-Halbleiter-Sandwich ist beispielsweise in medizintechnischen Lasern für die fotodynamische Therapie einsetzbar, weil sich die Wellenlänge passend zum verwendeten lichtaktiven Medikament einstellen lässt.

Sensoren mit Adlerblick

Adler können aus drei Kilometer Höhe eine Maus erkennen und, dank eines sehr breiten Sichtfelds, gleichzeitig Feinde wahrnehmen, die sich von der Seite nähern. Ähnliches wäre beim autonomen Fahren nützlich: Eine Kamera, die vorne präzise Hindernisse erkennt und den Abstand zum Vordermann einschätzt, aber auch zur Seite hin das Umfeld im Blick behält. Bisher brauchte es dazu eine ganze Reihe von Kameras und Sensoren rund um das Fahrzeug oder eine rotierende Kamera auf dem Dach.

Wissenschaftler des Instituts für Technische Optik und des 4. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart haben jetzt einen Sensor entwickelt, der das Adlerauge auf kleiner Fläche nachbildet. Die Forscher druckten direkt auf einen hochauflösenden CMOS-Chip einen ganzen Satz von Mikro-Objektivlinsen, die verschiedene Brennweiten und Sichtfelder haben. Alle vier Bilder, die die

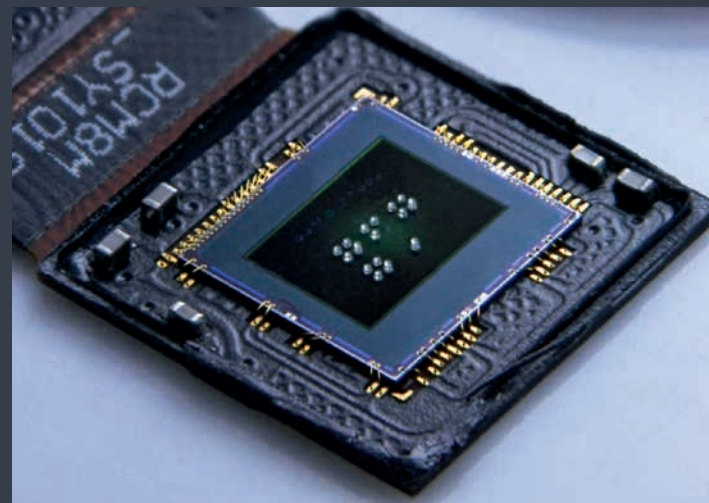


Foto: Universität Stuttgart / IHFG

Linsen auf dem Chip erzeugen, werden gleichzeitig elektronisch ausgelesen und verarbeitet. Dabei setzt ein kleines Computerprogramm das Bild so zusammen, dass sich im Zentrum das hochauflösende Bild des Teleobjektivs darstellen lässt, ganz außen das Bild des Weitwinkelobjektivs. Das gesamte Sensorsystem ist nur wenige Quadratmillimeter groß und könnte nicht nur in der Automobilindustrie, sondern auch in neuartigen Minidrohnen oder bei Industrie-4.0-Anwendungen zum Einsatz kommen.



Foto: Björn Oldsen

denen sich die Bodenbewegung in der vertikalen und in zwei horizontalen Richtungen erfassen lässt. Das Team im Schwarzwald überprüft, wie die aus Frankreich, Deutschland, Großbritannien, der Schweiz und den USA stammenden Komponenten zusammenspielen.

Marsmission via Schwarzwald

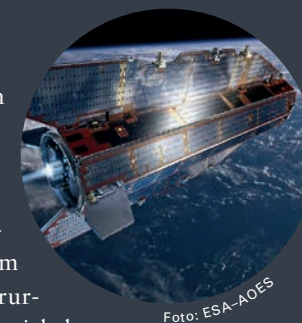
Beben gibt es nicht nur auf der Erde oder auf dem Mond, man vermutet sie auch auf unserem Nachbarplaneten, dem Mars. Die geophysikalischen Eigenschaften des „roten Planeten“ zu untersuchen, ist eines der Ziele der für 2018 geplanten Marsmission InSight der NASA und europäischer Partner. Eines der Hauptinstrumente an Bord wird ein hochempfindlicher Seismograf (SEIS) sein. Das „Qualifyingmodel“ – eine Art Schwestergerät dieses Seismometers – wird am Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsobservatorium des KIT und der Universität in Schiltach im Schwarzwald getestet. Im Instrumentenpaket SEIS werden sich sechs Seismometer befinden, mit

Mehr Strom aus Wind

Ein neues Verfahren verbessert die Regelung von Windenergieanlagen mithilfe eines optischen Geräts. Es basiert auf der sogenannten Lidar-Technologie, einem laseroptischen Verfahren, das Windgeschwindigkeiten auf Distanz ermittelt. Das Gerät wertet diese Informationen aus und macht es möglich, die Rotorgeschwindigkeit und andere Regelungsparameter der Betriebsführung auf den Wind einzustellen, bevor das Windfeld die Anlage erreicht. Dadurch können Windkraftanlagen materialsparender gebaut und die Energieausbeute erhöht werden. David Schlipf vom Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie (SWE) hat für diese Entwicklung den „Excellent Young Wind Doctors Award 2016“ gewonnen. Der Preis wird jährlich für die beste europäische Doktorarbeit im Bereich der Windenergie vergeben.

Erdnahe Satelliten

Wie auf der Erde der Luftwiderstand ein Fahrzeug, so bremst im Weltall die Restatmosphäre Satelliten aus. Im Rahmen des EU-Projekts DISCOVERER will ein Team am Institut für Raumfahrtssysteme der Universität Stuttgart das Problem lösen, indem es die Atmosphäre, die den Widerstand verursacht, in Energie umwandelt. Hierfür entwickeln die Projektpartner ein Antriebssystem, das sich von der heutigen Technologie fundamental unterscheidet. Es wird keine auf dem Satelliten gelagerten Treibstoffe verwenden, sondern stattdessen elektrische Antriebe, die luftatmend sind. Dies ist ein Schritt zu kleineren, preiswerten Satelliten, die in geringerer Höhe um die Erde kreisen, bessere Bilder liefern und weniger Weltraummüll erzeugen.



Harte Schale, zartes Händchen

Das Graduiertenkolleg Soft Tissue Robotics bringt Robotern den Umgang mit weichen Materialien bei

Promovierende an der Universität Stuttgart erforschen, wie Roboter sanfter zufassen und sich damit in völlig neuen Arbeitsbereichen einsetzen lassen. Inspirieren lassen sie sich unter anderem von Farmern in Neuseeland.

Roboter können ziemlich viel. Sie können Autos lackieren, Platten schneiden, Scheiben einkleben und Befehle verstehen. Aber es gibt auch eine Menge, was Roboter noch nicht können: Sie haben Probleme beim Obstpflücken, können keine Schweinehälften filetieren und sind nicht in der Lage, menschliches Gewebe zu identifizieren. Kurz zusammengefasst: Wenn harte Roboter auf weiche Materie treffen, gibt es Probleme. Oliver Röhrle und Alexander Verl gehören zu den Wissenschaftlern, die das ändern wollen. Oliver Röhrle, Professor für Kontinuumsbiomechanik und Mechanobiologie an der Universität Stuttgart, leitet das internationale Graduiertenkolleg (IGK) „Soft Tissue Robotics“. Mit Hilfe von Computersimulationen erforscht das Team, wie Roboter den Umgang mit weichen Materialien lernen können. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert das Projekt, Partner ist die University of Auckland in Neuseeland, mit der die Universität Stuttgart seit vielen Jahren kooperiert. Die Forschung stand auch im Mittelpunkt des New Zealand-Germany Science Circle Stuttgart, mit dem im März 2017 das 40-jährige Bestehen des deutsch-neuseeländischen Wissenschaftsabkommens gefeiert wurde. Auf deutscher und neuseeländischer Seite forschen jeweils mindestens zehn Personen. Die Arbeit des Kollegs ist bereichsübergreifend. „Wir nutzen Synergien in den Forschungsschwerpunkten beider Universitäten“, sagt Röhrle. Dazu gehören neben Simulationstechnik auch Biomedizin, Robotertechnik und cyberphysische Systeme. Er betont, dass es um Grundlagenforschung geht, deren Ergebnisse später einmal in konkrete Anwendungen einfließen sollen.

Arbeit im Schlachthof vereinfachen

Eine Idee zu diesem Projekt stammt aus dem von landwirtschaftlicher Industrie geprägten Neuseeland. Dort leben zwar nur vier Millionen Einwohner, pro Jahr werden aber rund 30 Millionen Schafe geschlachtet. Die Fleischverarbeitung soll zunehmend automatisiert werden – ein Plan, der derzeit an seine Grenzen stößt. Denn verschiedene Fleischstücke wie Herzen, Leber oder Nieren zu sortieren, ist für einen Roboter nicht einfach. Ähnlich sieht es bei der Ernte von Äpfeln oder Kiwis aus. Bislang scheiterten alle Versuche, diese Aufgabe zu automatisieren. Ein Roboter könnte die Früchte beim Pflücken quetschen, was sie für den Export wertlos macht.

Roboter am Operationstisch

Dieselben Probleme treten in der Medizintechnik auf. Zwar können Roboter wesentlich präziser operieren als Chirurgen. Millionenfach führen sie bereits Eingriffe an Menschen aus. Allerdings gibt es Risiken: Durch unkontrollierte Bewegungen könnten Operationsroboter Patienten verletzen. Die künftigen Anwendungsmöglichkeiten in der Medizin sind enorm. Seit Langem lässt sich per Computertomografie zum Beispiel Tumorgewebe von gesundem Gewebe unterscheiden. Nach diesen Vorgaben wird in der Klinik operiert. „Ein Roboter kann das künftig vielleicht besser machen als ein Arzt“, so der Co-Sprecher des Graduiertenkollegs und Leiter des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen an der Universität Stuttgart, Prof. Alexander Verl. Doch dafür müsste die Wissenschaft vorher viel mehr über die Schnittstelle zwischen Roboter und Weichgewebe wissen.

Aus praktischen Problemen wie diesen leiten die Forschenden Fragen für ihre Arbeit ab. „Wir überlegen beispielsweise, wie wir den Roboter ansteuern und wie wir Materialien simulieren können, mit denen er arbeitet“, erklärt Röhrle. Dieses Grundla-

genwissen erleichtert die künftige Forschungsarbeit. „Erst in einem weiteren Schritt werden wir die Frage beantworten, wie sich die Ergebnisse in die reale Welt übertragen lassen.“

Das Graduiertenkolleg beschäftigt sich außerdem mit dem Thema Sensorik. Hier sind aber weder Kameras noch Tastfühler gemeint, sondern wesentlich komplexere Zusammenhänge. Hinweise kommen zum Beispiel aus der Entwicklung moderner Exo-Skelette, also Robotern, die in Form eines Korsetts am Körper getragen werden. Sie wirken als Kraftverstärker: Minimale Impulse der Muskulatur steuern die Antriebe, welche die Bewegungen des Trägers verstärken.

Verständnis von Weichgewebe

Die elektrischen Signale der Muskelfasern lassen sich als sogenanntes Elektromyogramm aufzeichnen. In einem Projekt geht es außerdem darum, eine Sensorik zu entwickeln, die diese Impulse auswerten kann, sodass diese sich anschließend in Steuersignale umwandeln lassen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse helfen dabei, das grundlegende Verständnis von aktivem Weichgewebe zu erweitern. Die Ergebnisse könnten überall dort Nutzen bringen, wo es um die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine geht. Exo-Skelette könnten den Fertigungsprozess eines Industrieunternehmens revolutionieren. Ein Beispiel: Muss ein Fabrikarbeiter schwere Teile heben, schafft er das manchmal aus eigener Kraft, manchmal braucht er Hilfe. Messbare Impulse seiner Muskulatur könnten eine elektrische Hebehilfe aktivieren, die je nach Bedarf mit anpackt. Ältere oder durch Krankheit geschwächte Arbeitnehmer könnten auf diese Weise weiter am Erwerbsleben teilnehmen.

Die erste Förderphase des Projekts ist auf viereinhalb Jahre angelegt. Der darauf folgende Abschnitt von gleicher Länge könnte sich um einen weiteren Aspekt kümmern: das Material, aus dem der Ro-

boter gebaut ist. Denn der muss keineswegs immer aus Metall sein. Denkbar wären auch Maschinen, die aus verformbarem Kunststoff gemacht sind. In diesem Material könnten winzige Kanäle verlaufen, die mit Gasen oder Flüssigkeiten gefüllt sind. Ähnlich wie eine menschliche Hand mit ihren Blut- und Nervenbahnen könnten solche Roboter dann sanft zufassen und womöglich auch eine Art Tastsinn entwickeln.

Heimo Fischer

„Wenn möglich, bitte wenden“ An der Universität Stuttgart entsteht ein „Navi“ für die Energiewende

Die Energiewende genießt in Deutschland breite politische und gesellschaftliche Zustimmung. Je tiefer es aber in die praktische Umsetzung geht, umso größer sind vor allem die gesellschaftlichen Herausforderungen dieses Prozesses. Das Projekt „Energiewende-Navigationssystem zur Erfassung, Analyse und Simulation der systemischen Vernetzungen“ (ENavi) an der Universität Stuttgart soll bei der Entwicklung von Lösungen und Transformationspfaden für die Energiewende soziale Aspekte in einem früheren Stadium verankern.

„Das Ziel von ENavi ist, ein robustes und vor allem aus allen Perspektiven betrachtetes Wissen für das bessere Verständnis der komplexen Vorgänge der Energiewende schaffen“, sagt Prof. Kai Hufendiek, Direktor des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, Vorstand des Forschungsverbunds Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy (STRise) und Mitglied des Exekutivausschusses des Projekts. ENavi sieht die Energiewende als einen gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozess und verknüpft wissenschaftliche Analysen mit politisch-gesellschaftlichen Anforderungen: Technische Machbarkeit, ökologische Verträglichkeit, wirtschaftliche Tragfähigkeit und soziale Gerechtigkeit stehen gleichberechtigt nebeneinander.

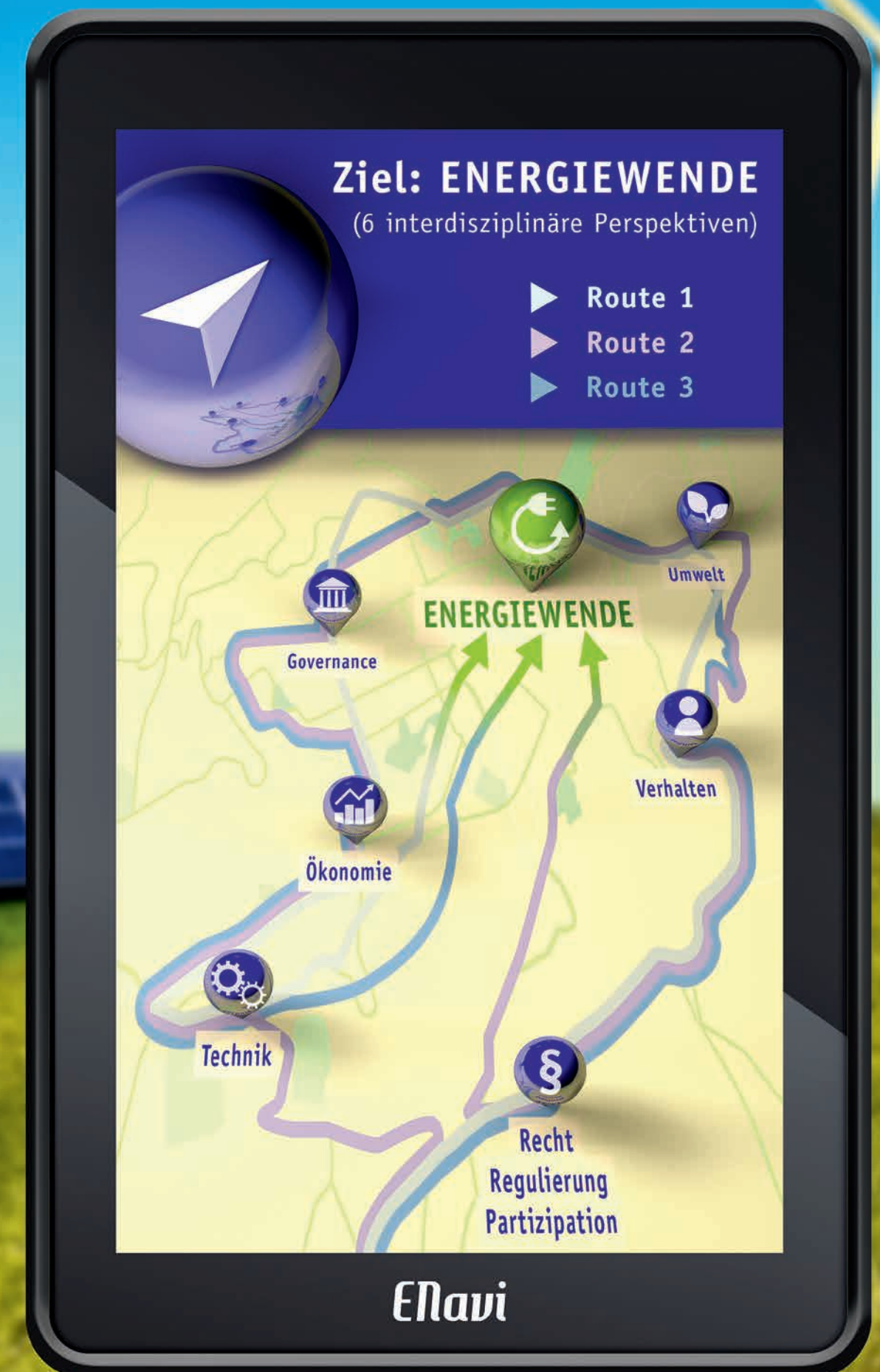
Bisherige Ansätze des Systemwandels zur Energiewende hätten vor allem auf technische und ökonomische Gesichtspunkte abgezielt, erläutert Martin Steurer, Forschungsgruppenleiter für Energiemärkte am IER und STRise-Geschäftsführer. Im Anschluss blieb es dann den Sozialwissenschaftlern überlassen, für die als optimal erkannte Lösung Akzeptanz zu schaffen. Das führte und führt immer wieder

zu Reibungspunkten, Umsetzungsschwierigkeiten – und am Ende oft zu hohen Kosten. Der Ansatz von ENavi ist ein integrierter: Gesellschaftliche Aspekte werden von Beginn an in die Forschung einbezogen. Für das übergeordnete Ziel der Energiewende, das gegenwärtige Energiesystem in ein weitgehend CO₂-freies und auf erneuerbaren Energien basierendes System zu überführen, gebe es keinen Masterplan, so Steurer. Vielmehr müssen neben technischen und wirtschaftlichen regelmäßig auch gesellschaftliche Trends berücksichtigt werden. Vor allem auf der persönlichen Ebene der Menschen wird es da rasch kompliziert. „Der Wandel soll kostengünstig sein, den Komfort erhöhen und in die eigenen Lebensumstände passen – oft folgen erst dann ökologische Erwägungen“, zählt Steurer auf. Eines der „dicken Bretter“, die es seiner Ansicht nach im Projekt ENavi zu bohren gilt: Wenn Deutschland wirksamen Klimaschutz möchte, bedeutet das neben der Entwicklung industriepolitisch interessanter neuer Technologien auch praktische Konsequenzen und Verhaltensänderungen. Und die sind wiederum ungleich schwerer positiv zu vermitteln.

