

# FORSCHUNG LEBEN

---



## DIGITALE GESELLSCHAFT

02 | 2014

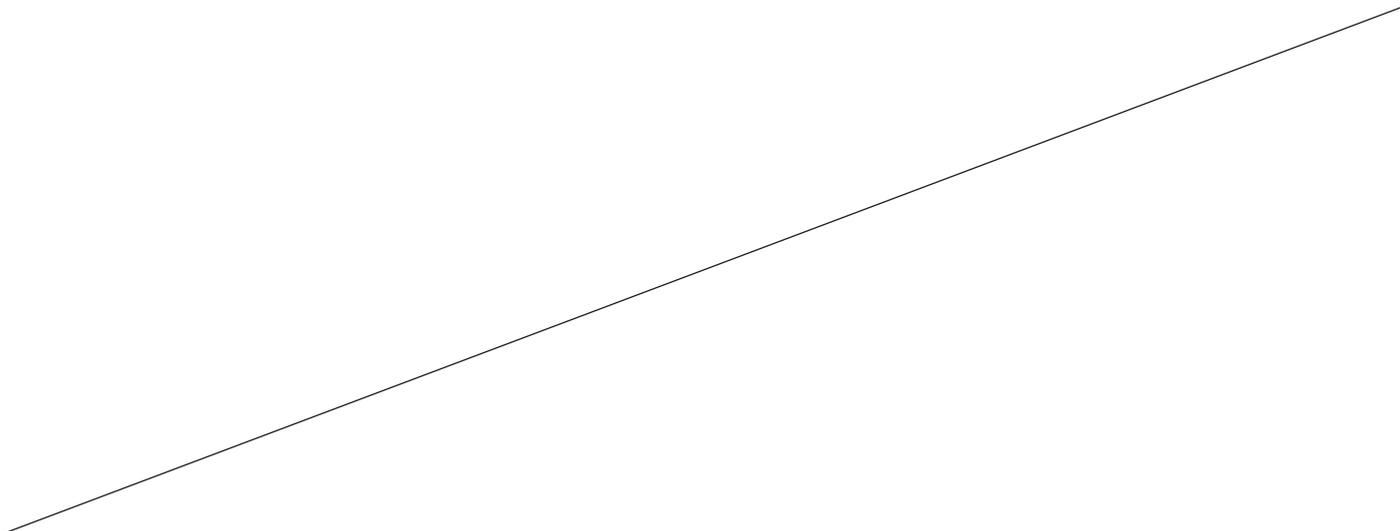
DAS MAGAZIN DER UNIVERSITÄT STUTTGART



Universität Stuttgart







Liebe Leserinnen,  
liebe Leser,



Wolfram Ressel  
Rektor der Universität Stuttgart

in der ersten Ausgabe unseres neuen Magazins der Universität Stuttgart habe ich an dieser Stelle das editorische Konzept von FORSCHUNG LEBEN vorgestellt und dabei pointiert: „Wir wollen künftig mit den Beiträgen in unserem Magazin Fragestellungen und Probleme aus der Gesellschaft aufgreifen und über Lösungsansätze aus dem vielfältigen Forschungsspektrum der Universität Stuttgart informieren.“

Sehr gefreut haben wir uns über die zahlreichen Rückmeldungen, die wir von Ihnen zum Relaunch des Magazins inzwischen erhalten haben. Wir konnten an diesem Feedback ablesen, dass es gelungen ist, Sie zu interessieren. Damit wir in den folgenden Ausgaben von FORSCHUNG LEBEN Ihr Interesse als Leser noch besser erreichen können, bitten wir Sie mit dieser zweiten Ausgabe erneut um Ihre Meinung. Senden Sie uns doch bitte den Fragebogen, der diesem Heft beiliegt, zurück. Unterstützen Sie uns damit auf dem Weg, FORSCHUNG LEBEN als ein von vielen Seiten beachtetes Magazin auszugestalten, das aus dem interdisziplinären Forschungsansatz der Universität Stuttgart heraus die „grand challenges“ der globalen Gesellschaft ins Visier nimmt.

Gemäß dem Motto des Wissenschaftsjahres 2014 hat das Redaktionsteam um Dr. Hans-Herwig Geyer und Andrea Mayer-Grenu in der vorliegenden zweiten Ausgabe von FORSCHUNG LEBEN das Thema „Digitale Gesellschaft“ in den Mittelpunkt gerückt. In den einzelnen Rubriken des Heftes behandeln die Autoren die Frage, wie uns die Digitalisierung als Individuum und als Gesellschaft verändert. Informieren Sie sich in der Rubrik „Wie soll das gehen?“ über die Spielregeln der digitalen Gesellschaft und fragen Sie sich in „Forschung erleben“ mit uns, wo der Mensch bleibt bei den tief greifenden Einwirkungen der Digitalisierung auf die Arbeitswelt.

Nur in einem nachhaltig gesicherten ökonomischen Rahmen kann sich Forschung für den Menschen Gewinn bringend entfalten und radikale technische und gesellschaftliche Veränderungsprozesse wie solche der Digitalisierung wissenschaftlich durchdringen. Lesen Sie hierzu auch die hochschulpolitischen Aussagen von Ministerpräsident Winfried Kretschmann und Wissenschaftsministerin Theresia Bauer in der Gast rubrik „Gemeint“.

Wir wünschen Ihnen wieder eine spannende Lektüre und freuen uns auf Ihre Meinungen!

Freiraum  
Editorial

03



**Wie soll das gehen?  
Grenzenlose Möglichkeiten?**

Die digitale Gesellschaft verändert den Arbeitsalltag in der Produktion ebenso tiefgreifend wie das Privatleben und Sozialverhalten. Doch sie muss ihre Spielregeln noch erfinden.



14

**Nachrichten**

ARENA2036 wächst weiter, die Stuttgarter Geisteswissenschaften erhalten einen Leibniz-Preis und Schüler lernen das Simulieren ...

08

**Patent**

**Theoretische Ingenieurskunst**

Frank Allgöwer erforscht die Dynamik komplexer Systeme und hat als Vizepräsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft auch in der Wissenschaftspolitik Gewicht.

20

**Gemeint**

**Zwischen Vision und Machbarkeit**

Hochschulpolitischer Dialog mit Winfried Kretschmann und Theresia Bauer

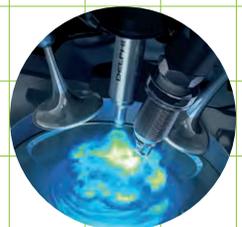


10

**Im Bilde**

**Es blitzt ein Tropfen ...**

Hinter der Lyrik die Technik: Im transregionalen Sonderforschungsbereich SFB-TR 75 untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler tropfendynamische Prozesse unter extremen Umgebungsbedingungen.



24



**Faktor X  
Cicero in Stereo und analysierende  
Maschinen**

Die Digitalisierung in den Geisteswissenschaften ermöglicht Historikern neue Antworten auf alte Fragen: Am Computer werden antike Redner hörbar, alte Landkarten vergleichbar und kollektive Identitäten nachweisbar.

**44**

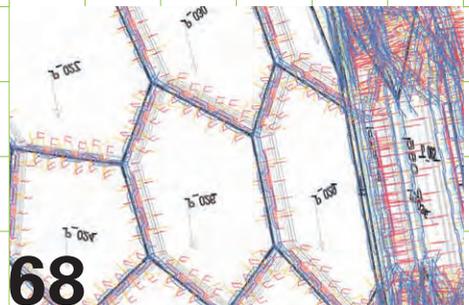
**RPM – Revolutions per Minute  
Forschungsergebnisse**

Flugzeuge werden leichter, Laser leistungsstärker und die Sommersonne kann bald auch im Winter wärmen.

**48**

**Futur 22  
Automatisierung des Individuellen**

Wenn beim Bauen der Computer die Regie übernimmt, entsteht eine neue Architektur.



**68**

**Satellit**  
Alumnus J. Menno Harms,  
Aufsichtsrats-Vorsitzender der  
Hewlett-Packard GmbH



**80**

**Forschung erleben**

Quantencomputer: Blitzschnell rechnen	<b>50</b>
Rechnen in der Wolke	<b>56</b>
Industrie 4.0 – wo bleibt der Mensch?	<b>60</b>
Ein Verkehrsknotenpunkt zum Wohlfühlen	<b>65</b>
Goldener Weg oder goldene Nase?	<b>71</b>
Gewebe per Strg+P	<b>74</b>
Verlässlichkeit statt Panikmache	<b>77</b>
Bewegung in Bits und Bytes	<b>84</b>
Intelligente Spitzenbewältigung	<b>88</b>

**Weltsicht  
Alumni weltweit**

Japans Architektur-Poetin Kazuyo  
Sejima überwindet die Vorstellung  
von Raum

**90**

**ps:  
more digits**

**95**

Der Moment, in dem Sie bei uns eine Wertschätzung erleben,  
die noch mehr über ZEISS sagt als alle Zahlen.

**Für diesen Moment arbeiten wir.**



// HERZ UND VERSTAND  
MADE BY ZEISS

ZEISS ist ein weltweit führendes Unternehmen der Optik und Optoelektronik mit rund 24.000 Mitarbeitern. Zusammen mit den Besten ihres Fachs arbeiten Sie hier in einem kollegialen Klima für technologisch bahnbrechende Produkte. Mitarbeiter von ZEISS stehen leidenschaftlich dafür ein, immer wieder etwas zu schaffen, das die Welt ein bisschen besser macht.

Starten Sie Ihre Karriere bei uns: [www.zeiss.de/karriere](http://www.zeiss.de/karriere)



We make it visible.