Größtes Kooperationsprojekt bundesweit

Seinen Projektstart erlebte ENavi im Dezember 2016 mit mehr als 200 Beteiligten in Berlin. Dabei sei ein „ganz neuer Geist“ zu spüren gewesen, sagen Hufendiek und Steurer übereinstimmend. Denn hier werden nicht einfach nur einige Sozialwissenschaftler zusätzlich gehört. Das Projekt gilt vielmehr als das größte sozialwissenschaftliche Kooperationsprojekt, das es in Deutschland je gab, weil neben Vertreterinnen und Vertretern der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften auch Ingenieure und viele andere Fachrichtungen einbezogen sind.

ENavi ist eines von vier „Kopernikus-Projekten“, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als bislang größte Forschungsinitiative zur Energiewende ins Leben gerufen hat. Bundesweit



arbeiten 84 Projektpartner zusammen. Eine gewichtige Rolle spielt dabei der Forschungsverbund STRise als Partner mit der größten Beteiligung am Projekt. Unter dem Dach von STRise forschen neben der Universität Stuttgart mit dem IER und dem Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung der Universität Stuttgart (ZIRIUS), das Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). Für den ersten, drei Jahre umfassenden ENavi-Projektzeitraum verfügen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Stuttgart über ein Budget von 60 Personenjahren. Das IER erforscht dabei beispiels-

Prof. Kai Hufendiek bei der Vorstellung der Kopernikus-Projekte auf der Hannover Messe.



Foto: Bw-l/Dieter Meyer

weise neue ökonomische Herangehensweisen für den Energiemarkt der Zukunft, die auch Akzeptanz und Präferenzaspekte der einzelnen Akteure berücksichtigen. Das ZIRIUS spielt im Gegenzug eine tragende Rolle im sozialwissenschaftlichen Arbeitspaket des Projekts. Großen Wert legen alle Beteiligten auf den intensiven Austausch zwischen allen Projektpartnern.

Vom Reißbrett in die Praxiserprobung

Die Optimierung der Energiewende auf allen Säulen der Nachhaltigkeit soll dabei nicht nur am Reißbrett erfolgen, wie Prof. Hufendiek betont. Für ENavi wurden daher drei Modellregionen ausgewählt, in denen wissenschaftliche Erkenntnisse praxisnah erprobt werden sollen. Die Modellregion Baden-Württemberg steht dabei für den Fokus auf Innovation und Industriekultur, die Metropolregion Ruhrgebiet soll die Umsetzung unter sehr hoher Ballungsdichte verdeutlichen. In der Region Berlin-Brandenburg steht unter anderem die Interaktion ländlicher Gebiete mit der Metropole Berlin im Mittelpunkt der Untersuchung. Vor allem in der zweiten Phase der voraussichtlich zehnjährigen Projektlaufzeit werden praktische Ansätze in „Real-Laboren“ erprobt. Vision und Ziel der Forscherinnen und Forscher ist das Energiewende-Navigationsinstrument ENavi, das nicht zufällig an die weit verbreiteten Routenplaner im Auto erinnert. Martin Steurer erklärt: „Wir planen ein datenbasiertes Modell, das den sehr dynamischen Prozessen der Energiewende Rechnung trägt. Sobald sich bestimmte Rahmen ändern, müssen auch die Pfade der Energiewende angepasst werden können.“ Im ENavi werden Energieszenarien, Simulationen und Verhaltensweisen hinterlegt; das System zeigt auf, wie gewünschte Ziele zu erreichen sind. „Die Idee dahinter: Es gibt nicht nur einen festgelegten Weg, sondern es werden alternative Optionen aufgezeigt, die alle zum definierten Ziel führen“, so Steurer. Die Energiewende ist ein gewaltiger Transformationsprozess; die größte Herausforderung ist, immer wieder auf kurz- und langfristige Entwicklungen zu reagieren. Das notwendige Nachjustieren soll mit dem Navigationsinstrument künftig einfacher werden und zu größerer Akzeptanz führen.

Jens Eber

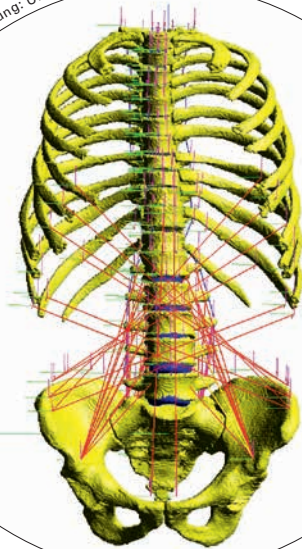
Unterstützung für den Arzt Simulationen der Wirbelsäule sollen bei der Skoliose-Behandlung helfen

Der Physiker Syn Schmitt und sein Team arbeiten an Simulationen für ein möglichst realistisches Modell der Wirbelsäule, um den Wert bestimmter chirurgischer Eingriffe besser einschätzen zu können. Bislang fließen die Erkenntnisse aus den Simulationen, die im Exzellenzcluster Simulation Technology (SimTech) an der Universität Stuttgart entstanden sind, noch nicht in die medizinische Therapie ein. Der Juniorprofessor vom Institut für Sport und Bewegungswissenschaft arbeitet jedoch mit Kollegen in Australien zusammen, um die Behandlung von Wirbelsäulenverkrümmungen zu verbessern.

Die Wirbelsäule ist ein komplexes Gebilde. Sie ist das zentrale tragende Teil des Menschen, dämpft Stöße, verteilt das Körpergewicht auf die Beine und ermöglicht den aufrechten Gang. Ihre vielfältigen Funktionen ergeben sich erst durch das Zusammenspiel aus Knochen, Bandscheiben, Sehnen, Bändern und Muskeln. Und obwohl die Wirbelsäule per se vor allem ein Forschungsgebiet für Mediziner und Biologen ist, beschäftigen sich doch auch Ingenieure und Forscher aus verwandten Disziplinen schon seit einiger Zeit mit ihren mechanischen Eigenschaften. Bereits vor mehr als 50 Jahren erschien eine Publikation, die die Wirbelsäule als zwei schwingungsfähige Massen beschrieb, zwischen denen eine Feder für Dämpfung sorgt. „Wenn man so will, war das ein – wenn auch sehr einfaches – Modell der Wirbelsäule“, sagt Syn Schmitt. Seit dieser Zeit haben Wissenschaftler in aller Welt weitere Wirbelsäulenmodelle entworfen. „Es gibt inzwischen sehr viele, die sich in dem, was sie leisten, jedoch stark unterscheiden“, so Schmitt. Sehr weit verbreitet sind Wirbelsäulenmodelle, die auf dieselbe Methodik zurückgreifen, wie sie Ingenieure anwenden, wenn sie die Stabilität und Dynamik von Brücken simulieren. Bei dieser sogenannten

Mit dem vom Exzellenzcluster SimTech entwickelten Wirbelsäulenmodell wird die Lastverteilung zwischen Strukturen berechenbar.

Abbildung: Universität Stuttgart/SimTech



Finite-Elemente-Methode (FEM) werden die tragenden Teile einer Brücke durch ein Gitter aus einfachen geometrischen Körpern dargestellt. Um die Belastungen der Brücke durch Wind und Verkehr zu simulieren, lassen sich die Wechselwirkungen der Gitterelemente untereinander berechnen. Vereinfacht gesagt: Wird in der Simulation keine der lokalen Kräfte über Gebühr groß, hat die Brücke den Belastungstest bestanden. „Die FEM lässt sich auch auf die Wirbelsäule über-

tragen“, so Schmitt. „Das funktioniert inzwischen recht gut, allerdings stoßen diese Modelle an ihre Grenze, wenn dynamische Vorgänge simuliert werden sollen.“ Die auftretenden Lastwechsel bei einer Abfolge von Stehen, Hinsetzen und Aufstehen zum Beispiel lässt sich mit FEM-basierten Wirbelsäulenmodellen nicht einfach berechnen.

Die Bandscheibe als Simulant

Deshalb hat man am Stuttgarter Exzellenzcluster SimTech einen anderen Weg beschritten. Mit dem dort im Laufe der vergangenen acht Jahre entstandenen Wirbelsäulenmodell wird die Lastverteilung zwischen Strukturen berechenbar. „Wir können zum Beispiel die Kraft ausrechnen, die auf ein Band oder eine Bandscheibe während einer Bewegung wirkt“, verdeutlicht der Juniorprofessor. Wirbelgeometrie, Bandscheiben, Bänder, Sehnen und Muskeln und deren Materialeigenschaften fließen in die Simulationen ein. „Ohne die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei SimTech wäre das nicht erreichbar gewesen“, sagt Schmitt. Das ursprüngliche Modell der Bandscheibe hatte das Team um Prof. Wolfgang Ehlers entwickelt, Inhaber des Lehrstuhls für Kontinuumsmechanik und geschäftsführender Direktor bei SimTech. Dass das Modell schneller zu berechnen ist – wenige Sekunden pro Bandscheibe und Lastfall statt wie bisher fünf Stunden –, dafür sorgte die Gruppe des Mathematikers Prof. Bernard Haasdonk. Ein Team um Prof. Wolfgang Nowak, Inhaber des Lehrstuhls für Stochastische Simulation und Sicherheitsforschung für Hydrosysteme, half dabei, die Zuverlässigkeit der Simulationen besser abschätzen zu können. Schmitts Arbeitsgruppe schließlich legte den Fokus auf den kompletten Bewegungsapparat, sozusagen auf das mechanische Zusammenspiel der einzelnen Komponenten.

Bei Menschen mit einer Wirbelsäulenverkrümmung (Skoliose) weicht die Wirbelsäule seitlich von der Längsachse ab, wie in diesem Röntgenbild zu sehen ist.

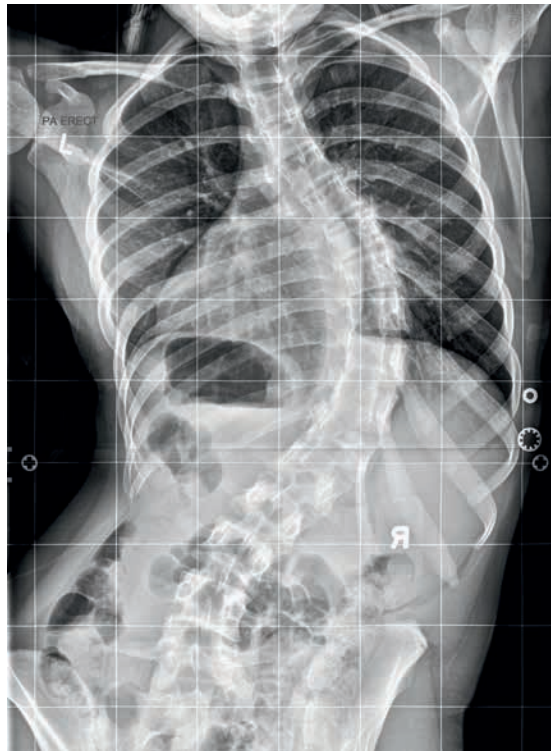


Foto: QUT/CHRC Brisbane/Australien

**Elektronik bewegt die Welt.
Wir bewegen die Elektronik.
Bewegen Sie mit!**

Weltweit durchstarten ...

Ein globales Business mit großer Zukunft: die Distribution elektronischer Bauelemente. **Technische Beratung, Vertrieb, Produktmarketing** und **Logistik** sind die 4 Säulen unseres Handelsunternehmens. Neue, zukunftsweisende Technologien und Produkte sind die zentralen Komponenten unseres Erfolgs.

... mit Perspektive

Wir investieren mit qualifizierten Mitarbeitern in unsere Zukunft. In einem inhabergeführten Unternehmen mit flachen Hierarchien und mit Perspektiven für steile Karrieren bietet **RUTRONIK** vielfältige Karrierechancen: Praxissemester, Abschlussarbeiten oder Traineeprogramme für Absolventen, außerdem vielseitige Projekte im Ausland. Als Spezialist oder als Führungskraft – wer mit guten Ideen und Teamgeist in die erfolgreiche Zukunft starten will, ist bei uns richtig.

Bewegen Sie mit, kommen Sie zu **RUTRONIK!**



Laden Sie sich das PDF
unserer Broschüre herunter!

www.rutronik.com/karriere

RUTRONIK Elektronische Bauelemente GmbH | Industriestraße 2 | 75228 Ispringen | Tel. +49 7231 801-1273 | career@rutronik.com

Computer unterstützt Behandlung

Das Team um Schmitt arbeitet aktuell mit Wissenschaftlern in Australien zusammen, um die Aussagekraft des Stuttgarter Wirbelsäulenmodells bei einer konkreten medizinischen Fragestellung zu erforschen. Es geht um die Skoliose, auch als Wirbelsäulenverkrümmung bekannt. Bei den Betroffenen weicht die Wirbelsäule seitlich von der Längsachse ab, zudem sind die Wirbelkörper mehr oder minder verdreht. Erste Symptome treten im Kindesalter auf, oft mit einer Verschlimmerung in der Pubertät. Massive Beeinträchtigungen erleben die Betroffenen jedoch meist erst als Erwachsene. Bei schweren Fällen wird die Wirbelsäule der Betroffenen daher in der Wachstumsphase durch Implantate versteift, um sie in der gewünschten Form zu halten. In Brisbane arbeiten seit einiger Zeit Simulationsexperten der Queensland University of Technology und Mediziner des Centre for Children's Healthcare eng zusammen, um mithilfe von Simulationen zu klären, wie viele Wirbelkörper in konkreten Behandlungsfällen tatsächlich versteift werden müssen. „Unsere austra-

lischen Kollegen nutzen hierfür ein patientenspezifisches FE-Modell“, sagt Schmitt. „Wir verwenden ihre Ergebnisse, um Lastfälle zu berechnen, die die Muskeln berücksichtigen.“ Diese Resultate fließen dann als Randbedingungen wieder in das australische FE-Modell zurück, um dort realistische Bewegungen zu simulieren. „Wir hoffen, dass wir dadurch für die Patienten eine höhere Vorhersagegüte erreichen, als sie bislang möglich ist“, sagt Schmitt. Denn es kommt immer wieder vor, dass Implantate unter Belastungen brechen, weil höhere Kräfte auftreten als beim Gehen oder Stehen.

Einen ersten realen Fall hat die deutsch-australische Kooperation inzwischen simuliert. Nun soll daraus ein mehrjähriges Projekt entstehen. Gerne würden die Stuttgarter Forscher auch in Deutschland oder Europa einen medizinischen Forschungspartner finden. Allerdings, so hat Schmitt festgestellt, „ist unsere Herangehensweise für Mediziner noch recht ungewohnt.“

Michael Vogel

Gehirntumore besser verstehen

Der Exzellenz-Cluster SimTech setzt in der Krebsforschung auf interdisziplinäre Zusammenarbeit

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Stuttgart modellieren am Rechner in einem interdisziplinären Ansatz die Ausbreitung und Wirkung von Therapeutika zur Behandlung von Gehirntumoren. Zudem versuchen sie, ein Grundproblem der Zellbiologie mithilfe des Computers zu lösen: Wie lassen sich patientenspezifische Ansätze für die Therapie von Gehirntumoren entwickeln?

Tumore im Gehirn sind eine relativ seltene Krebsart. Die Deutsche Krebsgesellschaft beziffert ihren Anteil an allen Krebserkrankungen auf ungefähr zwei Prozent. Allerdings sind Gehirntumore auch besonders problematisch. Selbst wenn sie gutartig sind, können sie die betroffenen Patienten stark beeinträchtigen: Sie üben mechanischen Druck auf das Gewebe im Gehirn aus, das aufgrund der starren Schädeldecke nicht ausweichen kann. „Liegt ein Tumor in gut zugänglichen Bereichen des Gehirns, wird so viel wie möglich davon zunächst operativ entfernt. Dabei versucht der Chirurg, das umliegende Hirngewebe nicht zu schädigen“, erklärt Prof. Markus Morrison, Leiter des Instituts für Zellbiologie und Immunologie der Universität Stuttgart. „Anschließend folgt eine Strahlen- und Chemotherapie. Eine Heilung ist bei bösartigen Tumoren jedoch bis heute kaum möglich.“

Die Blut-Hirn-Schranke, eigentlich ein Schutz des Körpers, macht eine Zufuhr vieler neuartiger und womöglich wirksamerer Therapeutika über das Blut unmöglich. In klinischen Studien versuchen Chirurgen daher, solche Therapeutika direkt im Gehirn zu platzieren. „Auch diese Verfahren können Hirnareale schädigen, die nicht erkrankt sind“, erläutert Morrison. „Die richtige Balance zu finden zwischen maximaler Wirkung und möglichst geringfügiger Schädigung, ist die größte Schwierigkeit.“ Im Exzellenz-Cluster Simulation Technology

(SimTech) entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Stuttgart interdisziplinär Methoden, um Gehirntumore und das sie umgebende Gewebe besser zu verstehen. Grundlagenforschung, bei der ganz sicher noch ein weiter Weg zu gehen ist, bevor sich hieraus neue klinische Behandlungsoptionen ergeben werden. Aber eben doch ein Weg, an dessen Ende diese schwere Erkrankung besser zu verstehen sein wird.

Gewebe beeinflusst Ausbreitung des Therapeutikums

Ein Team am Institut für Mechanik (Bauwesen) der Universität Stuttgart unter Leitung von Prof. Wolfgang Ehlers, der zugleich Koordinator des SimTech-Clusters ist, versucht den Ausbreitungsprozess und die Verteilung der Therapeutika im Gehirn zu modellieren. Für Dr. Arndt Wagner, Wissenschaftler am Institut für Mechanik, ist die mechanische Betrachtungsweise dieser medizinisch-biologischen Problemstellung ein gelungenes Beispiel für Interdisziplinarität: „Die Ausbreitung hängt maßgeblich von den individuellen Eigenschaften des Gewebes ab. Diese versuchen wir im Modell nachzuvollziehen.“

Liegt ein Tumor tief im Gehirn, so ist er inoperabel und auch mit einem Katheter nicht zu erreichen, mit dem sich das Therapeutikum direkt platzieren ließe. Also muss der Chirurg aus größerem Abstand so ins Gehirn einspritzen, dass das Therapeutikum auf dem schnellsten Weg zum Tumor gelangt. Funktionierte das nicht, so richtet es unnötig Schaden im gesunden Gewebe an. „Der direkte Weg von der Katheterspitze zum Tumor muss jedoch nicht unbedingt auch der geometrisch kürzeste sein“, erklärt Wagner. „Vielmehr bestimmt die Orientierung der Nervenfasern die bevorzugte Ausbreitungsrichtung.“ Es kann also durchaus besser sein, das Therapeutikum auf einem Umweg zum Tumor zu schicken. „Solche Fragestellungen untersuchen wir mithilfe von Simulationen“, so Wagner.



In der Grundlagenforschung versuchen Forscher zu verstehen, wie Zellen Informationen verarbeiten und was Therapeutika mit Signalwegen bei Krebszellen machen.

In dem zugrunde liegenden mathematischen Modell sind die Zellen ein Festkörper, der eine Art poröses Skelett bildet. Darin eingebettet sind zwei „Hohlraumssysteme“: die Blutgefäße und der interstitielle Raum, in dem sich das Therapeutikum ausbreitet. Beide sind zwar durch die Blut-Hirn-Schranke voneinander getrennt, stehen aber miteinander über mechanische Impulse in Wechselwirkung. Das am Institut für Mechanik entwickelte Gehirnmodell liefert eine homogenisierte makroskopische Beschreibung.

Der kürzeste Weg ist nicht immer der beste

Was auf Zellebene geschieht, sozusagen an jeder Zellmembran, lässt sich für das gesamte Gehirn in der Dimension von Zentimetern nicht berechnen, da die mikroskopische Zusammensetzung des Gewebes extrem komplex ist. „Mit diesem Ansatz können wir jedoch simulieren, wie sich ein Gehirn unter mechanischen und chemischen Einflüssen verhält“, sagt Wagner. Hierfür müssen die Forscherinnen und Forscher die allgemeingültigen Erhaltungsgleichungen wie beispielsweise die Massen- und Impulsbilanz des Gesamtsystems und der einzelnen Bestandteile betrachten. „Zudem berücksichtigen

wir das charakteristische ‚Material‘-Verhalten, das für die Ausbreitung des Therapeutikums im System ebenfalls grundlegend ist.“ Die erforderlichen patientenspezifischen Daten lassen sich aus speziellen Messungen mit Kernspintomografen gewinnen. Letztlich ermöglicht die Simulation dann eine Aussage, wie sich das Therapeutikum im Gehirn räumlich und zeitlich verteilt. „In Fallstudien am Computer konnten wir zeigen, dass es abhängig vom Ort des Tumors und von den lokalen Gewebeeigenschaften eine optimale Stelle für die Verabreichung des Therapeutikums gibt“, erläutert Wagner. „Allerdings“, betont er, „ist noch unklar, ob sich die Aussagefähigkeit der Simulation in klinischen Anwendungen bestätigt.“

Ein Kollege am Institut für Mechanik untersucht derzeit, wie sich das Modell erweitern lässt, um die Wirkung des Therapeutikums auf den Tumor zu beschreiben. Dafür müssen sich Erkenntnisse von der Zellebene auf das Gesamtsystem, das Gehirn, übertragen lassen. Das ist kein einfaches Unterfangen, wie sich bei einem anderen SimTech-Projekt zeigt, in dem es ebenfalls um die patientenspezifische Behandlung von Gehirntumoren geht. „Viele Therapeutika wirken immer nur bei einem Teil der Patienten, selbst wenn alle dieselbe Krebsdiagnose haben“,

Am Computer lässt sich zeigen, dass es abhängig vom Ort des Tumors und von den lokalen Gewebeeigenschaften eine optimale Stelle für die Verabreichung eines Therapeutikums gibt.

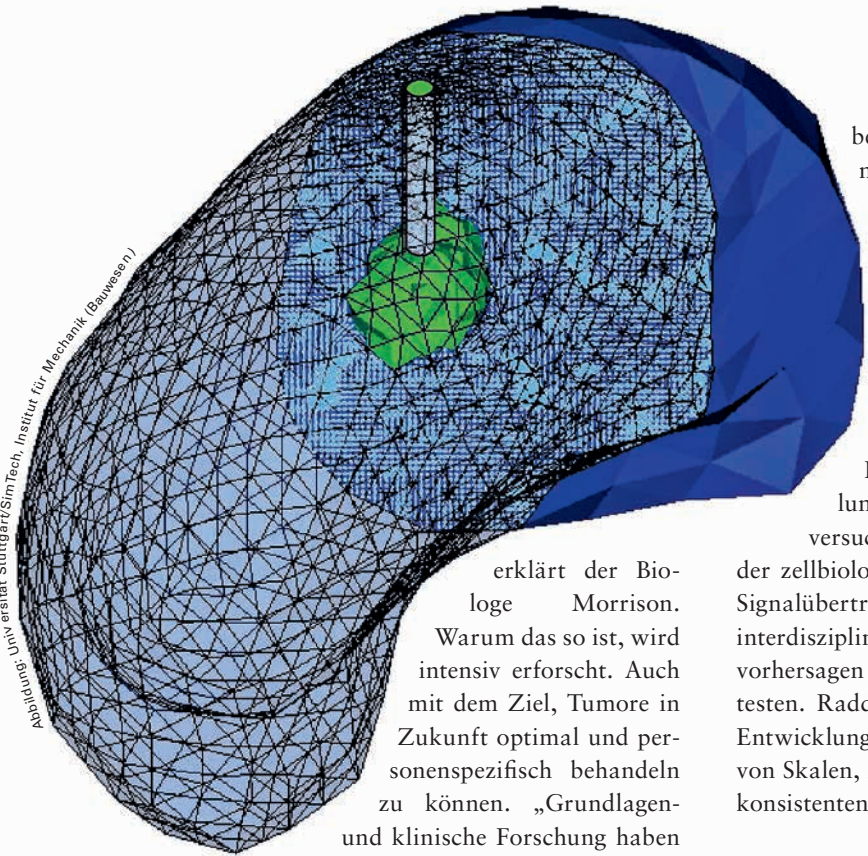


Abbildung: Universität Stuttgart/SimTech, Institut für Mechanik (Bauwesen)

erklärt der Biologe Morrison. Warum das so ist, wird intensiv erforscht. Auch mit dem Ziel, Tumore in Zukunft optimal und personenspezifisch behandeln zu können. „Grundlagen- und klinische Forschung haben sich lange Zeit darauf konzentriert, Gene und Proteine zu identifizieren, um so vorherzusagen, ob Patienten auf bestimmte Therapieformen ansprechen“, erklärt Morrison. „Es zeichnet sich jedoch ab, dass solche Daten erst dann wertvoll sind, wenn wir die komplexen Interaktionen dieser Gene und Proteine in mathematischen Modellen berücksichtigen.“ Denn viele zelluläre Funktionen ergeben sich tatsächlich erst auf der Ebene der biologischen ‚Schaltkreise‘. Gleiches gilt für die Zellinteraktion und Kommunikation im Gewebe.

Signalübertragung der Zellen nachvollziehen

In der Grundlagenforschung versuchen Biologinnen und Biologen zu verstehen, wie Zellen Informationen verarbeiten, untereinander Signalnetzwerke aufbauen und was Therapeutika mit Signalwegen

bei Krebszellen machen. Diese Erkenntnisse lassen sich auf größere Systeme, etwa das betroffene Organ, übertragen. Forscher wie Morrison testen das unter Laborbedingungen – quasi in der Petrischale. Aufgrund ihrer Ergebnisse können sie für isolierte Hirntumorzellen die Wirksamkeit verschiedener Therapeutika vorher-sagen. Nicole Radde, Professorin am Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik der Universität Stuttgart, versucht mit ihrem Team auf der Grundlage der zellbiologischen Erkenntnisse die Modelle der Signalübertragung weiterzuentwickeln. In einem interdisziplinären Team lassen sich die Modellvorhersagen anschließend wiederum im Labor testen. Radde konzentriert sich vor allem auf die Entwicklung geeigneter Methoden zur Kopplung von Skalen, zur Modellidentifikation und zu einem konsistenten Umgang mit Unsicherheiten.

Verfahren für den Übergang von der Zell- zur Organebene

Bei der Skalenkopplung geht es darum, mit welchen Verfahren die Anbindung von mikroskopischen an makroskopische Modelle gelingt, also der Übergang von der Zell- zur Organebene. Unter Modellidentifikation und dem Umgang mit Unsicherheiten fasst Radde die Problemstellung zusammen, dass sie und ihr Team Modelle oft mit wenigen und sehr variablen Daten kalibrieren müssen. „Wenn wir mit diesen Daten unsere Modelle trainieren, sind die Vorhersagen mit Unsicherheiten behaftet“, erklärt sie. „Daher lautet die Frage, wie zuverlässig Vorhersagen auf der Basis dieser Modelle sind.“ Die Schlussfolgerung lautet aber keineswegs, dass unsichere Daten zwangsläufig noch ungewissere Vorhersagen liefern: „Es kann zum Beispiel passieren, dass nur manche Parameter im Modell tatsächlich

unsicherer werden, während andere ziemlich unabhängig von den Eingangsunsicherheiten bleiben“, verdeutlicht Radde. Sogenannte statistische Lernverfahren sind hierfür ein mächtiges Werkzeug. Allerdings sind sie immer noch sehr rechenintensiv und müssen daher optimiert werden.

An diesem Punkt kommen wiederum Methoden der Modellreduktion ins Spiel: Komplexe Modelle neigen dazu, sich gar nicht mehr in adäquater Zeit berechnen zu lassen. Darum sind die Mathematiker und Informatiker von SimTech gefordert, etwa die Teams um Prof. Guido Schneider vom Institut für Analysis, Dynamik und Modellierung oder um Prof. Daniel Weiskopf vom Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme. Sie überlegen sich

zum Beispiel neue Herangehensweisen, wie sich die Zahl der betrachteten Parameter im Modell elegant, also ohne Verlust an Aussagekraft, verringern lässt. „Nur durch diesen interdisziplinären Ansatz“, so Radde, „können wir in den Forschungsprojekten überhaupt Fortschritte erzielen.“

Michael Vogel

Wenn Sie bei Reinräumen nicht nur an die Kehrwoche denken ...
... schauen Sie doch mal auf unserer Karriereseite vorbei!



M+W GROUP

Wir suchen ständig motivierte und qualifizierte

Ingenieure und Techniker (m/w)



Mit weltweit rund 6.000 Mitarbeitern und einem Umsatz von 3,0 Milliarden Euro ist die M+W Group ein führender Anbieter integrierter Lösungen für industrielle Hightech-Produktionsanlagen in der Elektronik-, Pharma-, Chemie- und Energiebranche. Als Tochterunternehmen ist die M+W Products GmbH an den Standorten Stuttgart, Shanghai und Üsti vertreten. Dort entwickeln und fertigen ca. 250 Mitarbeiter hochwertige Produkte und kundenspezifische Lösungen im Bereich Reinraum- und Präzisionsklimatechnik. Weitere Informationen zu unserem Unternehmen und unseren offenen Stellen finden Sie unter www.mwgroup.net/career.

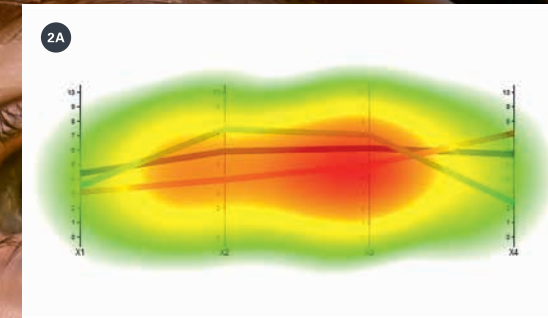
M+W Products GmbH | Ein Unternehmen der M+W Group | Lotterbergstr. 30 | 70499 Stuttgart | www.mwgroup.net

Einen Augenblick bitte! Eye-Tracking-Forschung geht auf Blickfang

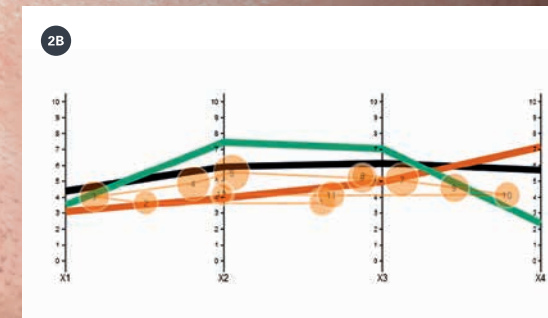
Wissen, was den Konsumenten gefällt – Eye-Tracking macht es möglich. Dank moderner Blickverfolgungssysteme können Vermarkter punktgenaue Aussagen über die optischen Präferenzen ihrer Kunden treffen: Welche Produkte wecken das größte Interesse? Welche Details fallen ins Auge? Liegt die Aufmerksamkeit bei Werbespots wirklich auf dem zu bewerbenden Produkt? Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart (VISUS) beschäftigen sich mit der Entwicklung innovativer Softwarelösungen zur Visualisierung und Analyse hochkomplexer Eye-Tracking-Daten, die Fragen wie diese beantworten können.

1 Eye-Tracking-Systeme nutzen Kameras, Lichtquellen und Algorithmen, um die Bewegungen des Auges nachzuvollziehen. Dafür werden die Probanden mit Eye-Tracking-Brillen ausgestattet und beispielsweise vor ein befülltes Supermarktregal platziert. Die Brille zeichnet jede Augenbewegung auf. Vom Eye-Tracker wird Infrarotlicht auf die Netzhaut der Testperson projiziert. Die Reflexion dieser für den Menschen unsichtbaren Strahlen gibt dem System Auskunft über den Richtungsvektor und die räumliche Entfernung. Pro Sekunde werden bis zu 60 Datenpunkte registriert. Insgesamt sind über zehn verschiedene Augenbewegungen bekannt, die sich in drei Kategorien zusammenfassen lassen: Fixationen (die Fokussierung des Auges auf einen Punkt), Sakkaden (Augenbewegung zwischen zwei Fixationen) und Blickfolgen (Verfolgung eines sich bewegenden Punktes). Algorithmen wandeln die gesammelten Informationen in Aussagen über die Augenbewegungen der Probanden um. Eine große Herausforderung stellt die Auswertung dieser enormen Datenmengen dar. Bei statischen

Bildern kommen hierfür am häufigsten Attention Heatmaps und Gaze Plots zum Einsatz: Attention Heatmaps 2A visualisieren die fokussierten Blick-



punkte und heben die Bereiche farblich hervor, die von einem oder mehreren Probanden intensiver betrachtet wurden. Je wärmer die Farbe, desto länger lag die Aufmerksamkeit auf diesem Bereich. Gaze Plots 2B arbeiten zusätzlich mit dem Pfad der Au-



genbewegungen. Fixationen werden durch Punkte dargestellt, deren Umfang sich mit der Aufmerksamkeitsdauer vergrößert; die Verbindungslinien zwischen den Punkten stehen für Sakkaden. Somit messen Gaze Plots sowohl die Beobachtungsintensität als auch den zeitlichen Ablauf der Augenbewegungen. Beide Methoden eignen sich jedoch nicht für die Arbeit mit Filmen oder ähnlich dynamischen Stimuli. Denn die Komplexität der dabei gewonnenen Daten überschreitet das Fassungsvermögen

herkömmlicher 2D-Visualisierungen. Derartig komplexe, raumzeitliche Daten zu entschlüsseln und zu visualisieren, haben sich Prof. Weiskopf und sein Team vom VISUS zur Aufgabe gemacht. Das von VISUS entwickelte ISeeCube-System 3 veran-



schaulicht die Augenbewegungen beim Betrachten von Filmen und animierten Grafiken. In einer dreidimensionalen Präsentation werden die Aufmerksamkeitspunkte aller Probanden auf das verwendete Filmmaterial projiziert 3A. Damit ist auf einen Blick deutlich, welche Bereiche von den Probanden primär anvisiert wurden. Eine detailliertere Analyse erlaubt zudem ein Scarf Plot 3B sowie die Gaze Stripes 3C. Entlang eines Zeitstrahls werden dabei die Datenpunkte aller Probanden in Form von Bildsequenzen aufgelistet und automatisch nach analogen Aufmerksamkeitsmustern gruppiert. Dies ermöglicht es, sowohl individuelle Unterschiede zwischen den Probanden aufzudecken als auch gemeinsame Interessenbereiche zu definieren.

Bianca Finkel

Mit Volldampf zur künstlichen Intelligenz Weltspitze bleiben mit dem neuen Forschungsverbund Cyber Valley

Je mehr Wissen an einem Standort fokussiert ist, desto attraktiver stellt er sich dar, wird neudeutsch zum Hub oder Hotspot. Seit dem 15. Dezember 2016 hat die Region Stuttgart-Tübingen offiziell ihren Hotspot „Cyber Valley“. Mit neuem Gründergeist wollen die Cyber-Valley-Forscher dazu beitragen, dass durch Baden-Württemberg ein Ruck in der Denkweise geht: mit Volldampf zur künstlichen Intelligenz.

Die Latte liegt hoch: Das Neckartal der Region Stuttgart-Tübingen tritt an, dem nordamerikanischen Silicon Valley Paroli zu bieten. „Wir wollen die Besten sein“, lautet auch der Anspruch von Prof.

Frank Allgöwer, Leiter des Instituts für Systemtheorie und Regelungstechnik der Universität Stuttgart. Dass dies realistisch ist und das Land schon jetzt auf internationalem Spitzenniveau mitspielt, davon ist der Spezialist auf den Gebieten technische Kybernetik und angewandte Mathematik zutiefst überzeugt.

Die Initialzündung zum Cyber Valley kam von der Max-Planck-Gesellschaft und vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart und Tübingen. Allgöwer und seine Stuttgarter Kollegen Prof. Marc Toussaint, Leiter der Fachabteilung Maschinelles Lernen und Robotik am Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Prof. Andrés Bruhn vom Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS), und Prof. Albrecht Schmidt, Leiter der VIS-Arbeitsgruppe Mensch-Computer-Interaktion, waren von Anfang an dabei. Sie alle treibt der Gedanke, dass diese Alli-

anz der Universitäten Stuttgart und Tübingen mit dem Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme und im Schulterschluss mit Industriefirmen eine neue Denkweise hervorbringen wird.

Kybernetischer Regelkreis als Basis

Grundsätzlich ist das gesamte Cyber Valley eine umfassende Initiative, die über Jahre gereift ist. „Es geht hier nicht um Auto oder Flugzeug“, betont Allgöwer. „Der Ansatz ist rein methodenorientiert und beruht auf dem kybernetischen Regelkreis.“ Der Dreiklang Wahrnehmen, Lernen, Handeln umfasst so unterschiedliche Lehrbereiche wie Robotik, Regelungstheorie, Computer Vision, künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen.

Hinter dem Zyklus der Kybernetik verbirgt sich ein Regelkreis mit unglaublich vielen Implikationen. Falsches Lernen kann zu einer völlig falschen Rückführung des Wahrnehmens führen. Als Beispiel nennt der Professor das autonome Fahren: Ist der Fahrer zu weit links auf der Fahrspur, erkennt dies das System mit seiner künstlichen Intelligenz. Bei mangelhafter Programmierung initiiert es aber zum Beispiel eine viel zu starke Rechtseinlenkung, gegen die das System dann wiederum viel zu stark gegenlenkt. In der Folge schaukelt sich das System zu ewigen Rechts-links-rechts-Bewegungen auf, die den Fahrer nie auf die Mitte der Fahrspur bringt. Schlimmstenfalls mündet der fehlerhafte Regelkreis in eine Katastrophe. Man spricht dann von „Instabilitäten“ – und die können nur allzu leicht eintreten. Bei der Reaktor-katastrophe von Tschernobyl etwa lief die Kybernetik im Regelkreis fundamental falsch. Allgöwer nennt sie eine „Bilderbuch-Instabilität“.

Umso mehr gilt der Regelkreis im neuen Cyber Valley bei allen Forschungen als Mantra, das akribisch zu verfolgen ist. Die Lernfähigkeit muss unbedingt in die Algorithmen einbezogen werden. Maschinen sollen intelligent werden und damit adaptiv und selbstoptimierend.

Bei reinen Software-Entwicklungen hat das Silicon Valley die Nase vorn. „Was wir aber im Neckartal haben, ist einmaliges Know-how zur Produktion von Autos und Maschinen aller Art.“ Künstliche Intelligenz und Lernmethoden sollen deshalb Teil von neuen Fertigungsmaschinen, Fahrzeugkomponenten, Robotern oder Haushaltshilfen sein und deren Funktionen, Leistungsfähigkeit und Flexibilität deutlich steigern. Ganz entscheidend ist dabei, dass das Cyber Valley kein kurzlebiges Projekt ist, sondern eine Grundüberzeugung, wie Wissenschaft und Industrie zukünftig ineinandergreifen. Der wissenschaftliche Hotspot soll die gleiche Konnotation hervorrufen wie die berühmte Ideenschmiede im kalifornischen Palo Alto: Gründergeist und Aufbruchsstimmung.