FORMING THE FUTURE



## WELTWEIT SPUREN LEGEN.

»Wir sprühen vor Ideen, die wir umsetzen möchten. Bei Schuler können wir das: Hier können wir unsere Ideen verwirklichen, Einzigartiges gestalten und weltweit unsere ganz persönlichen Spuren legen.«

*Hanna Junger, Schulerianer seit 2013*



Von der Motorhaube bis zur Spraydose: Seit 175 Jahren bringen Schuler Pressen Teile für die Industrie in Form und legen damit weltweit Spuren. So wie rund 5.500 Mitarbeiter, die mit Leidenschaft die Umformtechnik für die Welt von morgen entwickeln. Gehen Sie auf Spurensuche und entdecken Sie die abwechslungsreiche Arbeitswelt von Schuler. [www.schulergroup.com/karriere](http://www.schulergroup.com/karriere)



## ... aufgespießt

ZUWACHS BEI ARENA2036



© Storz Medienfabrik

Der Forschungscampus „ARENA2036“, der sich mit innovativen Themen zu Produktion und Leichtbau beschäftigt, konnte zusätzlich zu den Gründungsmitgliedern Universität Stuttgart, Daimler, Bosch, BASF, DLR, Fraunhofer, DITF Denkendorf, Bär Automotive und Dynamore zwei weitere hochkarätige Firmenpartner gewinnen. Darüber hinaus steht das Management unter der Leitung von Peter Froeschle mit zusätzlichen Interessenten in Verhandlungen. Um dem Wachstum der einzigartigen Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft gerecht zu werden, wird gegenwärtig der Neubau einer Forschungsfabrik auf dem Vaihinger Campus der Universität Stuttgart geplant, in der Wissenschaftler und Vertreter aus der Industrie Hand in Hand zusammenarbeiten.

**contactUS!** Mit der neu geschaffenen Schnittstelle contactUS! baut die Universität Stuttgart die Kontakte zur Wirtschaft aus. Damit erhalten insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) einen direkten Anlaufpunkt, der sie bei der Suche nach dem richtigen Ansprechpartner an der Universität Stuttgart unterstützt. Neben einem Überblick über die Forschungsschwerpunkte der Universität vermittelt contactUS! auch fachlich passende Kontakte zu Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern beziehungsweise Einrichtungen der Universität. Geplant sind zudem Treffen, bei denen Firmen die Möglichkeit haben, Institute und Forscher persönlich kennenzulernen. Umgekehrt können auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Einrichtungen der Universität Stuttgart, die Kontakt zu Unternehmen suchen, das Netzwerk von contactUS! nutzen.

## VOM ERSTEN FRAUEN-DIPLOM ZUM PRIMA!-PREIS

Vor genau 100 Jahren legte an der Universität Stuttgart die erste Frau ihren Diplomabschluss ab: Am 28. Januar 1914 erhielt Nora Kräutle (1891-1981) an der damaligen Technischen Hochschule Stuttgart ihr Diplomzeugnis für das Fach Chemie. Sie war damit zugleich auch eine der ersten Hochschulabsolventinnen an einer Technischen Hochschule in Deutschland. Aus diesem Anlass verlieh die Universität Stuttgart erstmalig den Prima!-Preis zur Ehrung herausragender Abschlussarbeiten von Absolventinnen der Uni Stuttgart. Erste Preisträgerin ist die Chemikerin Sinja Manck. Zum Jubiläum erschien die Festschrift „Die Anfänge des Frauenstudiums in Württemberg: Erste Absolventinnen der TH Stuttgart“ (Franz Steiner Verlag Stuttgart).





© Uli Regenschneit



Beim bundesweiten Girls' Day 2014 waren über 400 Schülerinnen an der Universität Stuttgart zu Gast. Sie machten virtuelle Moleküle sichtbar, programmierten einen Bildschirmschoner und entwarfen das eigene Traumzimmer. Dabei bekamen sie Einblicke in die Arbeit von Architektinnen, Ingenieurinnen, Natur- und Geisteswissenschaftlerinnen. Im Großraum Stuttgart war die Universität mit 32 Veranstaltungen und 428 Plätzen der größte Anbieter beim Girls' Day.

### LEIBNIZ-PREIS FÜR PROF. ARTEMIS ALEXIADOU

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat Prof. Artemis Alexiadou, Leiterin der Abteilung Anglistik am Institut für Linguistik der Universität Stuttgart, den Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Preis zuerkannt. Die Auszeichnung der DFG, die auch als „deutscher Nobelpreis“ bezeichnet wird, gilt als der wichtigste Forschungspreis in Deutschland und ist mit 2,5 Millionen Euro dotiert. Alexiadou wird als herausragende und weltweit anerkannte Sprachwissenschaftlerin ausgezeichnet. Sie erhält den Leibniz-Preis für die „Weiterentwicklung von Modellen und Theorien zum menschlichen Sprachverständnis“.

Ausgezeichnet ...

### SIMULATIONEN FÜR JUGENDLICHE

Das Projekt „Simulierte Welten“, eine gemeinsame Initiative des Karlsruher Instituts für Technologie sowie des Höchstleistungsrechenzentrums und des Instituts für Sozialwissenschaft der Universität Stuttgart, erreichte bei dem von der Robert Bosch Stiftung ausgerufenen bundesweiten Wettbewerb „Schule trifft Wissenschaft“ den 2. Platz. Geehrt wurden herausragende Projekte, in denen Lehrer und Wissenschaftler gemeinsam neue Wege gehen, um Schüler für Naturwissenschaften und Technik zu begeistern. „Simulierte Welten“ hat sich das Ziel gesetzt, den Widerspruch zwischen mangelnder öffentlicher Sichtbarkeit und gesellschaftlicher Bedeutung computergestützter Simulationen zu überbrücken. Mit der Programmiersprache Scratch können die Schülerinnen und Schüler selbst Billard- und Minigolfspiele programmieren und so erfahren, wie man Theorie und Praxis miteinander verknüpft.

Ausgezeichnet ...

### NEUES FORSCHUNGSZENTRUM „TEXT STUDIES“

Die Universität Stuttgart hat ein „Stuttgart Research Centre for Text Studies“ gegründet, das sich interdisziplinär den Forschungspraktiken und -theorien der mit Text arbeitenden Wissenschaften widmet und dabei geistes- und technikkwissenschaftliche Ansätze verbindet. Das SRC Text Studies erforscht drei Schwerpunkte: die Hermeneutik der Textwissenschaften (Autorbegriff, Analyse- und Interpretationskonzepte), Digital Humanities in den Textwissenschaften (digitale Editionen, Entwicklung und Reflexion von Tools) und die „Material Studies“ der Textwissenschaften. Hierbei geht es um die Verbindung von maschinengestützten und nicht-maschinengestützten Praktiken und Arbeitstechniken am „Material Text“ in Archiv, Museum und Forschung. Das SRC Text Studies will auch in das kulturelle Umfeld der Stadt Stuttgart und ihrer Region hineinwirken, in der zahlreiche hochrangige Archive, Bibliotheken und Museen beheimatet sind.



© Uli Regenschneit

## Politik trifft Wissenschaft

### Zwischen Vision und Machbarkeit

**Die nachhaltige Entwicklung in allen gesellschaftlichen Bereichen als Grundvoraussetzung für die Innovationsfähigkeit des Landes gehört zu den strategischen Zielen der baden-württembergischen Landesregierung. So lag es nahe für Ministerpräsident Winfried Kretschmann und Wissenschaftsministerin Theresia Bauer, sich im Dialog mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Studierenden über die Vielfalt der nachhaltigen Forschung an der Universität Stuttgart zu informieren. Im Mittelpunkt der Gespräche im Dezember 2013 standen die Rahmenbedingungen gesellschaftsrelevanter Forschung im Spannungsfeld ökonomischer Restriktionen sowie hochschulpolitische Themen. In FORSCHUNG LEBEN fassen wir drei zentrale Aspekte zusammen.**

**?** Welche Bedeutung haben die Universitäten aus Sicht der Landesregierung für die Zukunftsentwicklung von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft und wie soll sich dies angesichts rasant gestiegener Studierendenzahlen und seit Jahren gedeckelter Finanzen im Solidarpakt III niederschlagen, der 2014 verhandelt wird?

**➤** Kretschmann: Universitäten tragen in hohem Maße Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung in allen gesellschaftlichen Bereichen und damit für die Innovationsfähigkeit des Landes. Sie widmen sich drängenden Fragen unserer Zeit und geben Impulse, die alle Lebensbereiche durchdringen. Damit sind sie die kreative Kraft, die eine Gesellschaft voranbringt. Auch in der Wirtschaft ist der Fortschritt wissenschaftsbasiert, das gilt für Großunternehmen ebenso wie für den Mittelstand, der vom Wissenstransfer profitiert.

Bildung und Wissenschaft sind vor diesem Hintergrund heute die „harten Themen“ der Politik, auch wenn dies noch nicht immer ausreichend erkannt wird. Das Land Baden-Württemberg zeigt sich deshalb als verlässlicher Partner der Hochschulen, zu denen wir als Landesregierung ganz bewusst regelmäßige Kontakte pflegen.

Maßgeblich für den Erfolg der Forschung ist, dass sie sich über die Grenzen der Fachgebiete hinweg und frei von Ressortdenken entfaltet. Deshalb ist es sehr spannend, wenn sich die Universität Stuttgart, die ja aus einer Technischen Hochschule heraus entstanden ist, gesellschaftlichen Fragen wie etwa der demographischen Entwicklung zuwendet. Von der Interdisziplinarität in der Wissenschaft kann die Politik noch lernen.

**➤** Bauer: Wir müssen insgesamt mehr in Bildung investieren, das betrifft auch die Hochschulen. Diese Probleme sind uns bewusst, aber nicht ohne weiteres lösbar. Immer neue Rekorde bei den Studierendenzahlen sind eine riesige Aufgabe, die ohne eine auskömmliche Finanzierung der Hochschulen nicht zu bewältigen ist. Bei den Verhandlungen für die Nachfolge des Solidarpakts II werden wir das berücksichtigen. In Zukunft wird unser Augenmerk jedoch zusätzlich deutlich mehr auf Qualitätsaspekten liegen.

**?** Im Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung ist die Forschungsförderung kein großes Thema und die wenigen präzisen Aussagen beziehen sich in hohem Maße auf außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Die Universitäten werden nur am Rande erwähnt – was kann das Land Baden-Württemberg zu deren Stärkung beitragen?

**➤** Kretschmann: Tatsächlich ist nicht generell zu wenig Geld im Wissenschaftssystem, das Problem



© Staatsministerium Baden-Württemberg

## „Von der Interdisziplinarität in der Wissenschaft kann die Politik noch lernen.“

Winfried Kretschmann, Ministerpräsident  
des Landes Baden-Württemberg.

## „Lebenslanges Lernen erfordert ein enormes Umdenken in der Arbeitswelt, aber auch an den Hochschulen.“

Theresa Bauer, baden-württembergische  
Wissenschaftsministerin.