Gründergeist und Aufbruchsstimmung

Der Vorsprung im baden-württembergischen Cyber Valley: Es verfolgt einen noch breiteren Ansatz. „Wir haben hier alles vor Ort – erstklassige Forschungsinstitutionen und Hightech-Industriefirmen. Das birgt ein großes Vorteilspotenzial gegenüber dem bloßen Software-Hotspot in Amerika“, freut sich Allgöwer. Und ergänzt: „Um uns herum passieren aktuell gravierende Veränderungen. Wir in Baden-Württemberg wären schlecht beraten, wenn wir

nicht vorausschauend und zusätzlich eine Struktur aufbauen, um mit Services und Apps, also mit Daten, eine zusätzliche Wertschöpfung zu erreichen.“ Vom Land Baden-Württemberg bekommt das Cyber Valley ein Gebäude zur Verfügung gestellt, das als Zentrale der neuen gleichberechtigten Ideenkultur fungieren soll. Dort können alle zusammenkommen – Industrieunternehmen, Wissenschaftler und junge Leute, die mit ihrem Studium fertig sind und eine Idee haben. Ein weiterer Vorteil der Ideenschmiede Cyber Valley: „Wir als Uni wollen natürlich kein Geld verdienen. Wir geben Geld aus“, fügt Allgöwer lachend hinzu. Mit gutem Gewissen. Denn aus den Forschungsinstitutionen kommen viele junge Menschen, die später als (promovierte) Ingenieure auf dem Markt sind.

Durch das Zusammengehen mit der Industrie lässt sich die Forschung unmittelbar umsetzen. Umgekehrt trägt die Industrie interessante Aufgaben an die Wissenschaftler heran. Dieser Dialog fern jeglichen „Silodenkens“ begünstigt automatisch jene Gründerkultur, die unabdingbar ist, wenn die Region weiterhin in der Top-Liga derer mitspielen will, die den Maschinen von morgen künstliche Intelligenz einhauchen.

Susanne Roeder

„Wir wollen die Besten sein“:
Prof. Frank Allgöwer, Leiter des Instituts
für Systemtheorie und Regelungstechnik der
Universität Stuttgart, gehört zu den Gründern
des Cyber Valley.

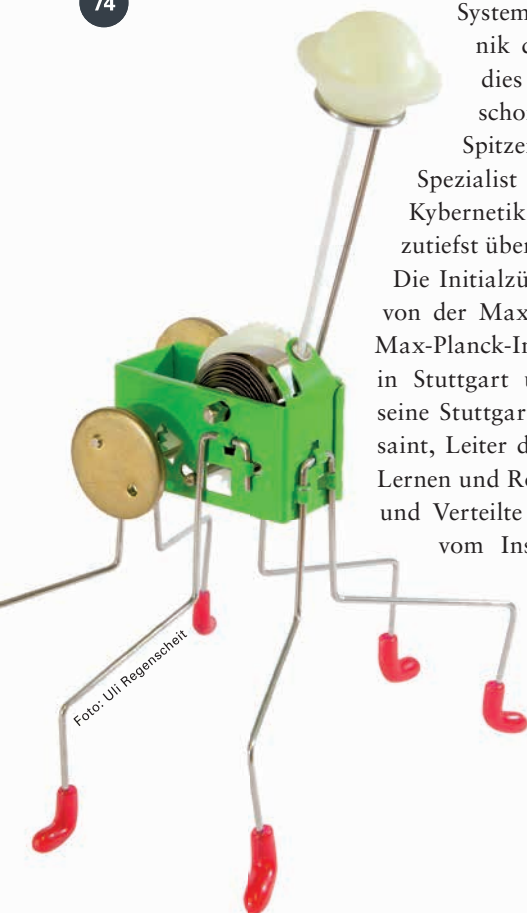


Foto: Uli Regenscheit

Mensch denkt, Wolke lenkt

Forscher arbeiten an cloudbasierter Steuerungstechnik für die Produktion

Maschinen in Fabriken brauchen moderne Steuerungen, um effizient zu arbeiten. Doch oftmals ist die Software, die vor Ort im Einsatz ist, veraltet. Ein Forschungsprojekt der Universität Stuttgart arbeitet daran, Steuerungen aus der Ferne zu aktualisieren oder komplett zu erneuern. Das hätte zahlreiche Vorteile.

Moderne Produktionsmaschinen sind Multitalente. Das wird am Beispiel einer hochflexiblen Möbelfabrik deutlich: Holzplatten gleiten auf Förderbändern zum Bestimmungsort, werden von Sägen zerteilt und mit Fräsern bearbeitet. Es sind viele Arbeitsschritte, die diese Maschinen vollautomatisch verrichten – hochpräzise und sauber. Dabei garantieren komplexe Steuerungen, dass jede Maschine stets genau weiß, welches Teil sie wie bearbeiten muss. Zum Kunden gehen schließlich maßgefertigte Anrichten, Regale oder Kommoden, die industriell hergestellt wurden. Steuerungen sind das Gehirn einer Produktionsanlage – egal, ob hier Möbel, Maschinenteile oder Autozubehör gefertigt werden. Die elektronischen Baugruppen sitzen bislang entweder direkt in den Maschinen oder aber in verkabelten Schaltschränken, die einige Meter von der Produktionslinie entfernt in der Fabrikhalle stehen. In ihnen arbeitet komplexe Software, die den Fertigungsprozess nach den Vorgaben des Unternehmens lenkt. Auf solche Computerprogramme sind Fabriken heute angewiesen, um Aufträge effizient abzuwickeln. Doch besagte Programme sind häufig veraltet. Denn anders als im Windows-Rechner werden sie nicht alle paar Monate via Internet auf den neuesten Stand gebracht. Im Gegenteil: Das Update von Maschinen ist in vielen Unternehmen eine organisatorische Herausforderung. „Nicht selten läuft ein Techniker mit einem USB-Stick in der Halle herum, um auf diese Weise ein notwendiges Update aufzuspielen“, sagt Prof. Alexander Verl. Der Wissenschaftler

leitet an der Universität Stuttgart das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen. In seinem Forschungsgebiet geht er der Frage nach, inwiefern sich industrielle Steuerungstechnik in die Cloud verlagern lässt. Unter der Cloud versteht man eine zentrale Recheneinheit, die sich möglicherweise Hunderte Kilometer entfernt bei einem Dienstleister befindet, aber mit dem Netzwerk der Fabrik verbunden ist. Eine solche virtuelle Maschinensteuerung hätte den Vorteil, dass Fertigungssoftware in Minuten auf den neuesten Stand gebracht oder sogar komplett ausgetauscht werden könnte.

Software ist der Schlüssel zum Erfolg

Damit würden sich neue Möglichkeiten in der Produktion ergeben. Bislang sind automatisierte Fertigungsprozesse hierarchisch organisiert. Das heißt: Die oberen Führungsebenen treffen die Entscheidung über eine Modernisierung, die Stufen darunter setzen den Plan um – bis schließlich die jeweilige Maschine mit einer neuen Software ausgestattet ist. Dieses Vorgehen hat Vorteile, hemmt aber die in der heutigen Fertigung immer wichtiger werdende Flexibilität. Aus einer Cloud heraus könnten Maschinen automatisch ein Software-Update erhalten, sobald dieses zur Verfügung steht.

Im Werkzeugmaschinenbau ist die Software inzwischen das entscheidende Element. Antrieb oder Mechanik sind ausgereift und lassen sich kaum mehr besser machen. „Die Hardware ist oft austauschbar“, sagt Verl. Nicht zuletzt deshalb, weil die Werkzeugmaschinenbauer diese Komponenten bei einer immer kleiner werdenden Zahl von Zulieferern kaufen. „Im Wettbewerb kann man sich ohne eigene Software kaum mehr absetzen“, so Verl, denn: Die Güte der im Hintergrund laufenden Programme bestimmt die Qualität einer Maschine. Wenn beispielsweise eine vollautomatische Fräse eine Holzplatte bearbeitet, soll sie das möglichst präzise und schnell



Die moderne Fertigung beruht auf Vernetzung: Gemeinsam bilden Maschinen intelligente Lösungen, indem die einzelnen Geräte Hand in Hand arbeiten – voll vernetzt mit durchgängigem Datenfluss.

Foto: HOMAG Group

tun. Je moderner die Software, desto effizienter kann auch eine in die Jahre gekommene Mechanik die Aufgabe verrichten. Aktualisierte Steuerungsprogramme könnten künftig per Mausklick von der Cloud direkt auf die Maschine gespielt und sofort angewendet werden.

Neue Dienste mit Mehrwert

Ähnliches gilt für besondere Funktionen – wie etwa die Kollisionsüberwachung. Die dazugehörige Software stellt sicher, dass mechanische Arme, die ein Werkzeug führen, keinen Schaden durch kollisionsbehaftete Bewegungen verursachen. Das Programm kennt Länge, Breite und Höhe der Maschine sowie das Aktionsfeld von Werkzeug und Arm. Mit diesen Angaben kann die Software im Vorfeld berechnen, welche Bewegungen in den nächsten Arbeitsschritten erfolgen – und lässt vom ersten Arbeitsschritt an das Werkstück so bearbeiten, dass es zu keinen Zusammenstößen kommt.

Ob eine Kollisionskontrolle mitlaufen muss, hängt auch davon ab, was und wie gefertigt wird. Manchmal ist sie gar nicht nötig und kann abgeschaltet werden. Was Ressourcen schont, denn der zusätzliche Prozess kostet Rechenleistung und manchmal auch Zeit. „Die Kollisionsüberwachung könnte also als

Mehrwertdienst nur dann bezahlt und von der Cloud aus zugeschaltet werden, wenn sie wirklich benötigt wird“, sagt Felix Kretschmer, Experte für vernetzte Produktion am Lehrstuhl von Professor Verl.

Kretschmer ist Koordinator des Projekts Industrielle Cloudbasierte Steuerungsplattform für eine Produktion mit cyberphysischen Systemen, kurz piCASSO. Technologieunternehmen forschen dort gemeinsam mit Instituten der Universität Stuttgart daran, wie die Industrieproduktion durch die flexible Bereitstellung von Steuerungstechnik effizienter arbeiten kann. Das Projekt wird vom Bundesforschungsministerium gefördert und vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) betreut.

Viele Funktionen von Fertigungsanlagen können herauslöst und in die Cloud ausgelagert werden – aber nicht jede. Sensoren, die Abmessungen eines Werkstücks ermitteln, müssen selbstverständlich an der Maschine bleiben. „Aber alles, was daraus berechnet wird, kann in der Cloud gelöst werden“, sagt Verl. Diese Vorgänge müssen sehr schnell erfolgen. In der Regel in einigen Millisekunden. Wer häufig im Internet surft, weiß, wie schwierig das sein kann. Doch während der Nutzer im Büro nur genervt ist, wenn das Internet hängt, können lange Übertragungszeiten in der Fertigung ernste Folgen haben. „Eine dre-

hende Sanduhr, die man vom PC kennt, bedeutet bei Werkzeugmaschinen eventuell einen Totalausfall“, verdeutlicht Kretschmer. Oder verursacht teure Produktionsfehler: Schneidet sich ein Fräser durchs Holz und bleibt an einer Stelle stehen, entsteht ein schwarzer Brandfleck. Das Werkstück ist beschädigt und kann nicht weiter verarbeitet werden. Die Qualität der Kommunikationsverbindung ist deshalb entscheidend.

Lichtgeschwindigkeit setzt die Grenze

Die Übertragungsgeschwindigkeit hängt auch von der verwendeten Netzwerktechnik ab. Sie muss sicherstellen, dass die Signale einer Fertigungsanlage Vorfahrt in dem genutzten Kommunikationsnetz haben. Zudem müssen die Daten aus der Cloud exakt zum selben Zeitpunkt an der Fertigungsanlage ankommen. „Wir erforschen Mechanismen, die das möglich machen“, erklärt Verl.

Eine Lösung bieten sogenannte zeitsensible Netzwerke (Time-sensitive Networking). Ihre Funktion lässt sich an Heimlautsprechern verdeutlichen, die über das WLAN-Netz miteinander verbunden sind. Auch dort ist es wichtig, dass Signale bei mehreren Boxen zeitgleich ankommen. Zum ersten Mal möglich gemacht hat das eine Technologie der Firma Sonos. „Ihnen ist es gelungen, eine Vorfahrtsregelung im WLAN-Netz zu schaffen“, so Verl. Auf ähnliche Weise wird heute versucht, Datenpakete für die Produktion zu verschicken. Einer der wichtigsten Belange dabei ist, die derzeit noch sehr verschiedenen Standards zu vereinheitlichen. Unendlich schnell werden sich Daten allerdings nicht übertragen lassen: Die Lichtgeschwindigkeit, mit der sich elektronische Signale bewegen, setzt Grenzen. Im



Foto: Dürr AG

Auch in der Möbelindustrie gewinnt die Digitalisierung an Bedeutung: Inzwischen fertigen vernetzte Produktionsanlagen wie zum Beispiel bei der Dürr-Tochter HOMAG Group individuelle Küchen in Losgröße 1, aber mit der Effizienz einer hochautomatisierten Serienproduktion.

Rahmen von pICASSO wurde zum Beispiel die Zeit gemessen, die ein elektronisches Signal benötigt, um vom Google-Rechenzentrum in Nordeuropa nach Stuttgart und zurück zu gelangen. Die untere Grenze lag bei 20 Millisekunden. In der Fertigung gibt es aber Funktionen, bei denen eine Millisekunde der kritische Wert ist. „Das heißt, die Steuerung für eine Anwendung in Stuttgart darf in so einem Fall höchstens 150 Kilometer entfernt stehen, zum Beispiel in Frankfurt“, beschreibt Verl die Herausforderung. Für ein unüberwindbares Hindernis hält er diese Einschränkung nicht. Die Clouds könnten sich in verschiedenen Rechenzentren befinden, von denen aus sie Fabriken in der Region schnell erreichen. Auch sei es denkbar, dass sich Unternehmen eigene Clouds einrichten, möglichst zentral, in der Nähe ihrer Standorte.

Kampf gegen Hacker aus der Cloud

Eine weitere Herausforderung für cloudbasierte Steuerungen ist das Thema Sicherheit. Auch damit beschäftigen sich die Forschenden im Projekt pICASSO. Dass es möglich ist, über ein IT-System in Industrieanlagen einzudringen, haben Hacker schon mehrfach bewiesen. Cyberkriminellen gelang es zum Beispiel 2014 den Hochofen eines Stahlwerks in Deutschland lahmzulegen. Der israelische Geheimdienst nutzte vor einigen Jahren den Computerwurm Stuxnet, um das iranische Atomprogramm zu sabotieren. Läuft die Verbindung zwischen Steuerung und Anlage künftig über offene Netze, könnten Hacker theoretisch Wege finden, um dort einzudringen. Der Anspruch an die IT-Sicherheit ist deshalb hoch. Nur wer berechtigt ist, darf Zugang zu den Daten bekommen. Eine Manipulation muss ausgeschlossen sein. Zugleich sollen die Daten aber immer dann verfügbar sein, wenn sie gebraucht werden. Selbst-

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



 **Lufthansa**
The Aviation Group

verständlich müssen die Daten verschlüsselt werden. Ob das auf der gesamten Strecke von der Cloud bis zur Maschine passieren soll, ist jedoch nicht unumstritten. Denn die Interessen der Beteiligten sind unterschiedlich. Der Betreiber der Fertigungsanlage will den Zugang zu seinen Maschinen streng kontrollieren. Das heißt, er will wissen, woher die Daten kommen, die auf seine Anlagen zugreifen bzw. dort eingespeist werden. Für ihn kommt es deshalb nicht infrage, dass die Übermittlung von Anfang bis Ende verschlüsselt wird. Zumindest bevor die Daten seine Maschine erreichen, will er kontrollieren, woher sie kommen. Daran ist der Betreiber der Cloud aber nicht interessiert. Er will sein Know-how schützen, das in den übertragenen Daten enthalten ist. Niemand außer er selbst soll Einblick haben. Der Interessenausgleich zwischen Absender und Empfänger ist deshalb eine wichtige Voraussetzung, um den Datenstrom wirksam zu überwachen.

Neue Dimension der IT-Sicherheit

Inzwischen ist die Verschlüsselungstechnik weitgehend sicher. „Selbst Geheimdienste knabbern heute

ziemlich lange daran, die Codes zu knacken“, sagt Verl. Sie werden heute meist deshalb entziffert, weil jemand ausspioniert wurde, der den Schlüssel besitzt. Das passiert zum Teil mit ganz einfachen Mitteln. Zum Beispiel, indem sich jemand Zugang zu Firmenräumen verschafft und die entsprechenden Kennwörter stiehlt. Ein wichtiger Einfallstor für Hacker sind jedoch nicht nur die neuen IT-Anwendungen, sondern vor allem auch die alten. „In einigen Fabriken wird noch mit Betriebssystemen gearbeitet, die 20 Jahre alt sind“, weiß Verl. Eine einzige USB-Schnittstelle kann hier reichen, um eine Maschine zu manipulieren. Die Maschinenhersteller sind allerdings froh, wenn ihre Technik funktioniert und sie sich verkauft. Die meisten sind deswegen gar nicht daran interessiert, sie ständig zu modernisieren. Doch genau dadurch können sie zum Ziel von Cyberkriminellen werden. Für Verl ist das ein wichtiges Argument: „Von der Cloud aus lässt sich eine Maschine stets auf dem neuesten technischen Stand halten – auch, was die Sicherheit betrifft.“

Heimo Fischer

Industriell zum Unikat Hightech vereint ungleiche Paarung aus Massen- und Einzelfertigung

Industrie 4.0 ist in der Praxis angekommen. In Studien und mit einem neu ins Leben gerufenen Leistungszentrum suchen Forscherinnen und Forscher der Universität Stuttgart aktuell nach einer Verbindung zu einem anderen Megatrend: der Individualisierung. Dabei könnte die Personalisierung den Bogen spannen zwischen automatisierter Massenproduktion und prä-industrieller Einzelanfertigung. Das Stichwort der Stunde heißt „Mass Personalization“.

Als einer der Vordenker dieser Vision blickt Prof. Thomas Bauernhansl, Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart und des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), weit in die Vergangenheit: „Vor der ersten industriellen Revolution war die Produktion handwerklich geprägt. Ein Schuster fertigte Schuhe nach Maß, jedes Paar war eine Einzelanfertigung.“ Das kostete durchschnittlich einen Monatslohn und brachte Qualitätsschwankungen mit sich, wenn ein Schuster nichts taugte. Durch die Industrialisierung schrumpfte diese Mannigfaltigkeit zur Massenproduktion. Bis Mitte des vergangenen Jahrhunderts die Individualisierung Einzug hielt und mit ihr – nach Baukastenlogik – die Fertigung aus normierten Einzelteilen, was zur heutigen Vielfalt in den Schuhläden führte. Für Bauernhansl und seine Kollegen der nächste konsequente Schritt: Jeder soll maßgefertigte Schuhe bekommen, aber zum Preis und in der konstanten Qualität der Massenproduktion. „Wir werden nur noch zum Teil den Baukasten nutzen, dafür aber Teile in Stückzahl Eins entwickeln und herstellen – und das alles mit den Mitteln neuer Technologien wie etwa dem 3D-Druck.“ Dabei denken die Forscher über relativ banale Produkte wie Schuhe weit hinaus. In ihrer Studie „Mass Personalization“ nehmen die

fünf Fraunhofer-Institute in Stuttgart die Themen Mobilität, Wohnen und Gesundheit in den Fokus – und damit Bereiche von enormer gesellschaftlicher Relevanz mit zahlreichen Facetten und hohem technischem Anspruch.

Klassische Grenzen auflösen

„Die Kunst ist es, die klassischen Grenzen zwischen Herstellern und Verbrauchern aufzulösen“, sagt Bauernhansl und verdeutlicht: „Ein Kunde will nicht zwingend eine Bohrmaschine kaufen, er will zunächst nur ein Loch in der Wand. Das müssen wir ihm bieten.“ Um den Kunden herum errichtete „Ökosysteme“ könnten unter Beteiligung vieler Wertschöpfungspartner gemeinsame Plattformen ermöglichen, die ihm individuelle Leistungen böten. Dieses Konzept nennen die Forscher „B2U“, das für Business to User steht. Dabei ist der Nutzer Mittelpunkt aller Anstrengungen.