© MWK/Regenscheit

liegt in der Verteilung. Derzeit sind die ‚Arterien‘ – das sind die vorwiegend aus Bundesmitteln finanzierten außeruniversitären Forschungseinrichtungen – gut ausgestattet, das ‚Herz‘ – die länderfinanzierten Universitäten – dagegen etwas zu schwach. In den vergangenen Jahren ist diese Schere weiter auseinandergegangen, weil der Pakt für Forschung und Innovation den „Außeruniversitären“ satte Zuwächse beschert hat, während die Grundfinanzierung der Universitäten seither bei steigenden Studierendenzahlen stagniert. Das muss im Rahmen der Neuordnung der Finanzbeziehungen zwischen Bund und Ländern korrigiert werden. Es geht darum, die Finanzmassen nach Deckungsbedürfnissen auszuhandeln. Eine Bundesuniversität, wie sie für die Zeit nach dem Auslaufen der Exzellenzinitiative ab 2017 diskutiert wird, sehen wir aber skeptisch.

➤ Bauer: Das Modell „Bundesuniversität“, man denkt wohl an fünf bis sechs Standorte, würde für Baden-Württemberg Gefahren bergen. Ich

bezweifle, dass eine solche Auswahl von Zentren in erster Linie nach Exzellenzgesichtspunkten erfolgen würde. Andere politische Kriterien könnten da nicht außen vor bleiben. Baden-Württemberg würde kaum in dem Ausmaß berücksichtigt, das der Qualität und Stärke der hiesigen Hochschullandschaft entspricht. Daher ziehe ich Finanzierungsinstrumente jenseits einer solchen Leuchtturmpolitik vor. Mit der Förderung exzellenter Spitzenforschung und breiter angelegten Kooperationen lassen sich sehr spannende Dinge vorantreiben. Man kann auch durch die Zusammenlegung von Einzelleistungen und Programmen Geld in die Grundfinanzierung umschichten und den Universitäten so mehr Freiheit verschaffen.

❓ Die Umstellung der Studiengänge auf das Bachelor-Master-System (Bologna-Reform) führte zu Studienplänen, die vielfach als stofflich überfrachtet, zeitlich eng und „verschult“ wahrgenommen werden. Wie sollen unter diesen Bedingungen Absolventen heranreifen, die unabhängig denken

**und vernetzend handeln können, und wie passt die Verkürzung der Studiendauer mit dem Ideal des lebenslangen Lernens zusammen?**

► Bauer: Durch die stärkere Strukturierung ist das Studium tatsächlich engmaschiger geworden. Dennoch halte ich es für grundsätzlich richtig, den zehensemestriigen Rahmen beizubehalten, schon um Wildwuchs in einzelnen Fachgruppen zu vermeiden. In der Umsetzung jedoch ermutige ich die Universitäten zur Gelassenheit, die Regelstudienzeit nicht als Wettlauf um jeden Preis zu sehen. Die Prüfungsenge und den Stress sollte man herausnehmen. Leistungsnachweise kann man auch in anderer Form erbringen. Die Hochschulen werden da weiter ihre Erfahrungen auswerten und das richtige Maß finden.

Im Übrigen bedeutet eine Regelstudienzeit von zehn Semestern, das Studienprogramm so zu konzipieren, dass es in zehn Semestern studiert werden kann – und keineswegs, dass jeder in dieser Zeit sein Studium abschließen muss. Ein Engagement außerhalb des eigentlichen Studiums, sei es in der Fachschaft oder in einem Chor, erweitert ja nicht nur den Horizont, sondern verbessert auch die Berufschancen.

Und nicht zuletzt heißt lebenslanges Lernen ja nicht lebenslanges Dauerlernen. Es geht nicht darum, gleich am Anfang einen Bildungsrucksack vollzupacken, der dann für das ganze Leben reicht. Stattdessen kehren Absolventen während der Berufstätigkeit

wieder an die Hochschule zurück, und packen etwas hinzu, indem sie sich auf der Basis ihrer beruflichen Erfahrung etwas Neues erarbeiten. Das erfordert ein enormes Umdenken in der Arbeitswelt, aber auch an den Hochschulen, wo die wissenschaftliche Weiterbildung noch viel stärker etabliert werden muss. Hier stehen wir erst am Anfang.

► Kretschmann: Angesichts der drängenden Zukunftsfragen in Wirtschaft und Gesellschaft ist es wichtig, dass junge Menschen nicht nur Fachwissen anhäufen, sondern auch lernen, den eigenen Kopf selbstständig zu gebrauchen und Verantwortung zu übernehmen. Ich bin sehr beeindruckt von einem umfassenden Bildungsbegriff, der auf die Entwicklung gereifter Persönlichkeit abhebt. Man kann natürlich die Frage stellen, inwieweit dies auch die Aufgabe einer Universität ist.

Mit Blick auf die Studiendauer muss auch berücksichtigt werden, dass ein Studium in Deutschland – ganz im Gegensatz zu anderen Ländern – in der Regel gebührenfrei ist. Unter dieser Maßgabe darf man strenger sein. Der Bologna-Prozess impliziert, dass wir endlich wegkommen von dem Gedanken „was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“. Statt Bachelor/Master kann die Kette also durchaus auch Bachelor – Berufspraxis – Master lauten. Angesichts des dramatischen Wandels des Wissens in unserer Welt müssen wir kontinuierlich Module einführen, die ein Weiterlernen ermöglichen.



Politik trifft Forschung (v.r.n.l.):  
Wissenschaftsministerin Theresia Bauer, Rektor Prof. Wolfram Ressel, Ministerpräsident Winfried Kretschmann, Prof. Nejila Parspour, Prof. Jörg Wrachtrup, Prof. Frank Allgöwer, Prof. Sandra Richter und Prof. Ortwin Renn.

## Spitzenforscherinnen und -forscher im Dialog

**Prof. Ortwin Renn**, Institut für Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart, unterstrich die Notwendigkeit der interdisziplinären Zusammenarbeit bei Forschungsprojekten, die nachhaltige Entwicklung fördern: „Wichtig ist die Erforschung der Wechselwirkungen zwischen technologischer Entwicklung, organisatorischer Steuerung und individuellem beziehungsweise kollektivem Verhalten. Innerhalb der Universität Stuttgart wurde mit dem Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS) eine neue Plattform geschaffen, wo Grundlagenforschung und angewandte Forschung zur Wechselwirkung zwischen technischem und sozialem Wandel ihre Heimat gefunden haben. Ein weiteres Beispiel ist die neu geschaffene Helmholtz-Allianz zur Erforschung der Energiewende.“

**Prof. Jörg Wrachtrup**, 3. Physikalisches Institut der Universität Stuttgart, berichtete aus dem Bereich Quantencomputing und -kommunikation: „Unsere Forschung zielt auf ein vollkommen neues und sehr effizientes Verfahren zur Informationsverarbeitung und Informationsübertragung ab. Die Anwendungen beschränken sich aber nicht nur auf diesen Bereich, sondern erstrecken sich auch auf die Sensorik bis zur medizinischen Diagnostik, Bildgebung sowie Früherkennung von Krankheiten wie zum Beispiel Krebs.“

**Prof. Nejila Parspour**, Institut für Elektrische Energiewandlung der Universität Stuttgart, gab einen Überblick über neueste Entwicklungen der e-Mobilität: „An unserem momentan sehr stark im Wachstum begriffenen Institut

für Elektrische Energiewandlung wird an der Entwicklung von hocheffizienten Motoren und Generatoren sowie an kabellosen induktiven Energieübertragungssystemen geforscht. Die Ergebnisse dieser Arbeiten fließen ein in innovative und praxisnahe Entwicklungen, wie etwa induktive Ladesysteme und Radnabenantriebe für Elektrofahrzeuge sowie energieoptimierte, robuste Antriebe für Windenergiesysteme und Industrieautomation.“

**Prof. Sandra Richter**, Institut für Literaturwissenschaft der Universität Stuttgart, referierte über die Chancen der Digitalisierung von Kulturgütern am Objekt Text: „Texte sind nützlich, schön und bewahrenswert, zumeist jedenfalls. Ihre nachhaltige Erschließung in ihrer materiellen und digitalen, global sichtbaren Form ist unser wichtigstes Ziel.“

**Prof. Frank Allgöwer**, Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik der Universität Stuttgart, hob den Wert der engen Verknüpfung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung hervor und wies unter anderem auf die Erfolge des interdisziplinären Exzellenzclusters „Simulation Technology“ hin. „Durch die enge Zusammenarbeit von Ingenieuren, Natur- und Sozialwissenschaftlern im Exzellenzcluster können Fragen der Nachhaltigkeit aus einer Systemperspektive betrachtet werden. Dies erlaubt ganzheitliche Lösungen, zum Beispiel in Zusammenhang mit smarten Energieverteilungssystemen, im Umweltbereich oder in der Systembiologie.“

*red*

## Grenzenlose Möglichkeiten?

Die digitale Gesellschaft muss ihre Spielregeln noch erfinden

**Das Bundesforschungsministerium hat das Jahr 2014 zum Wissenschaftsjahr „Die Digitale Gesellschaft“ ausgerufen. Doch wer sich anschaut, woran Informatiker arbeiten und wie digitale Technik unseren Alltag bestimmt, erkennt: Es handelt sich nicht um ein Jahr der digitalen Gesellschaft, sondern um ein Jahrhundert – mit Vor- und Nachteilen. Was Computer-Technik in den nächsten Jahren ermöglicht, erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Stuttgart unter anderem im Exzellenzcluster Simulation Technology (SimTech). Ihre Erkenntnisse werfen neue Fragen auf.**

---

Den Industrie-Arbeitsplatz von morgen hat der Informatiker Markus Funk entwickelt: Das System besteht aus zwei Kameras über und auf der Arbeitsfläche sowie einem Projektor, erklärt der wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS). Jederzeit weiß der angeschlossene Computer, wo sich die Hände des Arbeiters befinden und was sie tun. Greift der zur falschen Schraube, bekommt er ein rotes X auf die Hand projiziert. Und, falls nötig, die Aufbauanleitung auf den Tisch. Will der Monteur den nächsten Schritt sehen, blättert er die Anleitung mit Gesten weiter. Bei Problemen betätigt er den projizierten Not-Aus-Knopf. „Es geht darum, Arbeiter während des Arbeitsprozesses zu unterstützen“, erklärt Funk. 2015 soll in einer Behinderterwerkstatt erstmals der Arbeitsplatz der Zukunft installiert werden. Auch Ausbildungsbetriebe könnten ihn verwenden. Denn der Meister muss den Montagevorgang nur einmal vormachen. Anschließend kann das System die Lehrlinge einweisen und kontrollieren, weil es durch Zuschauen gelernt hat.

Das Beispiel zeigt: Die digitale Gesellschaft verändert den Arbeitsalltag in der Produktion ebenso tiefgreifend wie das Privatleben und Sozialverhalten. Wir befinden uns mitten in der dritten großen gesellschaftlichen Revolution der Menschheitsgeschichte – nach dem Übergang von der oralen zur schriftlichen Kultur und dem zur Massenkommunikation mit Erfindung des Buchdrucks. „Über diesen Umbau hat keiner diskutiert“, sagt Prof. Albrecht Schmidt, Leiter der Abteilung Mensch-Computer-Interaktion am VIS, aber: „Ich glaube, aufhalten lässt sich dies nicht. Denn alles, was uns cleverer macht, werden wir tun.“ Konkret geht er etwa davon aus, dass die Menschen in wenigen Jahren alle ihre Aktivitäten aufzeichnen – einfach, weil es geht, zum Beispiel mit einer Brille wie Google Glass. Die gesamte „Datenmenge eines Lebens“ betrage etwa ein Petabyte, so Schmidt. Die sei auf heutigen Festplatten bereits zu speichern. „Im Moment dokumentieren wir noch selektiv.“ Aber je einfacher die Medien würden, desto mehr werde aufgenommen. Dies belegt die massenhafte Zunahme von Fotos und Videos durch Handys. „Und dann geht man noch einen Schritt weiter und stellt alles, was nicht geheim ist, anderen zur Verfügung“, erwartet Schmidt. Der Wissenschaftler sieht darin einen enormen Gewinn für die Gesellschaft und nennt ein Beispiel: Wer einen Fahrradreifen wechselt, zeichnet diese Tätigkeit auf. Andere können sich das Video als Anleitung anschauen. So gibt es für jeden verfügbar Anleitungen zu einfach allem, vom Schuhe Putzen bis zur Operation. Doch die Gesellschaft wird dadurch auch mit neuen Fragen konfrontiert, so Schmidt: „Was heißt Lernen dann noch? Wenn ich heute zehn Abiturienten habe und gebe denen eine beliebige Aufgabe, wären sie in der Lage, diese zu lösen.“ Allein aufgrund der Informationen, die im Internet verfügbar sind. „Im

Yomna Abdelrahman, wissenschaftliche Mitarbeiterin am VIS, demonstriert die Interaktion mit dem Computer unter Nutzung von Wärmereflektion.

Englischen haben wir den Begriff ‚Augmenting the Human‘, also die Fähigkeiten des Menschen erweitern, nicht ersetzen“, sagt Schmidt – kognitiv, motorisch, in allen Bereichen. Die digitale Gesellschaft führt für ihn am Ende zu einer Abwägung: „Wollen wir mit möglichst wenigen Hilfsmitteln ein bisschen erreichen oder mit vielen Hilfsmitteln das Optimum?“

#### MASCHINEN UNTERSTÜTZEN DAS GEDÄCHTNIS

Nicht nur, was wir lernen, verändert sich tiefgreifend, sondern auch, wie wir lernen und uns Dinge merken. Digitale Helfer werden auch dies zumindest teilweise übernehmen. Etwa, indem man in den Momenten der Aufzeichnung seines Lebens Markierungen setzt, die man sich erhalten will. So sind sie jederzeit abrufbar. Wie die Maschinen die Merkfähigkeit der Menschen verbessern können, untersuchen Schmidts Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Rahmen des EU-Projekts Recall. Sie suchen Wege, „wie sich menschliche Erinnerungen digitalisieren lassen und durch gezielte Hervorhebung oder Abschwächung manifestieren“, erklärt Tilman Dingler. Ausgehend von den Erkenntnissen der Kognitionspsychologie etwa im Umgang mit Demenzerkrankten wollen die Forscher unter anderem Handy-Apps entwickeln, die Erinnerungsfunktionen übernehmen. Damit legt man interessante Textstellen in virtuellen Räumen ab. So

erstellt man seinen individuellen Gedächtnispalast, den man durchlaufen kann. „Unsere Annahme ist, dass unsere kognitiven Fähigkeiten steigen“, sagt Abteilungsleiter Schmidt. Zwar seien die Menschen heute durchweg körperlich schwächer als ihre Vorfahren, weil sie keine schwere körperliche Arbeit mehr verrichten. Mit den heutigen Medien sei der Mensch aber um ein Vielfaches schlauer als noch in den 60er-Jahren. Die digitalen Hilfsmittel machen uns informierter und geschickter als früher – etwa beim Navigieren. Ohne diese Hilfsmittel kommen wir allerdings auch schlechter zurecht.

Und die Aufnahmefähigkeit soll weiter steigen: Gemeinsam mit der Universität Osaka tüfteln die Forscher daran, wie man das Speedreading erleichtern kann. Dabei markiert der Tablet-Computer den Text mit einer schnell laufenden Hervorhebung, die das Auge führt und so das Lesen beschleunigt. Zusätzlich erfasst die eingebaute Kamera, wo der Leser stockt, wo ein Text schlecht lesbar ist. „Die große Vision ist, diese beiden Aspekte zusammenzubringen: Eye-Tracking und Lesereize“, sagt Dingler. Zwar wird der Nutzer auch dabei überwacht. Am Ende könnten aber dynamische Texte stehen, die sich an schwierigen Stellen selbst umschreiben oder den Leser mit einer Grafik und einem kurzen Video unterhalten, wenn die Kamera merkt, dass er abschweift. Als ungelöstes Problem sieht Schmidt aber, was



mit denjenigen passiert, die am Fortschritt nicht teilhaben: „Nehmen wir an, wir sind mit Recall erfolgreich und verbessern die Merkfähigkeit um 30 Prozent. Wer kann dann noch sagen: „Nein, das will ich nicht!“?

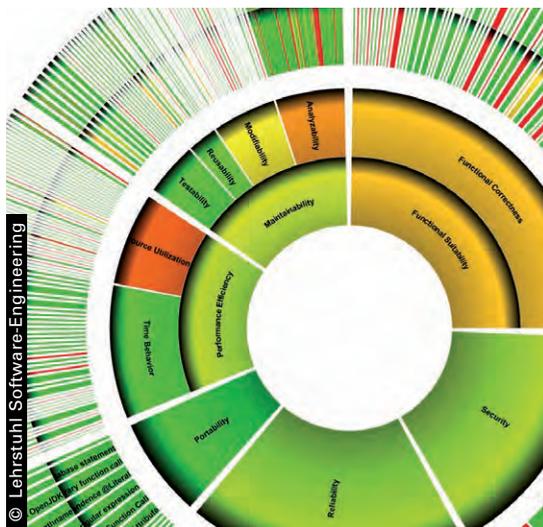
Wie eine derartige ‚Überwachung‘ im positiven Sinne genutzt werden könnte, zeigt das am SimTech entwickelte Blidget. Der wenige Zentimeter große Computer verfügt über eine Bluetooth-Verbindung und diverse freie Steckplätze. Damit wird er zu einer universell einsetzbaren Plattform für Sensoren und Aktuatoren, also alle Geräte, die einen elektrischen Impuls zum Beispiel in Bewegung, Schall oder Licht umsetzen. Ein Jahr lang arbeitet Blidget mit seiner Batterie autark. Es

ist jederzeit drahtlos ansteuerbar – entweder, um Sensoren abzufragen, oder um mit Aktuatoren einen Effekt auszulösen. „Die Vision ist, dass man die Umgebung mit diesen kleinen Einheiten und Sensoren bestückt, um ein besseres Verständnis zu bekommen“, erklärt Thomas Kubitza, Mitarbeiter am VIS. „Wer sich eines der Blidgets an den Schlüsselbund hängt, kommuniziert automatisch mit der intelligenten Umgebung. Wenn man den Schlüssel irgendwo liegen lässt, lässt er sich über den Computer lokalisieren oder dazu bringen, zu piepsen.“

#### GEFÄHRLICHES EIGENLEBEN

Doch den neuen Möglichkeiten stehen Risiken gegenüber: Wer hat Zugriff auf die Sensordaten der Blidgets im Arbeits- oder Wohnraum? Was, wenn bei dem digitalen Arbeitsplatz der Zukunft die Software für den Not-Aus-Knopf nicht funktioniert? Um solche Fehler zu verhindern, entwickelt Prof. Stefan Wagner, Inhaber des Lehrstuhls für Software-Engineering, ein neues Modell für Sicherheitsanalysen. Wobei der 36-Jährige lieber von „Safety“ spricht, da Sicherheit mehrere Bedeutungen annehmen kann. Ihm geht es vorrangig um die Funktionssicherheit von Software und Geräten. „Software alleine bringt keinen um“, sagt Wagner. Sie dient aber dazu, Geräte zu steuern, die bei Fehlfunktionen ein gefährliches Eigenleben entwickeln könnten.

Um diese technische Sicherheit sicherzustellen, hat Wagner einen systemtheoretischen Ansatz des Massachusetts Institute of Technology übernommen. „Dabei betrachten wir das sozio-technische System, also nicht nur die Geräte, sondern auch die Menschen, die sie bedienen.“ Das ist neuartig: Traditionell schauten die Techniker nur Bauteile an und überlegten, was ein Ausfall anrichten kann. „Heute haben wir so hochkomplexe



Bewertung der Open-Source-Software „Log4j“ anhand von Qualitätsattributen. Der äußere Ring zeigt die Qualitätsmessungen. Grün stellt eine positive, rot eine negative Bewertung dar.



Vermessung von Zeigegesten zur Korrektur systematischer Abweichungen.