Einzelanfertigung ohne gravierende Mehrkosten: Das ist zunächst eine gedankliche Hürde. Immerhin kostet auch ein Maßanzug das Vielfache eines Modells von der Stange. Bauernhansl zerstreut diese Bedenken: „Bisher musste der Hersteller antizipieren, was seine Kunden in Zukunft kaufen möchten. Heute kann der Kunde über spezielle Services das gewünschte Produkt selbst mit entwickeln und so die komplexitätsgetriebenen Kosten senken.“ Ein bereits funktionierendes Beispiel dafür hat die Firma Schunk entwickelt, ein Hersteller von Greifsystemen und Spanntechnik in Lauffen am Neckar. Das Unternehmen erstellte die Plattform eGrip, auf der Anwender 3D-Modelle der zu greifenden Objekte hochladen und, unterstützt von der Entwicklungsabteilung, den passenden Greifer gestalten können. In weiteren Stufen, davon ist Bauernhansl überzeugt, ließe sich auch die Entwicklung vollständig automatisieren beziehungsweise als zusätzlichen Service hinzukaufen. Immer mit dem langfristigen Ziel, personalisierte Produktion zum Preis von



Mass Personalization macht dem Einheitslook ein Ende.

Foto: Fotolia

Massenproduktion zu ermöglichen, um den Ansatz wirtschaftlich nachhaltig werden zu lassen. Die Studie zum Thema „Mass Personalization“ hatte den Zweck, den Handlungsbedarf und erste Lösungen aufzuzeigen. Im Mittelpunkt der Forschung steht jetzt ein Leistungszentrum für Mass Personalization, das Universität Stuttgart und Fraunhofer mit einem Gesamtvolumen von 12,5 Millionen Euro vorantreiben. Daneben sollen bereits bestehende Institutionen wie der Stuttgarter Forschungscampus ARENA 2036 eine wichtige Rolle spielen, zum Beispiel um „smarte“ Autos für die personalisierte Mobilität zu entwickeln.

Vom Wohnen bis zum digitalen Arzt

Chancen für die ungleiche Paarung aus Massen- und Einzelfertigung sehen die Forscher auch für den Bereich Wohnen. Zwar wird heute schon nach individuellen Wünschen gebaut. Verändern sich jedoch die Anforderungen an das Wohnen im Laufe des Lebens, ist ein Umbau häufig nur mit großem Aufwand verbunden. Bauernhansl: „Wir suchen nach neuen Konzepten für Räume, die leichter anpassbar sind.“ Auch „smarte“ Gebäudetechnik spielt hier eine Rolle, um etwa älteren Menschen länger ein selbstbestimmtes Wohnen zu ermöglichen. Dritter

Schwerpunkt der Massenpersonalisierung ist die Gesundheit mit der Vision des „digitalen Arztes“. „Personalisierung ist hier essenziell, um zu einem höheren Qualitätsniveau zu kommen, bei gleichzeitig niedrigeren Kosten“, sagt Bauernhansl. Dabei ließen sich über Sensorik erhobene Daten auswerten und individuelle Therapien entwickeln oder ideal angepasste Medikamente herstellen. Zwingende Voraussetzung sei eine lückenlose Verfügbarkeit und der Schutz der Patientendaten. Hier sei der Gesetzgeber gefragt, so Bauernhansl.

Ein Konzept wie B2U ist nach Ansicht des IFF-Leiters eine Chance für Hochlohnländer wie Deutschland, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Zumal die personalisierte Produktion die regionale Fertigung fördert, sodass Zeitvorteile nicht durch lange Lieferwege konterkariert werden. „Das Konzept passt zu unseren Hightech-Fähigkeiten“, ist sich Bauernhansl sicher. Der deutsche Maschinenbau könnte auch dadurch profitieren, dass viele Anlagen aufgerüstet oder neu konzipiert werden müssten. „Viele Unternehmen verstehen schon heute Kraft und Logik des Konzepts“, sagt Bauernhansl. Denn sie können Kosten für die Entwicklung senken und zugleich eine stärkere Kundenbindung erreichen.

Jens Eber

Was macht ein Tropfen auf dem heißen Stein? DROPIT-Doktoranden sind dem Verhalten kleinster Wasserelemente auf der Spur

Wer hat nicht schon einmal Regentropfen beobachtet, die in eine Pfütze fallen? Während ambitionierte Laien an der Art des Aufpralls die Dauer des Regenschauers erkennen wollen, gehen die Forscher des deutsch-italienischen Graduiertenkollegs DROPIT der Universität Stuttgart der wissenschaftlichen Frage nach, wie sich Tröpfchen untereinander und zu ihrer Umgebung verhalten. Ihre Antworten spielen für viele industrielle Anwendungen eine wichtige Rolle.

In einem Labor des Instituts für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt (ITLR) der Universität Stuttgart bedienen die Doktoranden Anne Geppert und Ronan Bernard ein neues, hochmodernes System. Die Micro-Particle-Image-Velocimetry (Micro-PIV) genannte Technik ist ein berührungsloses, laseropisches Geschwindigkeitsmessverfahren, das auf der Detektion von kleinsten, der Strömung zugegebenen Partikeln beziehungsweise deren Verschiebung beruht. Dafür bestücken die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einen Tropfen mit selbstleuchtenden Teilchen, die durch das Anstrahlen mit einem grünen Laser fluoreszieren. Aufgenommen zu zwei definierten Zeitpunkten mit einer hochauflösenden Kamera, lässt sich die Geschwindigkeit aus der zurückgelegten Entfernung der Partikel berechnen, die sich innerhalb des Zeitintervalls mit der Strömung bewegt haben. „Die Besonderheit dieses Verfahrens ist, dass wir durch die Kombination eines PIV-Systems mit einem Mikroskop auch Strömungsfelder im Mikrometerbereich untersuchen können“, sagt Anne Geppert, assoziiertes Mitglied von DROPIT.

Die Interaktion von Tropfen verstehen

Was geschieht, wenn Tropfen mit bestimmten Medien, Materialien und Oberflächenstrukturen interagieren, auf ihnen zerstäuben oder verdampfen, ist in

weiten Teilen noch immer rätselhaft. „Tropfen sind viel mehr als Regen“, beschreibt ITLR-Direktor Prof. Bernhard Weigand die Faszination des Forschungsteams für das so kurze wie komplexe „Leben“ dieser Objekte. „Unser Forschungsziel ist, die Auswirkungen mikroskopischer Strukturen auf sichtbare Effekte zu ergründen“, so Weigand. Klar ist bereits, dass selbst kleinste Veränderungen der Oberflächenstruktur eines Tropfens oder seiner Aufprallfläche zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen führen. Das ist Grundlagenforschung. Die DROPIT-Forscher haben aber auch die praktische Umsetzung im Sinn: Ob bei der Sprühkühlung von Lebensmitteln, bei Verdunstungsvorgängen oder Verbrennungsprozessen im Motor – immer ist das Verhalten kleinster Tröpfchen für den Erfolg entscheidend.

Für das Untersuchungsgebiet von DROPIT wurden drei Zielanwendungen definiert. Zum einen erforschen die Doktorandinnen und Doktoranden Verdampfungsprozesse, um die Gemischbildung in Verbrennungsmotoren zu verbessern. „Durch Veränderungen beim Reibungswiderstand lässt sich der Benzinverbrauch senken“, bringt Dr. Grazia Lamanna, akademische Oberrätin am ITLR, das ehrgeizige Forschungsziel auf den Punkt. Ein weiteres Augenmerk liegt auf sogenannten superhydrophoben Oberflächen, wie sie beispielsweise extrem wasserabweisende Textilien oder Windschutzscheiben aufweisen. Der dritte Forschungsbereich widmet sich dem Zusammenspiel unterschiedlicher Flüssigkeiten. „Diese Ansätze dienen zum Beispiel der Entwicklung neuer Medikamente, bei denen eine Flüssigkeit eine andere umhüllt“, führt Anne Geppert aus.

Regel Austausch über Länder- und Fachgrenzen hinweg

Seinen Start erlebte das Graduiertenkolleg im Oktober 2016 im norditalienischen Bergamo. DROPIT, das verkürzt für „Droplet Interactions Technolo-

Mit Hilfe der Micro Particle-Image-Velocimetry (Micro-PIV) lässt sich die Geschwindigkeit aus der zurückgelegten Entfernung der Partikel berechnen, die sich innerhalb eines Zeitintervalls mit der Strömung bewegt haben.

gies“ steht, ist eines der Projekte der strategischen Partnerschaft zwischen den Universitäten Stuttgart und Bergamo. Beteiligt ist zudem die Universität Trient. Rund 20 Forscherinnen und Forscher arbeiten parallel in beiden Ländern. Während des zunächst auf viereinhalb Jahre ausgelegten Graduiertenkollegs wird es jährliche Kolloquien sowie spezielle Vorlesungen für die Doktorandinnen und Doktoranden geben. Vorgesehen sind auch halbjährige Auslandsaufenthalte im jeweiligen Partnerland. Um die große Bandbreite wissenschaftlicher Fragen abzudecken, die die verschiedenen Bereiche der Tropfen-Interaktion aufwerfen, werden viele Wissensgebiete gebraucht. Deshalb arbeiten an DROPIT Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlichster Fachrichtungen mit, darunter Mathematik, Informatik, Strömungsmechanik oder Thermodynamik.

Die gute technische Ausstattung des Kollegs hat nach Weigands Einschätzung ebenso wie die thematische Bandbreite zu der „sehr hohen Zahl“ an Bewerbungen geführt. „Die intensive Ausbildung der Doktorandinnen und Doktoranden bei gleichzeitig sehr selbstständiger Projektarbeit sorgt dafür, dass die Absolventen später gute Berufschancen haben“, ist sich Grazia Lamanna sicher. Und auch inhaltlich bietet die ausgeprägte Zusammenarbeit mit der Universität Bergamo nach Meinung der Beteiligten viele Vorteile. So sei zum Beispiel ein Mikro-Computertomograf von extrem hoher Qualität, wie ihn Maurizio Santini an der Universität Bergamo aufgebaut habe, weltweit bislang einzigartig, wie Bernhard Weigand erklärt. Das Gerät erlaubt es, dreidimensional zu scannen, um Objekte mit einer Präzision von Mikrometern zu durchleuchten und abzubilden.

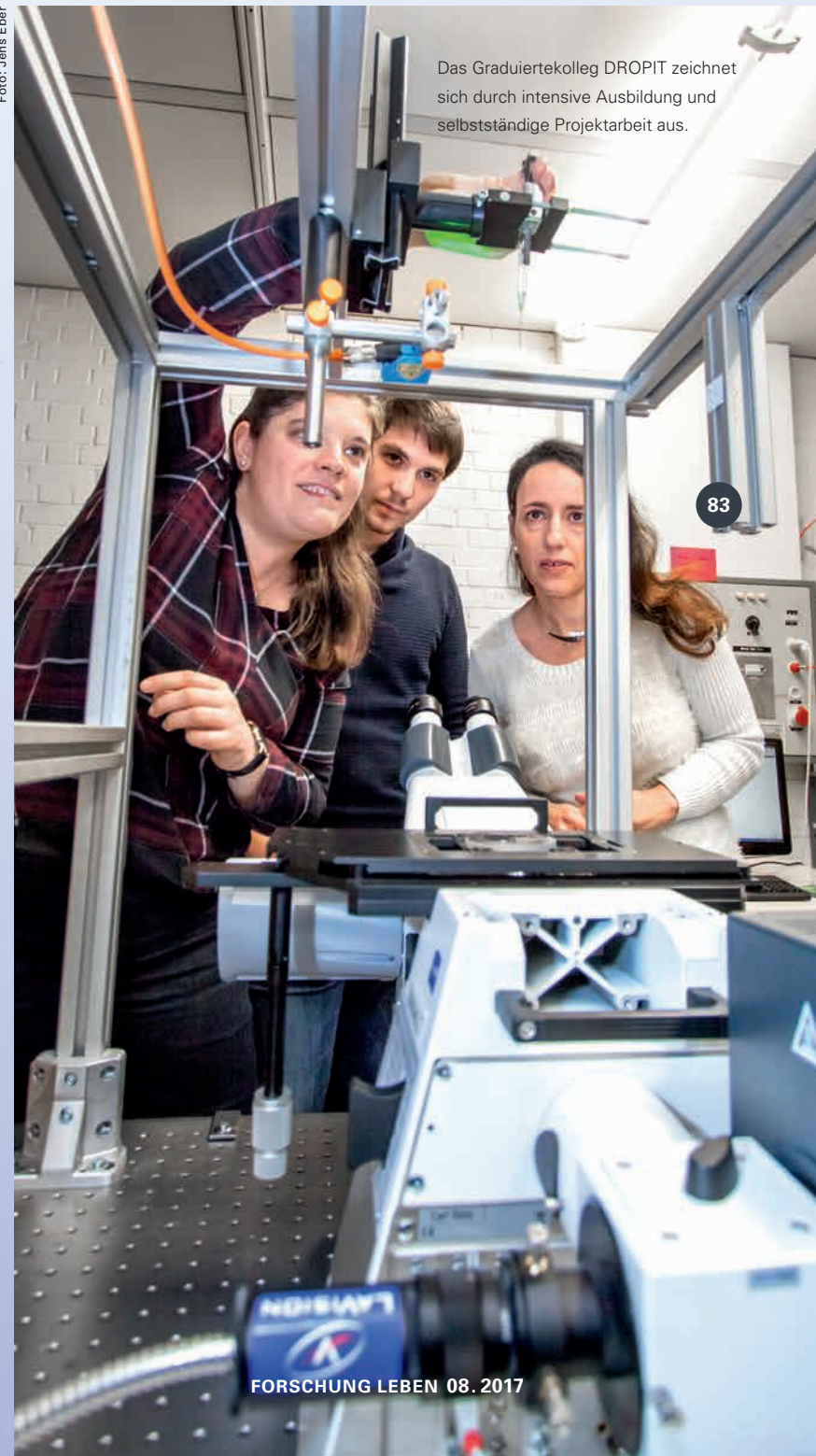
Jens Eber

Photron	FASTCAM SA1.1 mo...	
20000 fps	1/161000 sec	896 x 320
Start	frame : 4819	+240.95 ms
Date : 2012/11/15	Time : 14.41	

Foto: Universität Stuttgart/ITLR



Foto: Jens Eber



Das Graduiertenkolleg DROPIT zeichnet sich durch intensive Ausbildung und selbstständige Projektarbeit aus.

Bereit für die zweite Quantenrevolution Stuttgarter und Ulmer Kompetenzen unter einem Dach vereint

Mit dem Center for Integrated Quantum Science and Technology (IQST) positionieren sich Wissenschaftler der Universitäten Stuttgart und Ulm gemeinsam für einen Entwicklungssprung, der viele Technologiebereiche betreffen wird. So sollen Sensoren, Kommunikationstechnik und Computer möglich werden, die grundlegende quantenphysikalische Effekte nutzen, um besser, empfindlicher oder verlässlicher als ihre heutigen Pendanten zu arbeiten. Um den Weg aus der Grundlagenforschung in die technische Anwendung zu ebnen, arbeiten die Wissenschaftler interdisziplinär zusammen.

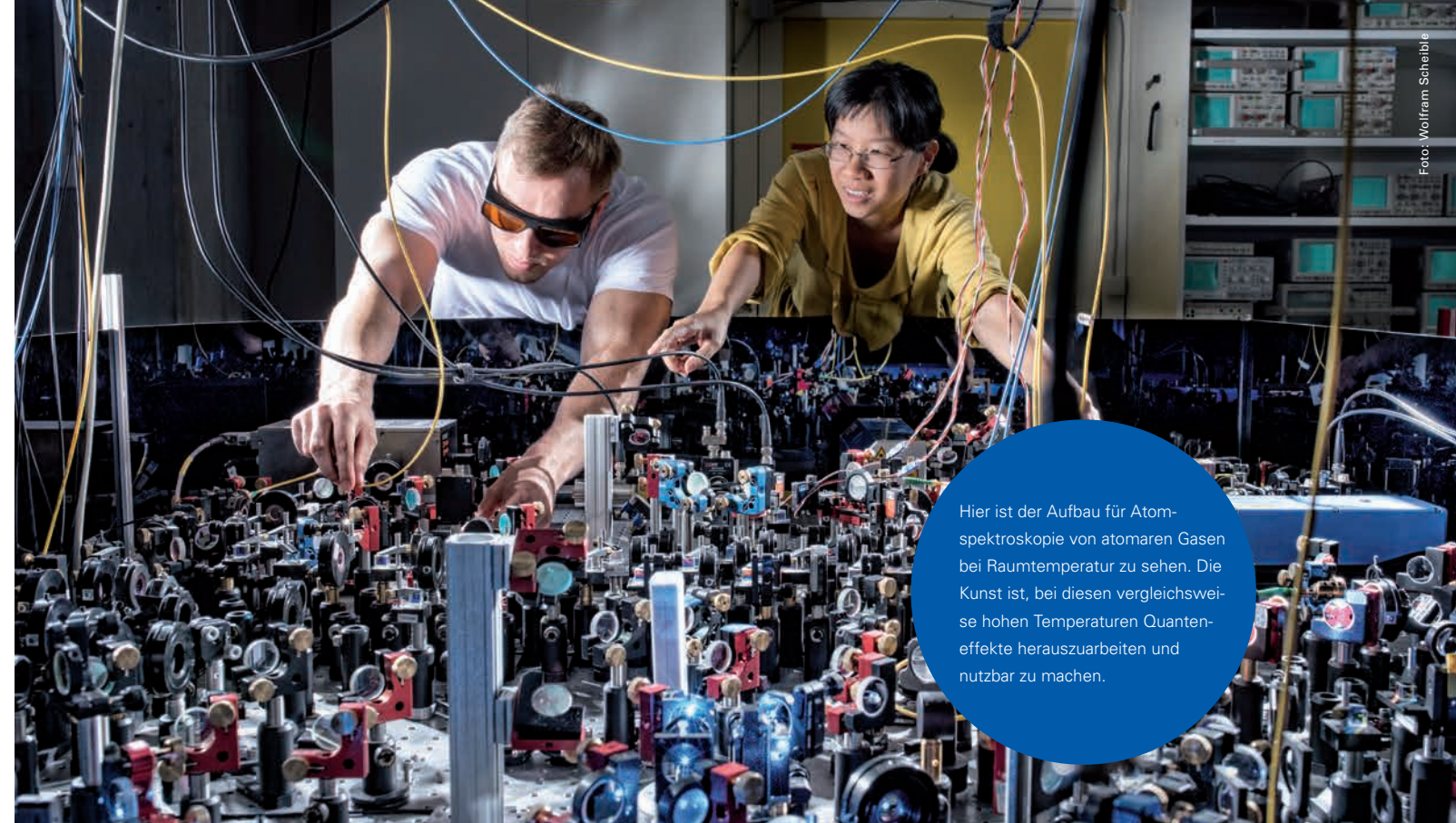
An manche technologische Neuerungen im Alltag haben wir uns bereits so gewöhnt, dass keiner mehr darüber nachdenkt, warum etwas überhaupt so funktioniert, wie es funktioniert. DVDs, Smartphones, Internet, Flachbildschirme, LEDs – alle diese Selbstverständlichkeiten haben jedoch eine Vorgeschichte, die vor vielen Jahrzehnten in diversen Forschungseinrichtungen begann. So haben die Entdeckungen in der Festkörper- und Quantenphysik und ihre spätere technische Nutzung in integrierten Schaltkreisen oder Lasern einige der gängigsten heutigen Anwendungen überhaupt erst möglich gemacht. Und diese Entwicklung ist noch lange nicht zu Ende. Im Gegenteil: „Wir befinden uns am Übergang zur Quantentechnologie“, sagt Prof. Jörg Wrachtrup, Direktor des 3. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart. Unter Quantentechnologien subsumieren die Experten dabei neuartige technische Ansätze, die spezifische Eigenschaften von Systemen ausnutzen, deren Verhalten sich nur durch die Quantenphysik erklären lässt. „Die Situation, in der wir uns heute befinden, ist vergleichbar mit dem Übergang von der Halbleiterphysik zu mikroelektronischen Bauelementen und integrierten

Schaltkreisen, wie er sich in den 1950er und 1960er Jahren vollzogen hat“, veranschaulicht Wrachtrup die mögliche Tragweite.