© Uli Regenscheid

Systeme, dass man diese Frage durch Komponentenausfall-Theorien nicht mehr in den Griff bekommt.“

Wagners Modell stellt dar, wer in diesem soziotechnischen System wen beeinflusst. Davon ausgehend überlegt der Analytiker, welche Aktionen dazu führen können, dass man in einen nicht mehr sicheren Zustand kommt. „Damit bekomme ich Dinge heraus, die man mit reiner Komponentenbetrachtung nie bemerkt hätte“, verdeutlicht Wagner an einem Beispiel: Die Geschäftsführung einer Firma beschließt eine Kostenreduktion um zehn Prozent. Deswegen müssen günstigere Bauteile verwendet werden, die öfter ausfallen. Das führt zu mehr Unfällen. Im herkömmlichen Fall hätte man zwar festgestellt, dass die Komponente fehlerhaft war. Die Ursache des Problems, die Management-Entscheidung, wäre aber unentdeckt geblieben. Ein weiterer Ansatzpunkt des Informatikers ist der Quelltext von Software. Oft stellt man darin enthaltene Fehler erst nach Monaten fest. Damit der Programmierer schneller eine Rückmeldung erhält, wird zwar zu jeder neuen Software eine Prüfsoftware erstellt, die das Programm testet. Doch Wagner geht mit seinen Analysewerkzeugen weiter: Sie durchforsten die Quelltexte auf typische Fehler. Besonders erfolgreich ist dabei die Klon-Analyse. Klone bezeichnen Programmteile, die durch Kopieren und Einfügen entstanden. Diese Arbeitsweise verursacht in den meisten Systemen 20 bis 30 Prozent überflüssigen Quelltext, so Wagner. Der macht Programme nicht nur schwieriger zu verstehen, sondern führt auch zu mehr Fehlern.

### SCHUTZ VOR MISSBRAUCH

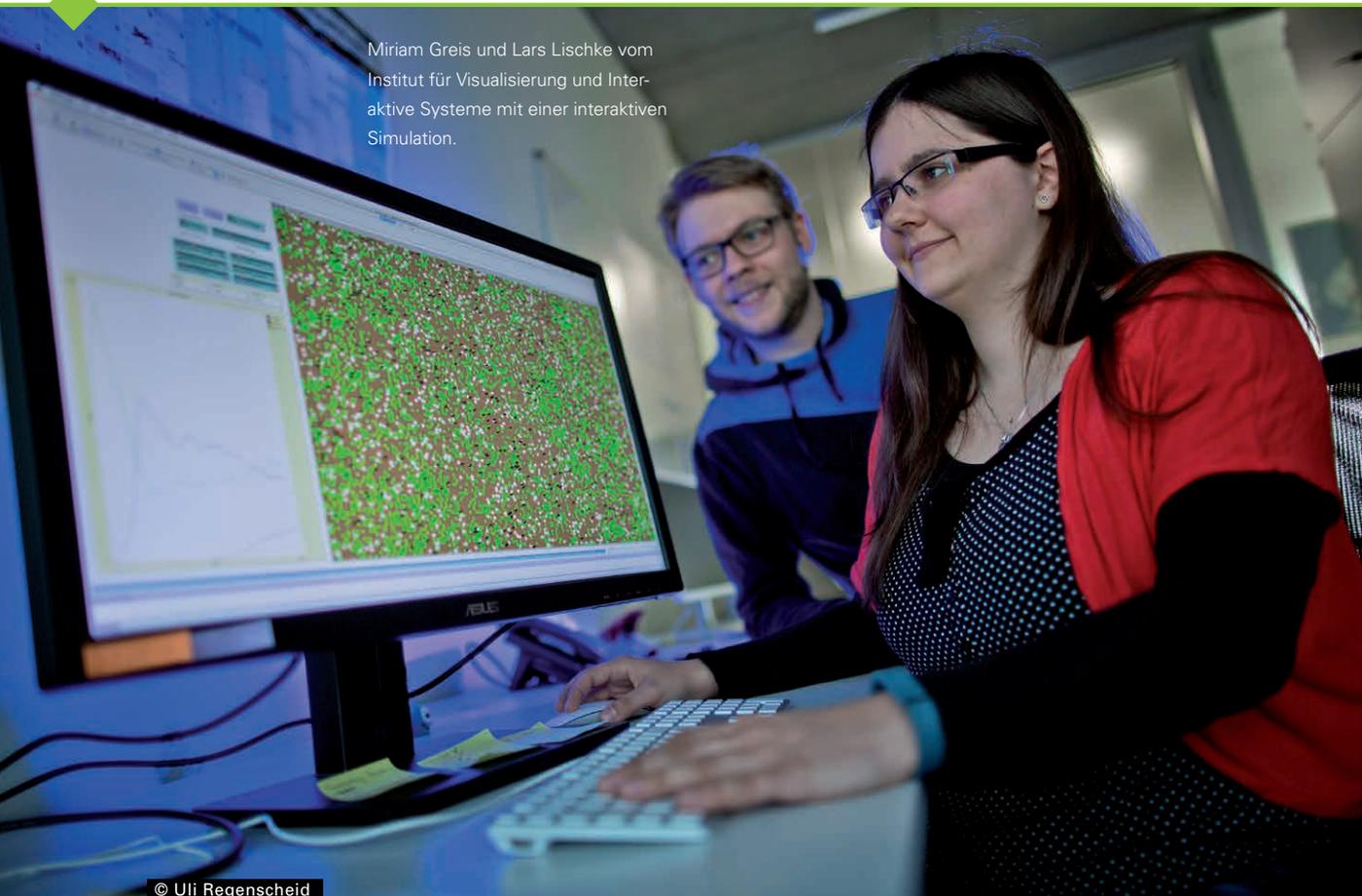
Bei Privatanutzern von digitaler Technik steht neben der Betriebssicherheit die der Daten im Vordergrund. Wie diese auf Smartphones erhöht werden

kann, testen die Informatiker am VIS. Da weder eine vierstellige PIN noch ein gewisches Muster einen zuverlässigen Schutz vor dem unbefugten Zugriff auf das Telefon bieten, hat sich Alireza Sahami mit neuartigen Methoden befasst, das Handy zu sperren. Er programmierte das Gerät so, dass man das Muster in der Luft mit einem kleinen Magneten in der Hand zeichnet statt auf dem Display. Der Kompass-Sensor des Smartphone erkennt die Geste über Magnetfeldänderungen. In 92 Prozent aller Fälle funktionierte dies – bei deutlich verbessertem Schutz vor Missbrauch. Denn obwohl vier Kameras den Vorgang aus verschiedenen Blickwinkeln aufnahmen, scheiterten alle Versuche Dritter, das Muster nachzuahmen.

Die Sicherheit und Funktionalität hat auch Junior-Professor Niels Henze im Blick, Leiter der Abteilung Soziokognitive Systeme am VIS. Dazu bedient er sich Möglichkeiten der empirischen Forschung, die bis vor wenigen Jahren undenkbar waren: Um herauszufinden, ob die Nutzer auf dem Berührungsbildschirm das richtige Feld treffen, hat er ein einfaches Spiel programmiert und als App bereitgestellt. Rund 500.000 Handybesitzer luden „Hit it“ herunter, 120 Millionen Klicks auf 50 verschiedenen Geräten wertete Henze aus. Mit dem Ergebnis, dass die Berührungen fast immer leicht rechts unterhalb des gewünschten Feldes liegen. Henze konnte eine Formel entwickeln, die das ausgleicht. Die Quote der Fehlbedienungen sank um zehn Prozent.

Dank dieser Art von Forschung können die Informatiker Software fortlaufend verbessern: Welche Symbole werden am besten erkannt? Welche Strecken legen die Menschen mit welchem Verkehrsmittel zurück? Über die Auswertung riesiger Datenmengen Tausender Nutzer lassen sich dazu Aussagen treffen. „Studien sind heute in der natürlichen Umgebung viel verlässlicher als

Miriam Greis und Lars Lischke vom Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme mit einer interaktiven Simulation.



© Uli Regenscheid

früher“, sagt Albrecht Schmidt. „Wir bauen kreativ Dinge, die eine Innovation darstellen. Dann untersuchen wir, wie diese sich auswirkt und versuchen, daraus Modelle oder Theorien zu entwickeln.“ So soll auch die Gedächtnis-App für das Projekt Recall direkt bei den Endnutzern getestet werden und zum Download bereitstehen.

Im Zusammenhang mit der Datensicherheit fragen Henze und seine Kollegen auch, wie Sicherheitshinweise dargestellt sein müssen, damit die Menschen diese bewusst wahrnehmen. Mit ihren Apps fanden sie heraus: Wenn bereits ein Häkchen gesetzt ist, dass die Nutzer der Übertragung ihrer Daten zustimmen, ließen 57 Prozent dieses bei der Installation der App stehen – obwohl sie dies auch hätten löschen können. Stellte man eine Ja-Nein-Frage, sagten sogar 67 Prozent bewusst ja zur Datennutzung. „Daten sind eine Währung“, warnt Henze. „Ich bekomme etwas umsonst und bezahle mit Daten, die durch Werbung in Geld umgewandelt werden.“

#### CHIPS IM WASSERKOCHER

Beängstigen können auch die Möglichkeiten, Überwachungstechnik zur Kontrolle von Personen zu missbrauchen: So erstellen Smartphones lückenlose Bewegungsprofile – selbst wenn das Ge-

rät auf dem Tisch liegt, kann über den Lagesensor und das Mikrofon mitgelesen werden, was der Nutzer am benachbarten Computer eintippt. „Das erschien vor einem Jahr noch komplett abwegig“, sagt Henze. Inzwischen wenden nicht nur die Geheimdienste diese Methoden an, sondern auch Kriminelle. Chips in chinesischen Wasserkochern und Bügeleisen, die das häusliche W-Lan ausspionieren, die Datensammelei der Internetgiganten Facebook und Google mit dem Ziel, werberelevante Profile zu erstellen: Vorstellungen wie diese sorgen in Deutschland für Unbehagen gegenüber der Digitalisierung. Bei einer repräsentativen Umfrage im Auftrag des Bundesforschungsministeriums zum Wissenschaftsjahr „Die Digitale Gesellschaft“ sehen 39 Prozent der Befragten der Entwicklung mit Befürchtungen entgegen, nur 20 Prozent positiv. Viele Bürger haben im Moment nicht das Gefühl, dass die digitale Gesellschaft nach ihren Vorstellungen gestaltet wird. Diese Einschätzung würde auch Schmidt nicht abstreiten. Man lerne schrittweise, mit den neuen Techniken umzugehen, beobachtet er. Mit Aufkommen der Fotohandys kam es zu Cyber-Mobbing in den Schulen. Inzwischen habe die Gesellschaft gelernt, darauf zu reagieren. „Jede Technologie hat verschiedenste Auswirkungen

auf die Gesellschaft, negative wie positive“, sagt der Informatiker. Er sieht die Politik gefordert, den Rahmen zu schaffen und den Unternehmen Sicherheitsmaßnahmen vorzuschreiben. „Wir bauen unsere Gesellschaft im Moment massiv um. Wir als Technologen tun dies, der Rest der Gesellschaft nutzt es und findet sich darin wieder, hat es aber oft nicht reflektiert.“

Datensicherheit kann jedoch nur funktionieren, wenn die überwiegende Mehrheit der Menschen sie anwendet. Das Problem dabei: Es soll sicher sein und dabei gleichzeitig komfortabel und reproduzierbar. Verschlüsselungsprogramme für E-Mails zum Beispiel erfüllen gerade diese Erfordernisse nicht. Jeder Nutzer muss sie zudem einzeln einrichten. Auch hier sieht Schmidt den Gesetzgeber am Zug und verweist auf den Sicherheitsgurt im Auto: Als dessen Nutzen erwiesen war, zwang die Politik die Hersteller, ihn einzubauen und überließ dies nicht dem einzelnen Autofahrer.