An den Universitäten Stuttgart und Ulm sowie am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf diese Entwicklung reagiert, indem sie das Center for Integrated Quantum Science and Technology (IQST) gegründet haben. Vorangetrieben hatten die Idee zwei Professoren: Wolfgang Schleich, Leiter des Instituts für Quantenphysik der Universität Ulm, und Tilman Pfau, Direktor des 5. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart. Die Wurzeln des IQST reichen mehr als zehn Jahre zurück. „Die Keimzelle war der Transregio21“, so Pfau. An diesem 2005 gestarteten Sonderforschungsbereich zur Quanten-, Atom- und Festkörperphysik sind die Universitäten Stuttgart, Tübingen und Ulm beteiligt sowie das Max-Planck-Institut für Festkörperforschung. Die dritte und letzte Förderperiode geht jetzt zu Ende. Die gemeinsame Forschung in den letzten zwölf Jahren hat dafür gesorgt, dass Sensoren, Computer und Kommunikationstechnologien auf der Grundlage von Quantentechnologien keine Utopien mehr sind. „Häufig ist das, was bislang im Labor möglich ist, noch weit von einer technischen Anwendung entfernt“, sagt Pfau, der auch Sprecher des IQST ist. „Aber die Wissenschaft hat erkannt, dass sie die gesamte Kette von der Grundlagenforschung bis zum industriennahen Machbarkeitsnachweis mitdenken und erforschen muss.“

Zahlreiche Preise, internationales Renommee

Das IQST vereint hierfür geballte Kompetenz. Insgesamt sind 20 Stuttgarter und Ulmer Institute beteiligt mit 22 Professoren. Die Zahl der Wissenschaftspreise und Förderprogramme unter den Forschern des Zentrums ist hoch: vier Leibniz-Preise, zwei Max-Planck-Preise, zwei Humboldt-Professuren, 15 ERC



Hier ist der Aufbau für Atom-spektroskopie von atomaren Gasen bei Raumtemperatur zu sehen. Die Kunst ist, bei diesen vergleichsweise hohen Temperaturen Quanteneffekte herauszuarbeiten und nutzbar zu machen.

Grants und ein ERC Synergy Grants. Vier Forscher des IQST gehören zu den weltweit am meisten zitierten Wissenschaftlern. Damit sie alle unter möglichst optimalen infrastrukturellen Voraussetzungen experimentieren können, entstehen zwei Forschungsneubauten: Am Standort Stuttgart ist es das ZAQuant, das Zentrum für Angewandte Quantentechnologien, am Standort Ulm das ZQB, das Zentrum für Quantenbiowissenschaften.

Ein komplexes Beispiel für die Arbeiten am IQST schildert Prof. Peter Michler, Direktor des Instituts für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen (IHFG) an der Universität Stuttgart: „Wir forschen an Lichtquellen, die den Gesetzen der Quantenmechanik unterliegen, und wollen diese verwenden, um Biomoleküle mit einem Sensor nachzuweisen.“ Die Physiker in Stuttgart kooperieren dazu mit dem Team von Prof. Boris Mizaikoff, Leiter des Instituts für Analytische und Bioanalytische Chemie der Universität Ulm. „Wir sind die Experten für die Lichtquelle, die Ulmer Kollegen sind die Experten für den Biosensor“, sagt Michler. Die IHFG-Physiker fertigen ihre Lichtquellen aus Halbleitersystemen, indem sie sehr kleine dreidimensionale Strukturen erzeugen. Diese Strukturen, Quantenpunkte genannt, geben Licht ab, wenn ihnen Energie zugeführt wird. Allerdings

tun sie das nicht wie eine klassische Lichtquelle, die eine große Menge an Photonen, also Lichtteilchen, aussendet. Vielmehr geben die Quantenpunkte die Photonen einzeln ab – wodurch die „Beleuchtung“ weiterhin den Gesetzen der Quantenphysik unterliegt. „Wir schicken unsere Photonen in einen speziell gestalteten Wellenleiter, um verschränkte Photonenpaare zu erzeugen“, so Michler.

Effekte, die dem gesunden Menschenverstand widersprechen

Eine quantenmechanische Verschränkung ist eine Eigenschaft, die es gemäß der Alltagserfahrung gar nicht geben dürfte. Zwei verschränkte Photonen verhalten sich nämlich nicht mehr unabhängig voneinander, selbst wenn sie weit voneinander entfernt sind. Vielmehr wirkt sich eine Messung der Eigenschaften des einen Photons unmittelbar auf die Eigenschaften des anderen Photons aus. Inzwischen ist die Wissenschaft so weit, dass sie diesen Effekt makroskopisch – also sozusagen mit Alltagstechnik – nachweisen kann. Michlers Team stellt die verschränkten Photonen im Experiment den Ulmer Kollegen zur Verfügung, damit diese Biomoleküle nachweisen können. Kürzlich konnte Michlers Mannschaft erstmals einen quantenme-

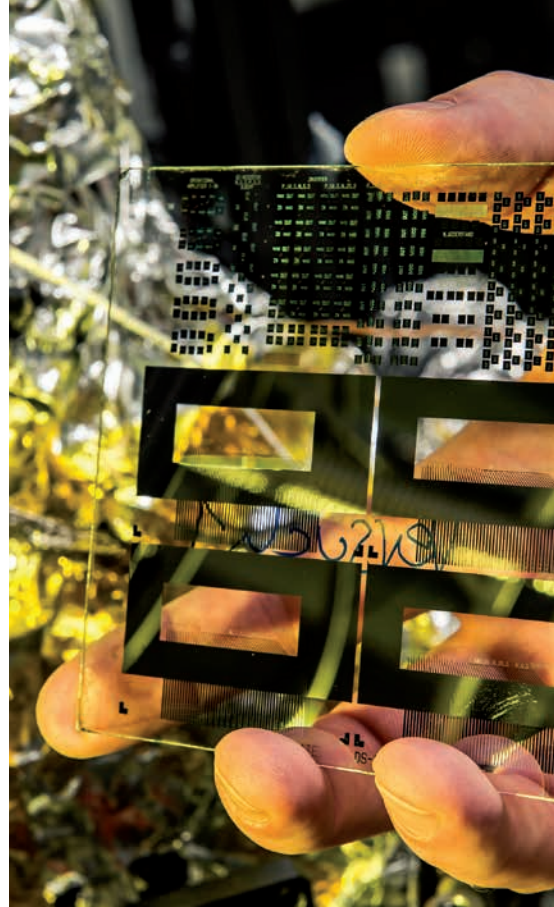


Foto: Max Kovalenko

chanisch verschränkten Zustand erzeugen, der noch empfindlichere Messungen ermöglichte, als es die Regeln der klassischen Physik erlauben. „Damit haben wir nachgewiesen, dass sich mit verschränkten Photonen, die aus Quantenpunkten erzeugt wurden, im Prinzip ein besserer Sensor aufbauen lässt als mit klassischem Licht, das zum Beispiel von einem Laser kommt“, sagt Michler. Ziel der Ulmer und Stuttgarter Arbeitsgruppen ist es, sowohl ihre Lichtquelle als auch ihren Sensor auf einen Chip zu integrieren. Es ist eine Vision – derzeit stehen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler noch ganz am Anfang. Für dieses Projekt ist, wie auch für alle anderen Projekte am IQST, Interdisziplinarität gefordert. Ein Schlagwort, das in der Wissenschaft schon länger sehr strapaziert wird. Trotzdem: Die nächste technologische Revolution wird nicht ohne die Zusammenarbeit über Fachbereichsgrenzen hinweg funktionieren. Jörg Wrachtrup verdeutlicht dies an einem plastischen Beispiel: Quantensensoren für die Neurochirurgie. „Die Idee ist hierbei, während eines Eingriffs bei einem Gehirntumor die lokale Aktivität des betroffenen Bereichs direkt im Kopf zu überprüfen.“ So könnte der Chirurg erkennen, was er noch entfernen muss und was nicht. Für diese Art der Diagnose ist ein hochempfindlicher

Für Strom gibt es schon viele integrierte Bauteile wie Schalter, Speicher etc. Für Licht müssen Bauteile erst entwickelt werden, um die quantenmechanischen Eigenschaften des Lichts zu nutzen.

Sensor erforderlich, der auf Quantentechnologien beruht, und ein Endoskop, um den Sensor an die gewünschte Stelle im Gehirn zu platzieren. „Wenn sie für diese Anwendung einen Prototyp entwickeln wollen, müssen Mediziner, Biologen, Ingenieure und Physiker zusammenarbeiten“, sagt Wrachtrup. Denn: Der Chirurg hat das Wissen für den Eingriff am Patienten. Der Biologe versteht, was auf Zellebene im Gewebe abläuft. Der Ingenieur integriert den Sensor und die erforderliche Elektronik in das Endoskop – konform zum Medizinproduktegesetz. Und der Physiker kann den Quantensensor entwickeln und hinsichtlich Auflösung und Empfindlichkeit charakterisieren. „Es ließen sich viele weitere Beispiele nennen“, so Wrachtrup, „warum wir ohne interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der anstehenden Quantenrevolution nicht weiterkommen.“

Berechtigte Hoffnungen auf Fördermittel

Gerade im Hinblick auf die fachübergreifende Zusammenarbeit ist die derzeitige Förderung des IQST durch die Universitäten Ulm und Stuttgart sowie das Land Baden-Württemberg wertvoll. Seit 2014 stehen für einen Zeitraum von fünf Jahren 750.000 Euro jährlich zur Verfügung, für Forschungsprojekte, die andernfalls durch das klassische Raster der Förderung fielen, wie Tilman Pfau erläutert: „Unser Ansatz am IQST bringt es mit sich, dass manches unkonventionelle Projekt bei der Förderung durch traditionelle Denkraster fällt.“ Durch die vorliegenden Geldmittel könne das IQST wichtige Impulse geben.

Pfau hofft auch, dass sich bei Fördermitteln für das IQST in der Zukunft noch einiges tut, unter anderem auch auf der europäischen Ebene. Denn auf Einladung der EU haben mehrere Autoren im Frühjahr 2016 ein „Quantenmanifest“ veröffentlicht. Es fordert die Europäische Kommission auf, eine breit angelegte Förderung für die – wie sie im Manifest genannt wird – „zweite Quantenrevolution“ aufzulegen. Von einem Flaggschiffprojekt ist die Rede,

Ionenstrahl-Therapiezentrum
Universitätsklinik Heidelberg

Landesfeuerwehrschule
Bruchsal

Besucherzentrum
Nationalpark Schwarzwald

Festungsruine
Hohentwiel

Universität
Freiburg

Holzenergie
Buchen

Hochschule für Technik
und Wirtschaft Asien

1. Jessica Alice Huth; 2. Achim Mende; 3. Bionda Mende; 4. Bionda Mende; 5. Johannes Vort; 6. Christian Richter; 7. Dietmar Strauß

Jessica Alice Hath: 2 Achim Maerfo: 3 Bloommanna: 4 Bionifa Gonzalo: 5 Johannes Vort: 6 Christian Buthare: 7 Dalmat Strauß

35.752 km², um sich selbst zu verwirklichen.

Informieren Sie sich jetzt über eine Karriere
als Ingenieurin oder Ingenieur,
Architektin oder Architekt unter
www.vermoegenundbau-bw.de

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



von Mitteln in Höhe von einer Milliarde Euro. Prof. Tommaso Calarco, Sprecher des IQST und einer der beiden Leiter des Instituts für komplexe Quantensysteme der Universität Ulm, war unter den sechs Verfassern des Manifests. Inzwischen haben mehr

als 3.600 Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft das 20-seitige Dokument unterschrieben. Kommt es zur EU-Förderung, wäre das IQST endgültig gut aufgestellt.

Michael Vogel

Kooperationen mit Industrie und ausländischen Universitäten

Unter dem Dach des Center for Integrated Quantum Science and Technology (IQST) ist auch die Allianz für Quanteninnovation angesiedelt. Das Programm wurde initiiert von Prof. Fedor Jelezko, Direktor des Instituts für Quantenoptik der Universität Ulm, und Prof. Jörg Wrachtrup, Direktor des 3. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart. „Von der Grundlagenforschung in der Quantentechnologie bis zu ihrer technischen Anwendung in der Entwicklungsabteilung eines Unternehmens ist es ein langer Weg“, so Wrachtrup. „Deshalb wollen wir die Zusammenarbeit mit der Industrie und mit internationalen Partneruniversitäten stärken.“ Das Herzstück des

Allianzprogramm ist eine Graduiertenschule, deren Doktoranden ihre Forschungstätigkeit am IQST mit Aufhalten bei den Kollaborationspartnern verbinden können. Das Programm startete im Herbst 2016. Auf Industrieseite sind die IQST-Kooperationspartner derzeit Bosch, Bruker BioSpin und Zeiss. Auf Hochschuleseite sind es die University of British Columbia in Vancouver, die Hebrew University in Jerusalem und die University of Tokyo. Zusätzlich zur Graduiertenschule der Allianz wird die Hebrew University weitere fünf Doktoranden finanzieren, die das IQST besuchen können. „Selbstverständlich sind wir offen für weitere Partner“, so Wrachtrup.

Mit Diamant zu kleineren Festplatten

Quantentechnologie erlaubt die Vermessung des Magnetfelds von Schreibköpfen im Nanobereich

Immer mehr Information auf immer weniger Fläche – so lautet seit Jahrzehnten der Trend bei der Speicherung digitaler Daten. Doch die Miniaturisierung ist an Grenzen gestoßen. An der Universität Stuttgart durchbricht man diese gerade.

Die erste IBM-Festplatte aus dem Jahr 1956 wog über eine Tonne und hatte bei einem Durchmesser von 61 Zentimetern eine Speicherkapazität von knapp 4 MB. Heute passen fünf Terabyte auf wenige Zentimeter – der Speicherplatz für ein einzelnes Bit beträgt noch 20 Nanometer, das ist Tausende Male kleiner als ein menschliches Haar. Doch für die im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung rasant wachsenden Datenmengen der Zukunft sind weitaus höhere Speicherdichten erforderlich.

Will man die Herausforderungen verstehen, muss man wissen, wie eine Festplatte beschrieben wird: Ein Bit wird gespeichert, indem der Schreibkopf, ein winziger Elektromagnet, einen Fleck auf der

Festplatte magnetisiert. Dabei muss er innerhalb von milliardstel Sekunden ein starkes Magnetfeld präzise anlegen, ohne benachbarte Bits zu überschreiben. Schon jetzt ist jedoch ein Bit weitaus kleiner als die Auflösung gängiger Mikrosensoren. Daher sind diese kaum noch in der Lage, genaue Daten über die Beschaffenheit des Magnetfelds zu liefern. „Neue Schreibköpfe können derzeit nur mithilfe von Simulationen nach dem Prinzip ‚trial and error‘ entwickelt werden“, erklärt Ingmar Jakobi, Doktorand am 3. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart. „Für die weitere Miniaturisierung ihrer Geräte ist die Industrie auf neue Sensoren angewiesen.“

Der 32-jährige Forscher gehört einer Gruppe um Prof. Jörg Wrachtrup an, der es erstmals gelungen ist, ein Schreibfeld auf der dafür erforderlichen Längenskala zu vermessen. Hierfür setzten die Physiker auf einen Stoff, der sonst eher beim Juwelier zu finden ist: auf Diamant. Genauer gesagt auf die Stickstofffehlstellen darin, die in hohen Konzentrationen einem Schmuckstein eine pinke Färbung verleihen. Diese Farbzentren sind atomare Störungen im Kristallgitter des Diamanten, bei denen ein Kohlenstoffatom durch ein Stickstoffatom ersetzt ist und ein benachbarter Gitterplatz leer steht. In dieser Struktur verfangen sich einzelne Elektronen, die mit ihrem Spin – also einem quantenmechanischen Elementarmagneten – sensibel auf Magnetfelder reagieren, ansonsten aber weitgehend von der Umgebung abgeschirmt sind. Das Verhalten des Spins wirkt sich auf die Fluoreszenz des Farbzentrons aus. Somit lässt sich ein Magnetfeld am Ort eines einzelnen Farbzentrons mit einem Mikroskop optisch auslesen.

Feldstärken bis zu Hunderten Millitesla messbar

Die Wissenschaftler um Wrachtrup rasterten im Experiment einen Festplattenschreibkopf schrittweise über die Oberfläche eines Diamantkristalls, in dem sich die Farbzentren dicht unter der Oberfläche be-

finden. Dabei konnten sie mit einem Farbzentrum Feldstärken von wenigen Mikrottesla bis zu Hunderten Millitesla messen – sowohl statische Felder als auch Wechselfelder mit Frequenzen bis zum Gigahertzbereich. „Das Einzigartige an unserem Magnetfeldsensor ist seine ‚Größe‘. Der Gitterabstand von Atomen in Diamant beträgt nur 150 Pikometer, das ist 1000-mal kleiner als der Pol des Schreibkopfs und 100-mal kleiner als ein Bit auf der Festplatte“, erklärt Ingmar Jakobi. Zudem sei der Sensor leicht handhabbar: „Da der Spin in der Fehlstelle gefangen ist, vermessen wir nur das Volumen eines Atoms, können aber die Position dank der Größe des gesamten Kristalls sehr einfach steuern. Die Auflösungen hängen dann nur davon ab, wie genau wir den Diamanten bewegen und wie dicht der Festplattenkopf auf der Oberfläche aufsitzt.“

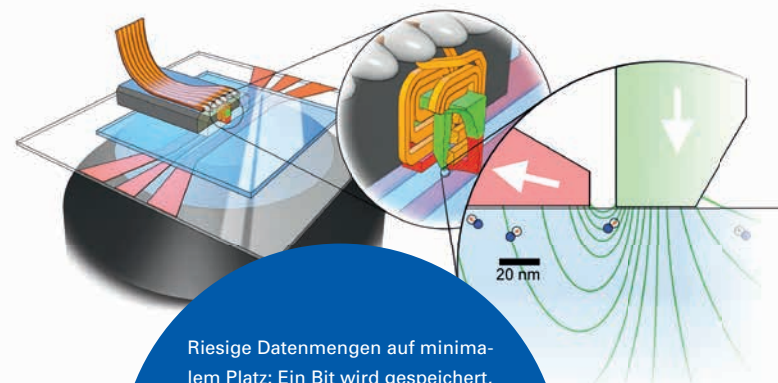
Das Projekt sei auch ein Vorzeigbeispiel für eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft, heißt es bei Seagate Technology, einem der führenden Hersteller von Festplatten: „Schreibköpfe sind darauf ausgelegt, gewaltige Magnetfelder auf kleinstem Raum zu erzeugen, um größtmögliche Speicherdichten zu erreichen. Diese Felder auch auf Nanometern vermessen zu können, ist eine großartige Entwicklung für unsere

Industrie“, sagt Dr. Fadi El Hallak, leitender Entwickler bei Seagate und Koautor der Studie.

Kernspintomografie an einzelnen Molekülen

Für Institutsleiter Jörg Wrachtrup sind die Ergebnisse, die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB/TR 21 erzielt wurden, ein wichtiger Schritt, um die Quantentechnologie einer weiteren praktischen Anwendung nahezubringen. Für das Forschungsgebiet selbst eröffnen sich Perspektiven, die weit über die Mikroelektronik hinausweisen, hofft Wrachtrup: „Die Ergebnisse zeigen, dass sich Schreibköpfe für unsere Experimente eignen und wir die außerordentlichen Eigenschaften des Schreibfeldes ausnutzen können. Der starke Gradient des Feldes könnte es uns zum Beispiel ermöglichen, mit Stickstofffehlstellen Kernspintomografie an einzelnen Molekülen zu betreiben.“ Derartige Folgeprojekte könnten in das internationale Zentrum für Angewandte Quantentechnologien ZAQuant an der Universität Stuttgart eingebunden werden, in dem Physik, Ingenieurwissenschaften und Industrie gemeinsam neuartige Quantensensoren bis zum einsatzfähigen Prototypen erforschen und entwickeln wollen.

Andrea Mayer-Grenu



Riesige Datenmengen auf minimalem Platz: Ein Bit wird gespeichert, indem der Schreibkopf einen 20 Nanometer großen Fleck auf der Festplatte magnetisiert. Dabei muss er innerhalb von milliardstel Sekunden ein starkes Magnetfeld präzise anlegen, ohne benachbarte Bits zu überschreiben.

Abbildung: Universität Stuttgart/3. Physikalisches Institut



Für die weitere Miniaturisierung ihrer Geräte ist die Industrie auf neue Sensoren angewiesen: Die Forscher an der Universität Stuttgart setzen hierbei auf den Stoff Diamant.

“It’s all about the students!”

Für Markus J. Buehler bringt die Investition in den wissenschaftlichen Nachwuchs die Forschung voran

Der Materialwissenschaftler Markus Buehler ist Dekan der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwesen am weltberühmten Massachusetts Institute of Technology (MIT) und hat dort die renommierte Mc-Afee-Professur inne. Im Interview stellt der Absolvent der Universität Stuttgart seinen Forschungsbereich vor – und zeigt auf, wie wichtig es für die Wissenschaft ist, sich über die Grenzen von Status, Institutionen oder Kulturen hinwegzusetzen.

? Herr Prof. Buehler, Ihre Forschung verbindet sich mit Schlagworten wie ‚Nanotechnologie an der Grenze zur Biologie‘, ‚Proteine wie Spinnweben‘ oder ‚Nachwachsender Stahl‘. Was verbirgt sich dahinter?

➤ Im Kern geht es bei unserer Forschung darum, neue Materialien zu erfinden und herzustellen. Unser großes Ziel am MIT ist es dabei, Nanotechnologie im täglichen Leben nutzbar zu machen, und zwar insbesondere für Materialien und Produkte, die in großen Mengen hergestellt werden können. Dabei spielt die Computersimulation eine große Rolle. Durch diese Arbeit können wir Atom für Atom ein neues Material im Computer virtuell optimieren und später im Labor herstellen. Letztlich ist dies der Kern der Vision des Physikers Richard Feynman aus den 1950er-Jahren, den gesamten Inhalt der Encyclopædia Britannica auf der Spitze einer Nadel zu speichern. Diese Vision beinhaltete auch die Manipulation von Materie mit atomarer Auflösung, um neue Phänomene zu erzeugen. Heute sind wir in der Lage, das zu erreichen. Eine der großen Herausforderungen ist es dabei, Modelle zu entwickeln, die von der Skala eines Atoms bis hin zur Struktur eines Bauteils oder Produkts über alle Zwischenstufen hinweg die Eigenschaften beschreiben, sogenannte mesoskopische Skalen, die das Verbindungsglied zwischen der Nano- und der Makroskala darstellen.

Viele unserer Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit biologischen Materialien wie Spinnenseide oder Knochen. Diese Materialien sind Beispiele dafür, wie die Natur multiskaliges Design verwendet, um besondere Materialeigenschaften zu erreichen, obwohl die zugrunde liegenden chemischen Bausteine nicht ideal sind. Auf diese Weise lassen sich zum Beispiel sehr harte und zähe Materialien herstellen, die aus dem gleichen chemischen Baustein bestehen wie Gelatine. Beispiele dafür sind die Sehnen in unserem Körper, Spinnenseide, die stärker ist als Stahl oder auch bestimmte Teile von Meereswürmern.

? Was sind Ihre nächsten Forschungsziele?

➤ Die Natur ist für uns Ingenieure eine unendliche Quelle der Inspiration. Aber wir kopieren die Natur nicht nur, sondern versuchen, es noch besser zu machen. In der Zukunft sehe ich interessante Möglichkeiten, nun auch „Leben“ in Materialien zu integrieren, zum Beispiel durch Erkenntnisse in der synthetischen Biologie. Hier arbeiten Biologen, Chemiker und Ingenieure zusammen, um biologische Systeme zu erzeugen, die in der Natur nicht vorkommen. So suchen wir zum Beispiel nach neuen Strategien, um aus nachhaltigen Materialien wie Proteinen, Holz oder anderen nachwachsenden Rohstoffen neue Produkte herzustellen, die heute mit großem Energieaufwand vorwiegend auf petrochemischen Weg hergestellt werden. Die Herstellung von Stahl und Zement zum Beispiel gehört zu den Prozessen, bei denen weltweit sehr viel CO₂ produziert wird. Mit dem Einsatz neuer Materialien könnte man diese Emissionen deutlich verringern. In meiner Funktion als Leiter der Abteilung Bau- und Umweltingenieurwesen beschäftige ich mich intensiv mit Strategien zur Lehre und Forschung. Daraus haben wir eine neue Ausrichtung der Fakultät entwickelt. Unsere Strategie ist auf ‚Big Engineering‘ ausgerichtet, die Integration von verschiedenen Disziplinen spielt dabei eine sehr wichtige Rolle.

? Sie sind 2005 als damals noch sehr junger Wissenschaftler in die USA gegangen. Wie unterscheidet sich die Forschung dort von der in Deutschland?

➤ Ich hatte in meiner Zeit am damaligen Max-Planck-Institut (MPI) für Metallforschung, dem heutigen Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, und an der Universität Stuttgart ein sehr gutes Umfeld – diese Periode hat mich sehr geprägt. Beste Bedingungen ergeben sich immer dann, wenn hochtalentierte Leute Voraussetzungen schaffen, die es jungen Wissenschaftlern erlauben, verschiedene Arbeitstechniken und Perspektiven kennenzulernen und Exzellenz zu entfalten. Das MPI war und ist ein starkes Zentrum der Materialwissenschaften. Wir hatten ständig Wissenschaftler aus der gesamten Welt zu Besuch und ich hatte das große Glück, ganz besondere Menschen als Mentoren kennenzulernen. Das System und die Kultur am Caltech, wohin ich nach meiner Dissertation als Postdoc gegangen bin, und später am MIT, sind jeweils sehr unterschiedlich. Am Caltech fand ich mich in einem Büro im zweiten Untergeschoss wieder, das ich mir mit anderen Postdocs und Studenten teilen musste. Also haben wir geschaut, möglichst viele Besprechungen in den Coffee-Shop zu verlegen und die kalifornische Sonne zu genießen. Überhaupt haben hier Studierende und Wissenschaftler viel und eng zusammengearbeitet, über die Grenzen von Herkunft oder Status und über verschiedene Fakultäten hinweg. Funding, das Aufbringen von Drittmitteln, war immer ein großes Thema – hier habe ich eine Menge gelernt. Die Methode, verschiedene Ideen in Projektvorschläge einzuarbeiten, erfordert Teamarbeit und führt in der Regel zu einem besseren Resultat.

? Das MIT zählt zu den besten Technischen Hochschulen der Welt. Was fasziniert Sie dort besonders?



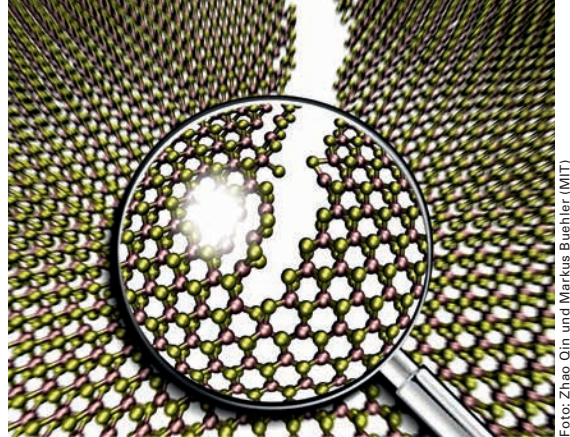
Will neue Materialien erfinden und herstellen: Der Stuttgarter Alumnus Markus J. Buehler forscht am berühmten MIT.

Foto: Alan Sillen

➤ Am MIT habe ich eine unbefristete Professorenstelle angetreten und ein eigenes Team aufgebaut. Ich habe sehr viel Zeit damit verbracht, mich mit den besten Wissenschaftlern auszutauschen, aus ihren Erfahrungen zu lernen und dann meine eigenen Visionen und Pläne zu entwickeln. Damals wie heute ist die größte Freude die Zusammenarbeit mit exzellenten Studenten, Postdocs und Kollegen am MIT. Es ist eine große Bereicherung, dass wir in der Gemeinschaft, in der wir an einer gemeinsamen Vision arbeiten, so vielfältig sind. Anders wäre unser Erfolg nicht möglich!

Die interdisziplinäre Arbeit ist hier sehr wichtig. Wir versuchen ständig, neue Ansätze zu finden und umzusetzen. Das lässt sich nur dann machen, wenn Leute aus verschiedenen Bereichen Hand in Hand arbeiten. Am MIT pflegen wir eine Kultur der offenen Türen. Es spielt also keine Rolle, ob man ein Studienanfänger oder Senior Professor ist, um den Austausch zu suchen. Nicht der Rang zählt oder das Erreichte, sondern das Potenzial. Das war für mich als junger Wissenschaftler am MIT wirklich großartig. Ich konnte meine Ideen realisieren, verfeinern und von den Kollegen profitieren, die schon mehr Erfahrung hatten. Nicht selten kamen die besten Ideen und innovative Konzepte aus der Reihe der Studenten. Wenn jemand eine gute Idee hat und andere davon überzeugen kann, dann ist es

Atomare Simulation der Ausbreitung eines Risses in MoS₂, einem kristallinen Sulfid des chemischen Elements Molybdän. Mit Hilfe solcher Simulationen lassen sich fundamentale Aspekte der mechanischen Eigenschaften von Materialien verstehen, da man die Ausbreitung der Risse betrachten kann, während chemische Bindungen reißen. Dabei entstehen neue Oberflächen.



selbstverständlich, gemeinsam an der Umsetzung zu arbeiten. Ich habe mich als Einwanderer in den USA willkommen gefühlt und immer gespürt, dass mir alle Möglichkeiten offen stehen. Auf der anderen Seite hat die individuelle Verantwortung in der amerikanischen Kultur ein starkes Gewicht, auch an der Universität.

❓ Was kann das deutsche Wissenschaftssystem vom amerikanischen lernen?

➤ Ich denke, ein sehr wichtiger Teil eines erfolgreichen Forschungs- und Lehrbetriebs sind die Menschen, die mit Passion und großem Engagement an ihren Zielen arbeiten – im Team und über disziplinäre Grenzen hinweg. Umgekehrt können auch die amerikanischen Universitäten von Deutschland lernen, etwa was die enge Zusammenarbeit mit der Industrie angeht, die insbesondere an der Universität Stuttgart hervorragend ist.

❓ Die USA erleben einen politischen Umbruch, der auch die Hochschulen tangiert. Im April fand ein 'March for Science' statt, für den sich auch deutsche Wissenschaftsorganisationen engagierten. Wie erleben Sie den Wandel?

➤ Jede neue Administration bringt Veränderungen mit sich, besonders wenn eine starke Neuorientierung stattfindet. Ich denke, es ist wichtig, dass alle Seiten offen miteinander kommunizieren und neue Wege finden, um Positives zu bewirken. Deutschland könnte zum Beispiel dazu beitragen, dass die Produktion in den USA vielleicht wieder eine größere Rolle spielt – und darin ist Stuttgart ja führend. Auch das Interesse am deutschen Ausbildungsmodell eröffnet Möglichkeiten zum Dialog. Der Austausch darf nicht abreißen, es müssen Gemeinsamkeiten aufgebaut und wiederbelebt werden. Ich bin sicher, dass die transatlantische Verbindung stark bleiben und weiterhin die Grundlage für viele neue Entwicklungen sein wird.

❓ Das MIT steht für eine Kultur der Exzellenz, ein Wert, um den auch in der deutschen Wissenschaftslandschaft – Stichwort Exzellenzstrategie – gerungen wird. Sehen Sie in dieser Initiative eine passende Strategie, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Wissenschaftsstandorts Deutschland zu erhöhen?

➤ Ja, ich denke die „Exzellenzstrategie“ ist eine gute Strategie. Selbstverständlich muss die Finanzierung nachhaltig gesichert sein und der Fokus muss darauf liegen, Toptalente zu binden. In den USA ist die Rekrutierung von Spitzenprofessoren fast so ähnlich wie die Rekrutierung von Fußballstars in Deutschland, inklusive Transferverhandlungen und Bleibeangeboten. Die besten Köpfe in der Wissenschaft werden nun in der ganzen Welt „gehandelt“. Es ist wichtig für den Standort Deutschland, dabei mithalten zu können und die besten Leute anzuziehen.

Wichtig ist, sich die Frage zu stellen, welches die fundamentalen Elemente von Exzellenz sind. Am Ende steht und fällt sie mit den Menschen, die sie mit Leben erfüllen. Darum braucht es eine Kultur, die es erlaubt, Individuen mit sehr verschiedenen Perspektiven zusammenzubringen, die an einem gemeinsamen Ziel arbeiten. Dabei ist die Diversität ein wesentlicher Aspekt, denn mit Leuten verschiedener Herkunft kann man wirklich etwas Besonderes aufbauen. Das ist ein explizites Ziel am MIT. Ein weiterer Fokus liegt auf dem ‚Impact‘: Die Verknüpfung fundamentaler Erkenntnisse soll in Produkte münden, die der Gesellschaft nutzen. Dieses Spektrum, von der Grundlagenforschung hin zur realen Anwendung, die Millionen von Menschen Nutzen stiftet, ist der höchste Anspruch am MIT, nicht nur die reine Wissenschaft oder Theorie.

❓ Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wird am MIT groß geschrieben und steht auch im Mittelpunkt des Programms



Molekulares Modell eines Spinnenproteins zur Untersuchung der Effekte von Salz-Ionen auf die Faltung und Stabilität. Im Hintergrund ist ein Modell eines Spinnennetzes gezeigt, das zur Untersuchung der mechanischen Eigenschaften benutzt wird. Die Illustration verbildlicht die Verbindung der molekularen zur makroskopischen Skala.

MISTI, dessen wissenschaftlicher Direktor Sie sind. Welche Ziele verfolgt das Programm?

➤ MISTI steht für „MIT International Science and Technology Initiatives“. Es wurde, wie so viele neue Projekte am MIT, als kleines Experiment geboren, das einige Professoren mit Japan unternommen hatten. Das Programm ist ein gutes Beispiel dafür, wie am MIT neue Initiativen entstehen – weniger in den Köpfen der Verwaltung, sondern eher als ‚Graswurzelbewegung‘. Die Idee hatte eine starke kulturelle Komponente. Ziel des japanischen Projekts war es, Studierenden zu ermöglichen, in einem anderen Land zu leben, fremde Kulturen zu erfahren und insbesondere zu lernen, wie dort Forschung funktioniert und Innovationen entstehen. Unsere Studierenden lernen zum Großteil die Sprache des Landes, in das sie reisen, sie besuchen Kurse über die Kultur und bereiten sich noch am MIT intensiv auf ihre Arbeit vor. Dieses Modell ist so erfolgreich, dass es mittlerweile auf viele andere Länder ausgeweitet wurde, auch Deutschland ist dabei. Aktuell gibt es mehr als 25 Programme mit Ländern auf dem gesamten Globus. Nahezu 1.000 Studenten gehen jedes Jahr ins Ausland, und es gibt mehr als 450 Partnerschaften mit Institutionen, Regionen und Ländern. In diesem Jahr feiern wir das 20-Jahre-Jubiläum mit MIT-Germany. Wir senden um die 70 bis 80 Studierende in verschiedenen Programmen nach Deutschland, die Praktika, Forschung, oder Unterricht an Gymnasien umfassen, zum Beispiel das Global Teaching Labs Program. Mit der Universität Stuttgart haben wir jetzt ein sehr erfolgreiches ‚Seed Fund Program‘ zur Erleichterung von Forschungs-k Kooperationen, das es Professorinnen und Professoren beider Universitäten erlaubt, zusammenzuarbeiten und Personal auszutauschen. Bislang konnten vier Projekte gefördert werden, der nächste Call for Proposals ist im September 2017. Diese neue Verbindung vom MIT nach Deutschland ist für uns von großer Bedeutung.

❓ Für das ‚Seed-Fund-Programm‘ mit der Universität Stuttgart haben Sie sich auch persönlich sehr eingesetzt. Was hat Sie motiviert?

➤ Der Aufenthalt in einem anderen Land ist ein unglaublich wichtiger Teil eines Studiums. Ich wollte es Studierenden in Stuttgart gerne ermöglichen, Zeit am MIT zu verbringen. Mich hat motiviert, dass es an der Uni Stuttgart eine starke Technologie-fokussierte Forschung gibt. Hier gibt es ausgezeichnete Studierende, die meiner Meinung nach sehr gut in das Klima am MIT passen. Im Gegenzug ist die Universität Stuttgart ein wichtiger Partner für das MIT, insbesondere durch die starke Verbindung zu Industrie und Weltunternehmen, die ja in Stuttgart zu Hause sind. Darüber hinaus ist der Mittelstand ein interessanter Bereich mit viel Potenzial.

❓ Sie sind als Alumnus mit der Universität Stuttgart bis heute eng verbunden, immer wieder hier zu Gast und holen Stuttgarter Nachwuchswissenschaftler an das MIT. Was geben Sie Ihrer ‚Alma Mater‘ mit auf den Weg?

➤ It's all about the students! Die Investition in die nächste Generation und in die Mitarbeiter ist das wichtigste Element. Junge Leute, die heute an die Uni kommen, sollen inspiriert und rasch in die Forschung involviert werden. Visionen organisch wachsen lassen und als Wissenschaftler und Professor vorwiegend ein Mentor und Lehrer für die nächste Generation zu sein, bringt eine Menge für die eigene Arbeit. Den größten Einfluss erreichen Wissenschaftler über den Nachwuchs, den sie ausbilden und fördern. Dadurch leben die Ideen nicht nur weiter, sondern bekommen neue Flügel. Die Universität sollte alles tun, um dies zu unterstützen und zu stärken.

Vielen Dank für das Gespräch!