Trotz dieser Nebenwirkungen rechnen die Gestalter der digitalen Zukunft wie Albrecht Schmidt mit einem Meinungsumschwung: „In Deutschland steht die Gesellschaft einer Entwicklung am Anfang oft sehr kritisch gegenüber. Wenn diese dann aber unsere Gesellschaft verändert hat, sind wir unter Umständen die größten Befürworter und aktivsten Nutzer.“ Eine Aktivität, die nötig sein wird. Denn das Digitale Jahrhundert hat gerade erst begonnen.

*Daniel Völpel*

Spiel zur Analyse von Texteingabeverhalten.



© Uli Regenscheid

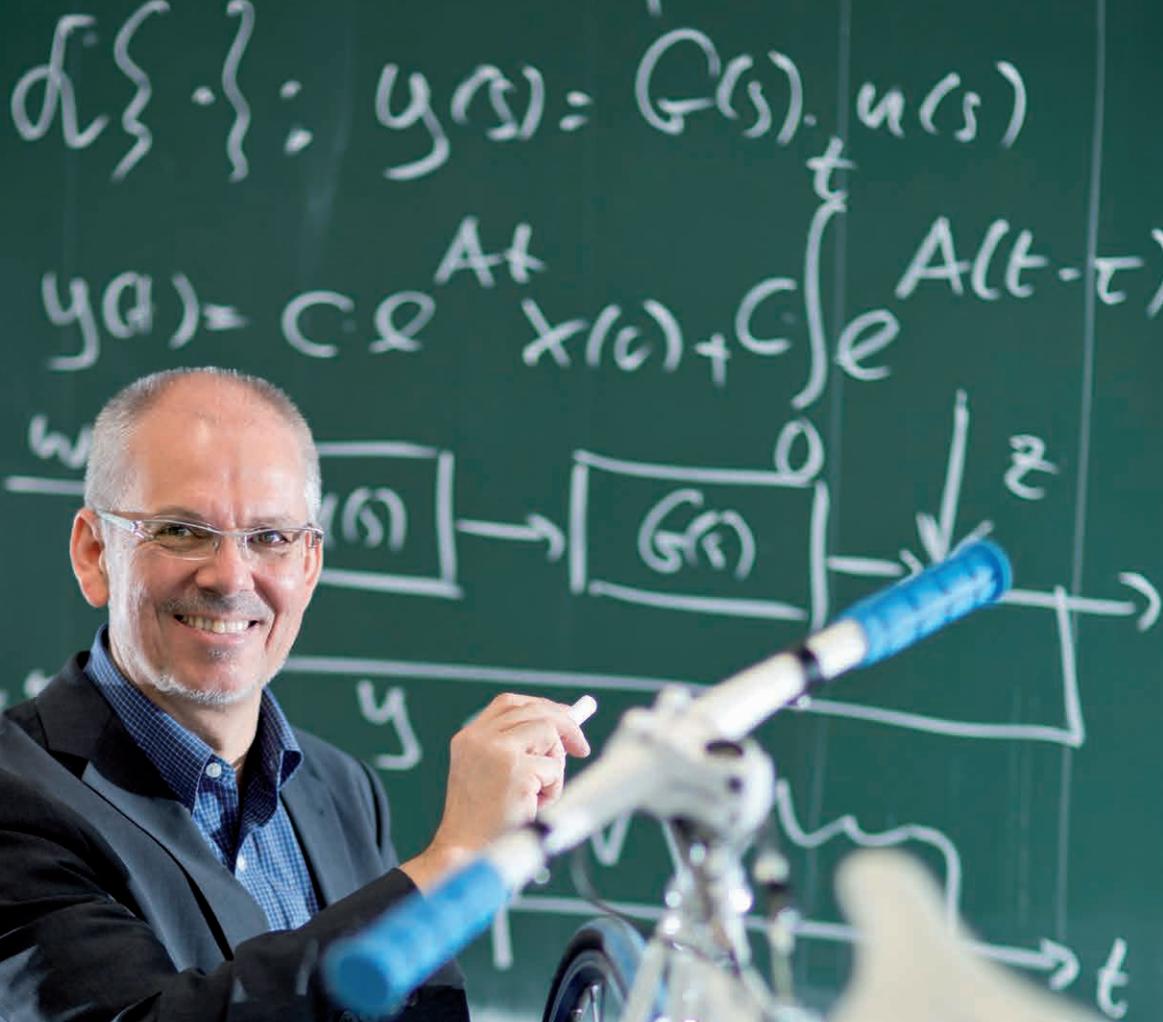
# Theoretische Ingenieurskunst

Frank Allgöwer erforscht die Dynamik komplexer Systeme

**Eine immer stärker vernetzte Welt schafft viele gegenseitige Abhängigkeiten. Erfolgversprechend ist daher das Denken in Systemen. Frank Allgöwer entwickelt Methoden, die bei der Analyse und Regelung solcher Systeme helfen können. Der Professor für Technische Kybernetik und Direktor des Instituts für Systemtheorie und Regelungstechnik an der Universität Stuttgart gehört zu den renommiertesten Köpfen der Hochschule und hat als Vizepräsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) auch in der Wissenschaftspolitik Gewicht.**

Fragt man ihn nach seiner Motivation, dann spürt man schnell, dass Frank Allgöwer durch und durch Wissenschaftler ist: „Wenn ich an einem Problem arbeite und dann noch das vage Gefühl habe, dass ich es lösen kann, dann passiert es schon mal, dass ich alles um mich herum vergesse – auch das Essen.“ Als Grundlagenforscher genieße er es, etwas ausprobieren zu können. „Dann habe ich vielleicht auch mal zwei Wochen ergebnislos vergeudet“, sagt er, „aber dieses Freisein im Denken schätze ich.“ Allgöwer bezeichnet sich selbst als „theoretischen Ingenieur“, letztlich ist sein Gebiet, die Technische Kybernetik, angewandte Mathematik. Dabei hat er sich auf die Beschreibung komplexer, dynamischer Systeme spezialisiert. „Nehmen Sie Lkw-Konvoifahrten“, greift Allgöwer ein anschauliches Beispiel auf. „Heute arbeitet die Industrie daran, dass mehrere Fahrzeuge hintereinander fahren können und nur noch der vorderste Lkw von einem Fahrer gesteuert wird.“ Die Abstände zwischen den Lastwagen sind dann so gering, dass sie den Windschatten des jeweiligen Vordermanns ausnutzen und so erheblich Sprit sparen. Damit es zu keinen Kollisionen kommt, müssen sich die

Fahrzeuge jedoch permanent untereinander abstimmen. „Das ist ein regelungstechnisches Problem“, sagt Allgöwer. Wenn der Vordermann bremst, sollten alle Lkws im Konvoi ebenfalls sofort bremsen und nicht erst nach und nach. „Ordnen Sie die einzelnen Lkws irgendwo im Raum an und ersetzen Sie sie durch ein Flugzeug, eine Ampel, ein Auto, einen Zug... – sprich durch Verkehrsmittel und die zugehörige Infrastruktur: Das Gesamtsystem Verkehr ist dann ein interessantes, komplexes System.“ Oder die Industrie 4.0: die Vernetzung der Produktionstechnik, um wandlungsfähige, ressourceneffiziente und integrative Fertigungsprozesse zu verwirklichen. Oder die Krebsforschung: „In Zusammenarbeit mit Biologen ist es uns vor Jahren gelungen, einen wichtigen Mosaikstein für das Verständnis des programmierten Zelltods zu identifizieren“, erzählt Allgöwer. Die Biologen konnten damals trotz intensiver Untersuchungen nicht erklären, wie der Prozess abläuft, mit dem der Körper nicht mehr benötigte Zellen gezielt absterben lässt – etwa bei der embryonalen Entwicklung. Dieses Wissen, so die Hoffnung, könnte jedoch eines Tages bei der Behandlung von Krebs hilfreich sein, um die malignen Zellen nicht mehr nebenwirkungsreich mit Chemotherapie, sondern gezielt abzutöten. Die Mathematisierung der Biologie habe erst begonnen und werde auch bei neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer zu einem besseren Verständnis der Vorgänge beitragen, ist sich Allgöwer sicher. Sein Werdegang liest sich im Rückblick geradlinig, fast zwangsläufig. Er studierte Technische Kybernetik in Stuttgart, war Stipendiat der Studienstiftung des Deutschen Volkes, des Auswärtigen Amtes und der Fulbright-Kommission. Bereits während seiner Promotion in Stuttgart baute Allgöwer eine Forschungsgruppe zu Fragen der nichtlinearen Regelung auf. Nach seiner Promotion ging er für



Technische Kybernetik ist angewandte Mathematik. Daher macht Prof. Frank Allgöwer bei aller Komplexität auch mal einen Tafelaufschrieb.

ein Jahr in die USA zu DuPont. Das Unternehmen wollte ihn anstellen, er dagegen strebte eine Hochschullaufbahn an. Man einigte sich auf das einjährige Gastspiel. Danach forschte Allgöwer an der ETH Zürich, bevor er 1999 einem Ruf nach Stuttgart auf den neugeschaffenen Lehrstuhl für Systemtheorie technischer Prozesse folgte, „weil es hier tolle Nachwuchskräfte gab und noch immer gibt“. Bald schon gehörte er in seinem Fachgebiet zu den weltweit führenden Köpfen, was nicht zuletzt auch der im Jahr 2004 an ihn verliehene Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Preis zeigt, die höchst-dotierte Auszeichnung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). „Dieser Preis“, sagt Allgöwer, „hat mir als damals relativ junger Wissenschaftler finanzielle Unabhängigkeit ermöglicht und Reputation eingebracht. Ich konnte es mir in der Folge erlauben, auch riskantere Fragestellungen anzugehen, bei denen die Erfolgsaussichten unklar waren.“