Die Fragen stellte Andrea Mayer-Grenu

Den cleveren Lösungen der Natur auf der Spur

Leichte, aber stabile Knochen, gallertartige Bandscheiben, flexible Lianen: Die Natur bringt Materialien mit Eigenschaften hervor, die Materialforscher neidisch machen – und herausfordern. Im fakultätsübergreifenden Projekthaus „NanoBioMater“ der Universität Stuttgart arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, die Natur zu imitieren und technische Lösungen durch Einbau natürlicher Komponenten zu verbessern. Ihr Ziel: mit biologischen und synthetischen Bausteinen maßgeschneiderte Funktionsmaterialien für die Medizintechnik, Diagnostik und Umweltanalytik zu entwickeln. Der Name „NanoBioMater“ spricht für sich selbst: Nano steht für die submikroskopische Welt, in die Natur-, Material- und Ingenieurwissenschaftler eintauchen, „BioMater“ ist die Abkürzung für Biomaterialien und biobasierte Materialanteile, die sie entwickeln wollen. Wurden in bisherigen Kooperationen meist vor allem Proben für Messungen ausgetauscht, ist das von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte auf dem Campus der Universität in Stuttgart-Vaihingen auch ein realer Ort für Ideenaustausch und gemeinsame Experimente. Drei Teamleiter kümmern sich um das reibungslose Zusammenspiel aller an den interdisziplinären Projekten Beteiligten: Sie bündeln Kooperationen, bieten Zugang zur Infrastruktur der Partnerinstitute und organisieren regelmäßig Veranstaltungen. Wie etwa die alle zwei Jahre stattfindende internationale Konferenz und interdisziplinäre Summer School. 2017 ist es wieder so weit: Vom 27. bis 30. Juni reisen Wissenschaftler aus aller Welt nach Bad Herrenalb, um sich unter vielem anderen über Bio(inspirierte) Mineralisation für gestaltgebende und justierende Funktionsmaterialien, biologische nano- bis mesoskalige Baugruppen von Pflanzenviren bis hin zur chemischen Synthese, Verarbeitung und Integration von Hilfsstoffen bei weichen Hydrogelen auszutauschen – und damit den ausgeklügelten Lösungen der Natur wieder ein Stück näher zu kommen.

Martina Hönekopp

Curtis W. Frank · Polymer Interfaces and Macromolecular Assemblies,
› Stanford University

Steven Lommel · Plant Pathology, Red Clover Necrotic Mosaic Virus (RCNMV)
› NC State University, Raleigh

Qian Wang · Bionanotemplates für Anwendungen in Medizin und Materialwissenschaft
› University of South Carolina, Columbia

Tanja Weil · Polymerforschung, Präzisionsmakromoleküle und Hybridmaterialien
› Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz

Rainer Haag · Supramolekulare Chemie
› Freie Universität Berlin

Carole Perry · Biomolecular Materials Interface, Modellierung von Peptiden
› Nottingham Trent University

Ute Kaiser · Materialwissenschaftliche Elektronenmikroskopie
› Universität Ulm

Jens Friedrichs · Extrazelluläre Matrix und Hydrogel-Derivate
› Leibniz-Institut für Polymerforschung, Dresden

Dirk Schüler (I) · Mikrobiologie, Proteinmodifikation
› Universität Bayreuth

Thomas Scheibel (r) · Biomaterialien, Proteinmodifikation
› Universität Bayreuth

Günter Gauglitz · Analytische Chemie, Bio- und Chemosensoren
› Eberhard Karls Universität Tübingen

Fernando Ponz · Plant Virus Biotech
› INIA-UPM, Madrid

Steve Weiner · Biomineralisation
› Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

Universität Stuttgart
Internationale NanoBioMater Konferenz
27. bis 30. Juni
in Bad Herrenalb

Einsturzgefahr gebannt Bauingenieur Akanshu Sharma aus Indien macht Gebäude sicherer

Egal ob Erdbeben, Terroranschläge oder Explosionen: Bauwerke sollen ganz unterschiedlichen Gefahren standhalten. Der Bauingenieur Akanshu Sharma untersucht, wo Gebäude Schwachstellen haben und wie sie sich nachträglich gegen Erschütterungen, heftige Aufprälle oder Feuer wappnen lassen. Im Januar 2017 trat er an der Universität Stuttgart die Junior-Professur „Innovative Verstärkungsmethoden mit Befestigungen“ an. Gestiftet wird sie von der Unternehmensgruppe Fischer, dem Weltmarktführer für Befestigungstechnik.

Eine Serie von Erdbeben im Mittelitalien forderte 2016 über 300 Todesopfer, zerstörte zahlreiche Häuser und machte Zehntausende Bewohner obdachlos. Auch in Deutschland bebt die Erde mehrere Hundert Male pro Jahr – vor allem im Rheintalgraben, in der Region Schwäbische Alb und in der Umgebung von Gera. Meist sind es schwache Erschütterungen, die wir kaum registrieren. Durchschnittlich alle 30 Jahre treten auch hierzulande stärkere Erdbeben auf. Sie haben zwar keine katastrophalen Ausmaße, hinterlassen jedoch deutliche Spuren. Das schwerste eines solchen Bebens seit 1900 ereignete sich 1992: Das Epizentrum lag nahe des niederländischen Städtchens Roermond, die Stärke betrug 5,9 auf der Richterskala. Häuser wackelten, Schornsteine und Dachziegel fielen herab und Bäume stürzten um. Es entstand Sachschaden in Millionenhöhe. Eine einheitliche Erdbebengefährdungskarte für Europa aus dem Jahr 2013 zeigt, dass Erdbeben mit einer Stärke größer 6 auch für Deutschland nicht unwahrscheinlich sind. „In diesen Fällen wären viele Gebäude in den erdbebengefährdeten Regionen Deutschlands nicht sicher“, sagt Akanshu Sharma vom Institut für Werkstoffe im Bauwesen. Das gilt besonders für Gebäude, die vor 1980 gebaut wur-

den. Damals hatten Ingenieure die Gebäude noch nicht darauf ausgelegt, den mitunter gewaltigen horizontalen Kräften standzuhalten, die bei dem ruckartigen Hin und Her des bebenden Untergrunds auftreten. Der Bauingenieur kritisiert, dass selbst heute viele Deutsche die Erdbebengefahr für ihr Land nicht wahrnehmen. „In stärker erdbebengefährdeten Ländern wie Japan und USA, aber auch in Italien und Indien sind die Richtlinien für erdbebensicheres Bauen viel strenger“, sagt der 38-Jährige.

Risse – das Wo entscheidet

Heutige Häuser bestehen in der Regel aus einem Stahlbetonrahmen, in den die Decken und Wände eingebaut sind. Schwachstellen älterer Gebäude sind meist die Knotenpunkte in diesen Stahlbetonrahmen, also dort, wo senkrechte Säulen und waagerechte Balken aufeinandertreffen. Die größte Gefahr droht, wenn durch das Erdbeben eine tragende Säule des Gebäudes ohne Vorwarnung einknickt, sodass die Decke einstürzt und womöglich Menschen unter sich begräbt. „Unser Ziel ist, dass die Bewohner rechtzeitig rauskommen und überleben“, erklärt Sharma. Kleinere Risse im Balken seien akzeptabel, er dürfe sich auch durchbiegen. Hauptsache, der Zerfall kündigt sich an und das Gebäude stürzt nicht sofort wie ein Kartenhaus in sich zusammen. „Anders als bei normalen Gebäuden, erlauben wir bei Atomreaktoren keinerlei Risse, durch die nukleare Strahlung entweichen könnte“, erklärt der Inder, der in seiner Heimat als Bausicherheitsexperte beim Atomforschungszentrum BARC (Bhabha Atomic Research Centre) tätig war.

Hauptgrund für den Gebäudekollaps ist der Beton, der zwar hervorragend dem Druck schwerer Gegenstände standhält, aber bei Zug versagt. Ist der Rahmenknoten zudem nicht ausreichend mit einbetonierten Bewehrungsstäben aus Stahl verstärkt, kracht er zusammen. Im Vergleich zu Beton hat Stahl nämlich eine hohe Zugfestigkeit, lässt sich also

verformen, ohne dass er gleich bricht. Die empfindlichen Rahmenknoten in älteren Gebäuden können Ingenieure auch nachträglich noch erdbebensicher machen. Eine Möglichkeit, die Sharma in seiner Doktorarbeit an der Universität Stuttgart gefunden hat, sind Stahldiagonalen, montiert in die Innenecken des Rahmenknotens. Dadurch werden die Kräfte teils um den Rahmenknoten geleitet; Risse treten nicht mehr im Knoten, sondern allenfalls im Balken auf. Das funktioniert nach den Erkenntnissen von Sharma jedoch nur, wenn die Stahldiagonalen fest an den Beton angeschlossen sind.



Foto: Uli Regenscheit

Gewusst, wie: Schwachstellen beheben

Befestigte er einen Stahlwinkel mit diagonal aufgeschweißter Platte auf einen maßstabsgetreu nachgebildeten Rahmenknoten, so hing das Verhalten im Wesentlichen vom Verhalten des Befestigungsmittels ab. Als Befestigungsmittel verwendete Sharma beispielsweise Betonschrauben, Metallspreizdübel oder in das Bohrloch des Betons geklebte Verbunddübel. Sind diese für gerissenen Beton und seismische Belastung ungeeignet, so ergeben sich unerwünschte Versagensarten. „Es kann beispielsweise zu starken Verschiebungen des Befestigungsmittels kommen, die wiederum eine Schwächung der Stahldiagonalen bewirken“, hat Sharma beobachtet. Ob sich ein Befestigungsmittel für diese Anwendung eigne, lasse sich anhand der Daten aus der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung abschätzen, so der Experte. Ursprünglich hatten Forscher in Neuseeland die Idee, die Stahldiagonale über Gewindestangen in dem Stahlbetonrahmen zu befestigen, die sie komplett durch Balken und Stütze trieben. Der Vorteil bei Sharmas Lösung ist, dass der Rahmenknoten nur von innen zugänglich sein muss und die Decke nicht durchbohrt wird. Er hat auch numerische Modelle entwickelt, um das Versagen einzelner Bauteile im Detail am Computer studieren zu können, und Ingenieursmodelle, die sich in herkömmliche Ingenieursoftware integrieren lassen. Mit Letzteren können Ingenieure berechnen, ob ein bestimmtes Gebäude einem zukünftigen Erdbeben oder einer anderen Belastung aller Voraussicht nach standhalten wird. Dasselbe Szenario lässt sich am Computer anschließend auch mit verstärkten Rahmenknoten durchspielen. So können die Bauexperten berechnen, wie zum Beispiel die Stahldiagonale bemessen sein muss oder welche Befestigung am besten geeignet ist, um das Gebäude künftig erdbebensicher zu machen. „In der Literatur sind viele dieser Modelle vorhanden, aber die meisten sind für die alltägliche Anwendung zu kompliziert und erfordern einen

relativ großen Aufwand“, ist Sharmas Erfahrung. „Mich hat es immer schon fasziniert, wie wir es schaffen können, dass sich Baustrukturen unter bestimmten Bedingungen genau so verhalten, wie wir es wollen, und nicht komplett unvorhersehbar“, sagt Sharma, der schon als Heranwachsender mit seinem Vater, ebenfalls ein Bauingenieur, Hochhaus-Baustellen besuchte. Schließlich studierte auch der Sohn Bauingenieurwesen. Seine spätere Arbeit am indischen Atomforschungszentrum BARC liebte er. Doch Sharma musste auch feststellen: Mehr und mehr Zeit floss in Verwaltungsaufgaben, sodass er nur eingeschränkt forschen konnte. Schließlich wagte er vor neun Jahren das erste Mal den Sprung ins Ausland – und an die Universität Stuttgart. Dank einer indisch-deutschen Kooperation kam er zunächst als Gastwissenschaftler ans Institut für Werkstoffe im Bauwesen. Kurze Zeit später kehrte er für seine Doktorarbeit zurück, die er abwechselnd in Indien und am hiesigen Institut durchführte.

Bauboom versus Sanierung

„Im öffentlichen Dienst in Indien haben wir den Vorteil, dass wir die Versuche kostengünstig durchführen können und die Forschungsarbeiten hauptsächlich durch Eigenmittel finanziert werden. Andererseits bietet Deutschland ein sehr gutes Umfeld und mehr Freiheiten für die Forschung. Das bedeutet allerdings auch, dass man sich um die Finanzierung selber kümmern muss“, sagt Sharma. In Deutschland sticht ihm als Bauingenieur ein Unterschied besonders ins Auge. Sharma kommt aus einem Land, in dem dank des Wirtschaftsbooms inzwischen überall neue Gebäude aus dem Boden schießen und vielerorts Brücken und U-Bahn-Tunnel entstehen. Hierzulande sieht er Ingenieure hingegen mit völlig anderen Herausforderungen konfrontiert: „Die meisten Brücken und Bauten sind älter als 30 Jahre und zeigen erste Verfallserscheinungen. Sie müssen verstärkt und nach und nach erneuert werden“. Inzwischen

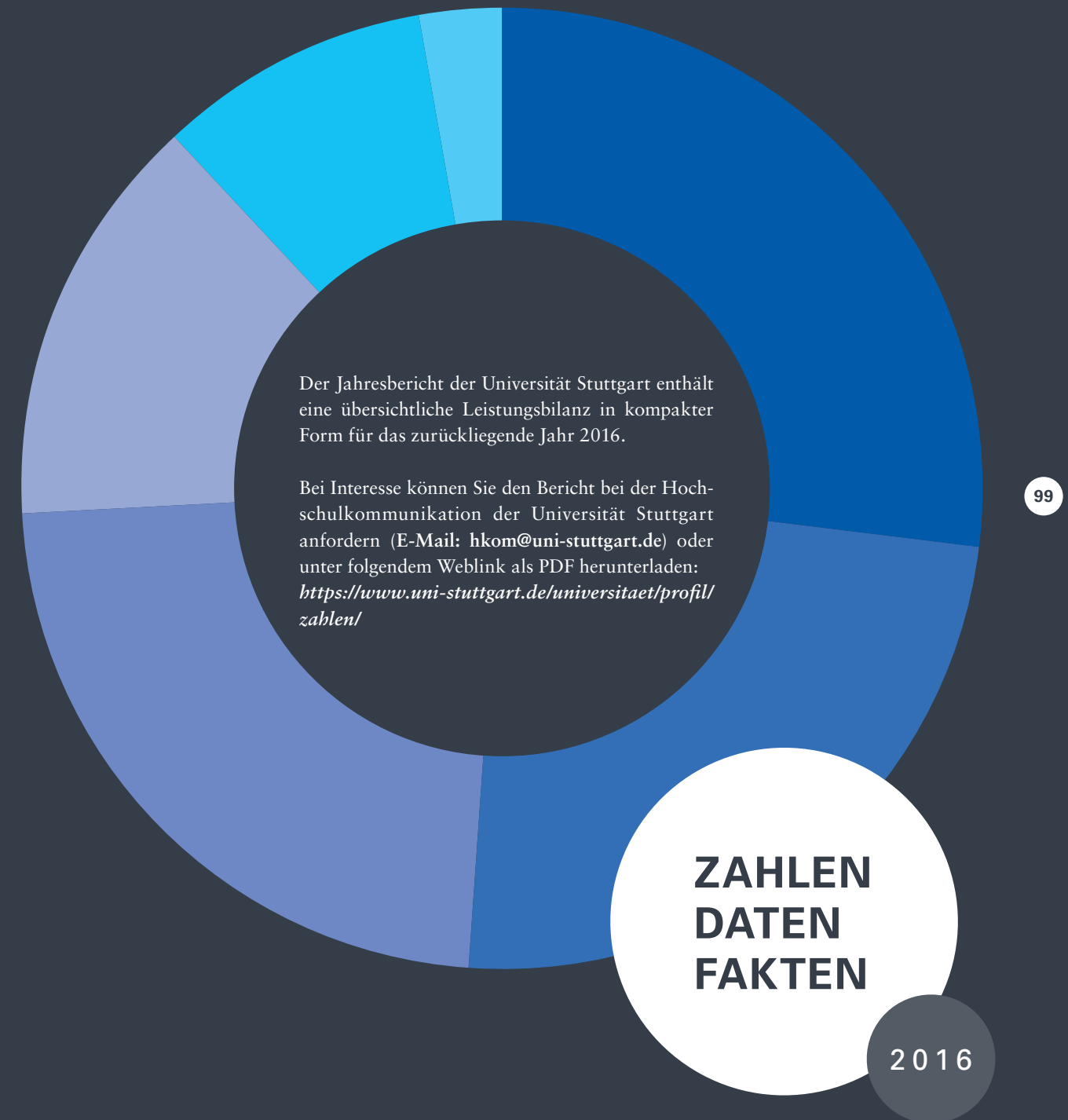
ist es vier Jahre her, dass Sharma die Zelte in Indien endgültig abgebrochen hat und mit der Familie nach Fellbach übersiedelt ist, um seine wissenschaftliche Karriere in Deutschland fortzusetzen. „Obwohl dies keine einfache Entscheidung für uns war, hatte ich die volle Unterstützung meiner Frau und meiner inzwischen elfjährigen Tochter“, sagt er. Als Gruppenleiter für Verstärkungen und Befestigungen beschäftigt sich Sharma mittlerweile auch damit, wie sich Stahlbetonkonstruktionen verhalten, wenn sie einem Brand oder einer Stoßlast ausgesetzt sind, sprich einem heftigen Aufprall. Über allem schwebt die Frage, wie sich Bauten an den Schwachstellen nachträglich verstärken lassen. Im Fokus der neuen Junior-Stiftungsprofessur stehen vor allem Befestigungen für Verstärkungsmaßnahmen – beispielsweise an maroden Bauten, Sharmas Spezialgebiet.

Erfahrung mit Befestigungstechniken

„Weltweit gibt es viele Wissenschaftler, die sich mit Verstärkungsmethoden auskennen, aber nur wenige haben Erfahrung mit Befestigungstechniken“, hat Sharma beobachtet. Einer, der sich bereits vor über 50 Jahren mit Befestigungen beschäftigte, war der Erfinder Artur Fischer, der mit seinem Fischer-Dübel weltweit bekannt wurde. Das von Fischer gegründete Unternehmen stellt in den kommenden sechs Jahren knapp 1,6 Millionen Euro für die Juniorprofessur an der Universität Stuttgart zur Verfügung. Rückblickend war der Wechsel von Indien nach Deutschland ein großer Schritt für Sharma, den er aber keineswegs bereut. Die anfänglichen Sprachprobleme sind weitestgehend überwunden, auch wenn er sich als eingefleischter Kinofan Filme immer noch lieber auf Englisch anschaut. „Wenn man sich eingelebt hat und die Sprache kann, ist das Leben hier sehr einfach“, meint Sharma. Einzig, dass die Läden sonntags geschlossen haben, daran hat er sich noch nicht so ganz gewöhnt.

Helmine Braitmaier

Jahresbericht Universität Stuttgart



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/



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



Universität Stuttgart

TAG DER WISSENSCHAFT

Die Universität Stuttgart
öffnet ihre Labortüren!

01.07.

2017

Vorbeikommen
Staunen
Lernen

13:00–19:00 Uhr
Campus Vaihingen

Informationen zu Studiengängen,
Aus- und Weiterbildung

Schüler-Campus mit Workshops
und Mitmach-Experimenten



Mehr Infos und
Programmheft unter:
www.uni-stuttgart.de/tag



Starten Sie auf der Überholspur des Daten-Highways

Hinter jedem komplexen und leistungsstarken Netzwerk auf der Welt verbirgt sich mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit ein einziges Unternehmen. Und das sind wir: Viavi. Mit weltweit über 3.300 Mitarbeitern entwickeln, unterhalten und perfektionieren wir Kommunikationsnetze rund um die Erde. Es sind unsere Innovationen und Lösungen, die neue Dimensionen in eine digitale Zukunft ermöglichen. Für unseren Standort in Eningen bei Stuttgart suchen wir:

- **Ingenieure Elektrotechnik (m/w) Soft- und Hardwareentwicklung**
- **Informatiker (m/w)**
- **Ingenieure (m/w) Marketing und Vertrieb**

Werden Sie Teil unseres Teams und starten Sie in Ihre Zukunft auf der Überholspur des Daten-Highways. Wir freuen uns auf Sie.

Viavi Solutions Deutschland GmbH · Herr Markus Schindler
Arbachtalstraße 5 · 72800 Eningen u.A. · Telefon 07121 86-1207
karriere@viavisolutions.com

www.viavisolutions.de

VI.VI