#### VOM GOLDWÄSCHER ZUR TECHNISCHEN KYBERNETIK

Trotz der steilen Karriere sagt der 1962 geborene Wissenschaftler: „Vieles in meinem Werdegang war Zufall“. Das ging schon bei der Wahl des Studienfachs los. Nach dem Abitur wollte er für ein Jahr zusammen mit einem Freund als Goldwäscher in den USA arbeiten. Sein Vater sollte ihn dann rechtzeitig zur Rückkehr in den drei Studienfächern Mathematik, Jura und Architektur einschreiben. Doch es kam anders. Bereits nach einem halben Jahr kam der Sohn nach Hause, und weil sein Vater ihn zu diesem Zeitpunkt in keinem der Wunschfächer, sondern nur probenhalber im Fach „Technische Kybernetik“ eingeschrieben hatte, nahm Allgöwer eben dieses Studium auf. Ingenieur zu werden war dann aber eine sehr bewusste Entscheidung, genauso wie die Forscherkarriere. „Meine Themen haben sich dagegen teilweise wieder zufällig ergeben“, sagt

Allgöwer. Ein Beispiel sind seine Veröffentlichungen zur sogenannten Modellprädiktiven Regelung – „die gehören nach über einem Jahrzehnt noch immer zu meinen bestzitierten Papers“. Ausgangspunkt für die Arbeiten war damals eine Diskussion unter Kollegen, die den Ansatz als „hässlich“ empfanden und dessen Eignung für nicht beweisbar hielten – „denn man bearbeitet dabei ein Problem sozusagen mit dem großen numerischen Knüppel“. Doch zufällig fragte einen Tag später eine Chinesin bei Allgöwer wegen einer Doktorarbeit an. „Ich habe ihr dann genau dieses Thema vorgeschlagen.“

Ähnlich unerwartet für Allgöwer ergab sich im Jahr 2012 seine Wahl zu einem der DFG-Vizepräsidenten. Das DFG-Präsidium, bestehend aus dem Präsidenten und acht Vizepräsidenten, gestaltet die Förderinstrumente der wichtigsten Organisation der deutschen Forschungsförderung. „Es ist eine hochinteressante Tätigkeit“, sagt Allgöwer. Und selbst er, der häufig interdisziplinär arbeite, lerne in diesem Gremium noch viel über andere Wissenschaften und die Umstände, unter denen sie forschten. „Allerdings ist so eine Vizepräsidentenschaft kein Job, den man mal so nebenbei erledigt.“ Der Zeitaufwand sei schon enorm.

Auch in der Lehre hat sich Allgöwer einen Namen gemacht. 2007 bekam er den baden-württembergischen Landeslehrpreis verliehen – auf Vorschlag seiner Studierenden. Mit Unterstützung der Robert-Bosch-Stiftung richtet er seit 2001 den Wettbewerb „Roborace“ aus, bei dem jedes Jahr rund 400 Schüler und Anfangssemester mit Hilfe der Produktserie Lego Mindstorms eine Aufgabe aus der Technischen Kybernetik lösen müssen. Fast schon legendär sind auch die Anfänge seiner Vorlesungen: In den zehn Minuten vor Beginn laufen die Trailer der neusten Kinofilme – damit alle Hörer pünktlich da sind, wenn Allgöwer anfängt.

*Michael Vogel*



## ITK Engineering AG – Entwicklungspartner für die Bereiche:

- Software Engineering und Embedded Systems
- Modellbasierte Software-Entwicklung und Test
- Regelungstechnik und Signalverarbeitung

*www.partner-schafft-perspektiven.de*

Suei ist seit 2008 Entwicklungsingenieurin bei ITK

„Hier kann ich die Technik von morgen entwickeln und Innovationen vorantreiben!“

Suei entwickelt kundenspezifische Software für Anwendungen im Automobil- und Medizintechnikumfeld.

„Was ich an ITK schätze? Dass ich mich in unterschiedlichen Projekten und Branchen einbringen kann. Dabei werde ich nicht allein gelassen: Bei Fragen kann ich auf mein Team zählen. Hier wird partnerschaftlich zusammengearbeitet.“

Besuchen Sie uns auf [www.partner-schafft-perspektiven.de](http://www.partner-schafft-perspektiven.de) und erfahren Sie mehr darüber, was es heißt, bei der ITK Engineering AG zu arbeiten.

## Es blitzt ein Tropfen...

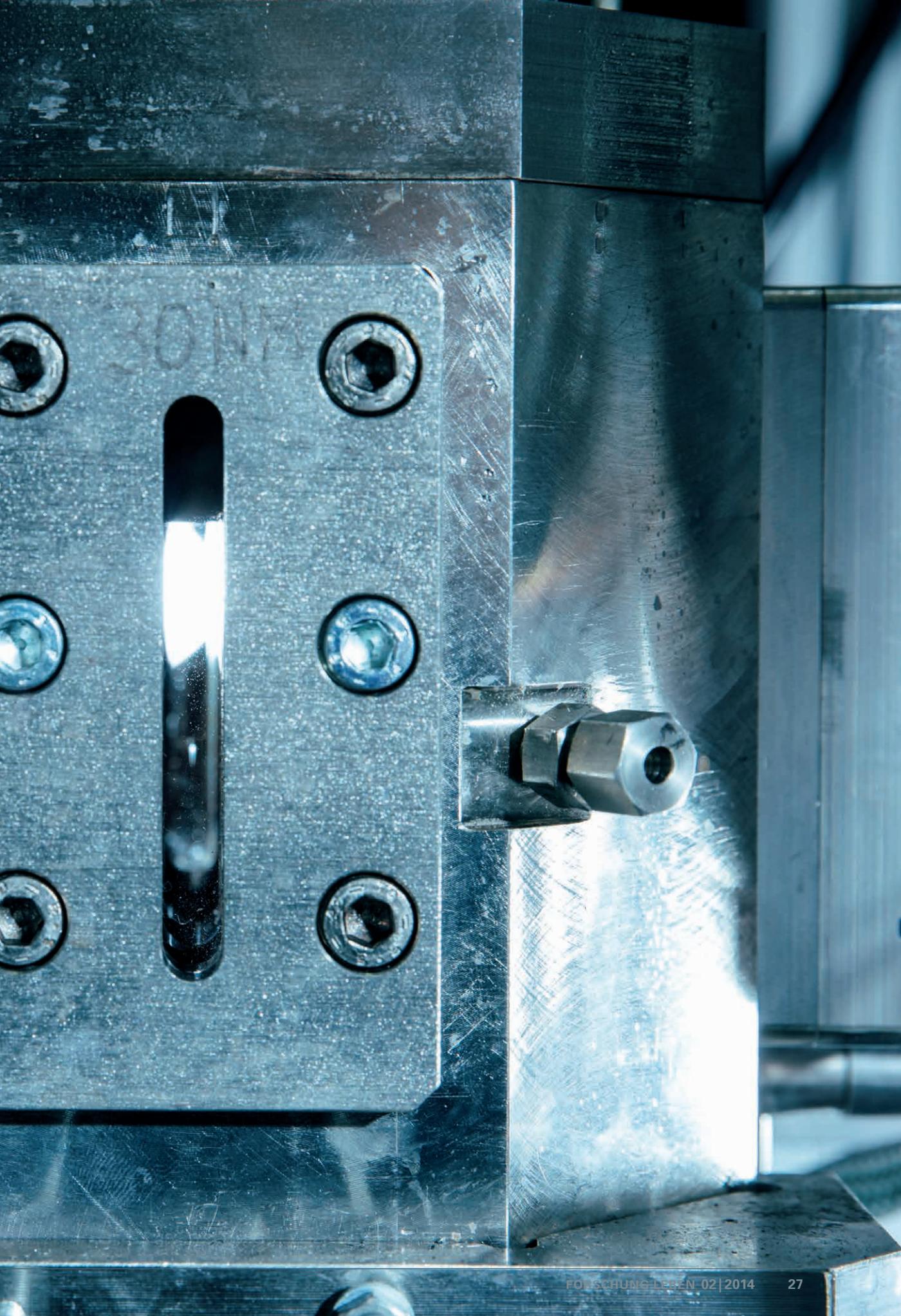
**Der Versbeginn aus einem Gedicht von Gottfried Keller, einst gemünzt auf den Morgentau, könnte auch über einem Sonderforschungsbereich an der Universität Stuttgart stehen. Der transregionale SFB-TR 75 (Sprecher Prof. Bernhard Weigand), den die Deutsche Forschungsgemeinschaft jüngst um vier Jahre verlängert hat, widmet sich tropfendynamischen Prozessen unter extremen Umgebungsbedingungen. Die Stuttgarter Forscherinnen und Forscher kooperieren dabei mit der Technischen Universität Darmstadt und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).**

Wie sich Tropfen unter normalen Bedingungen verhalten, ist weitgehend bekannt. Wasser beispielsweise versucht aufgrund der Oberflächenspannung, stets eine Kugelform einzunehmen. Doch was passiert, wenn es extrem wird, bei klirrendem Frost oder extremer Hitze, hohem Druck oder im elektrischen Feld? Um das herauszufinden, lassen die Stuttgarter Forscher Brennstoff in Raketenbrennkammern verdampfen oder simulieren, wie mehrere Tropfen in einer Regenwolke kollidieren. Ist der Tropfen, wie im Bild rechts, für das bloße Auge zu klein, kann er zum Beispiel auf einem Laserstrahl in der Schwebe gehalten und sein Streulicht untersucht werden, um den Zeitpunkt des Gefrierens zu bestimmen.

Die Bilder auf den nächsten Seiten geben weitere Einblicke in den Alltag dieses Sonderforschungsbereichs. Am Ende der Arbeiten sollen unter anderem schadstoffärmere Motoren, stabilere Stromnetze und bessere Wettervorhersagen stehen.



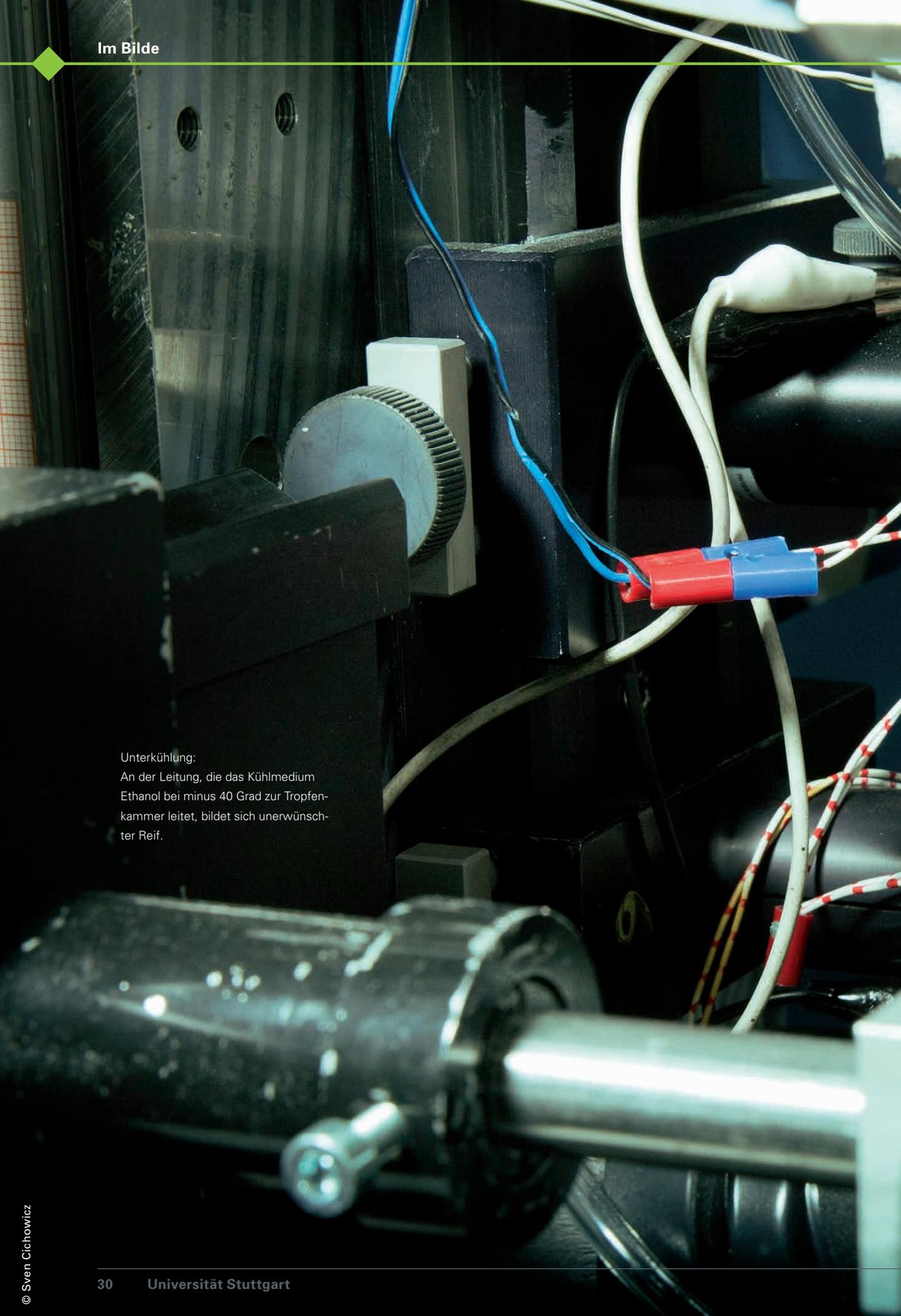
Durchblick:  
Die Kammer zur Untersuchung von Tropfen wie etwa Aceton in einer Gas-Atmosphäre bei hohem Druck oder hohen Temperaturen haben die Stuttgarter Wissenschaftler selbst entwickelt. Durch das Sichtfenster lassen sich Tropfen zum Beispiel mit Schattenbildmethoden untersuchen.



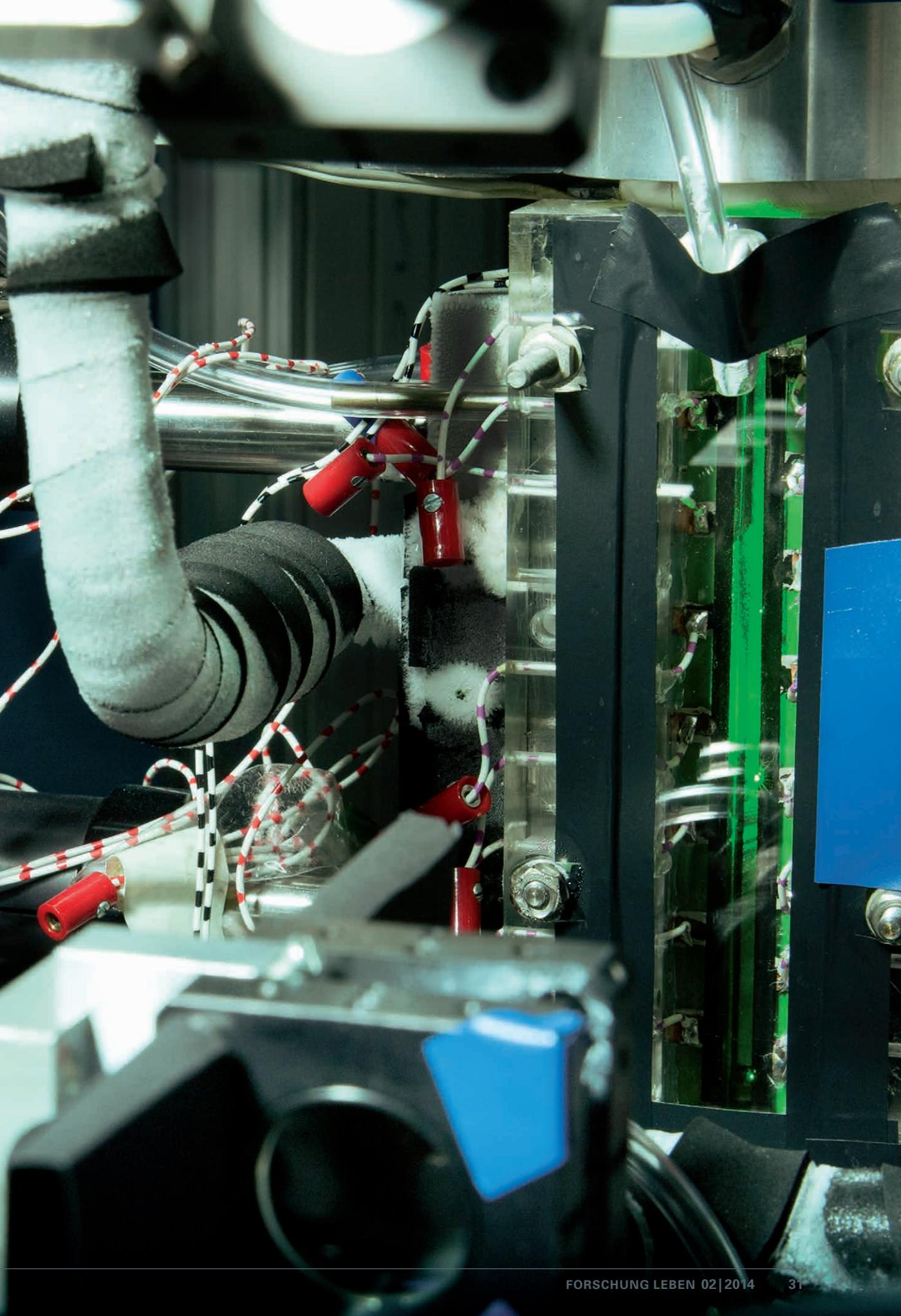




Maßarbeit:  
Justieren der Beobachtungs- und  
Messeinrichtungen vor der Versuchs-  
durchführung.



Unterkühlung:  
An der Leitung, die das Kühlmedium  
Ethanol bei minus 40 Grad zur Tropfen-  
kammer leitet, bildet sich unerwünsch-  
ter Reif.







Eiszeit:

Eiskristalle wirken faszinierend. Bilden sie sich jedoch auf den Tragflächen eines Flugzeugs, ist Gefahr im Verzug. Die Stuttgarter Wissenschaftler entwickeln Methoden, mit denen man das Kristallwachstum in Abhängigkeit von der Temperatur berechnen kann.

- 13.0
- 1) Messung an verdampfendem Tropfen
    - Streulicht Vorwärtsbereich  $\rightarrow$  Größe  $\circ$
    - - - Rückwärtsbereich  $\rightarrow$  Temperatur  $\circ$
  - 2) Messung an gefrorenem Tropfen und Temperatur  $\circ$ 
    - Struktur des gestörten Streulicht
    - Polarisationverh.  $\rightarrow$  Erfolge anfang
    - Aufnahmen der Änderung im Streulicht
    - Beobachten der MDR  $\circ$



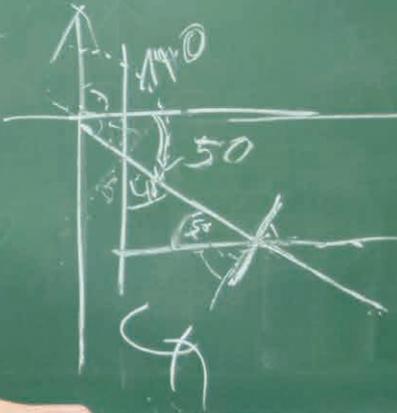
06.2013

b) Initiierung des Gefriervorgangs:

- Temperaturabsenkung  $\rightarrow$  Temp.-profil  $\checkmark$

- Kollision: + Tropfen  $\circ$   
+ Aerosol  $\circ$

Öhung Eiskern im Tropfen



Debatte:

Streulicht vermessen, Kollisionen erzeugen, Gefrieren lassen: Stefano Ruberto (links) und Andreas Birkefeld besprechen anstehende Untersuchungen.



Einstellungssache:  
Regulieren der Versuchsparameter  
am Prozesskühlgerät.

35 -298

Pilot ONE



3-2-1

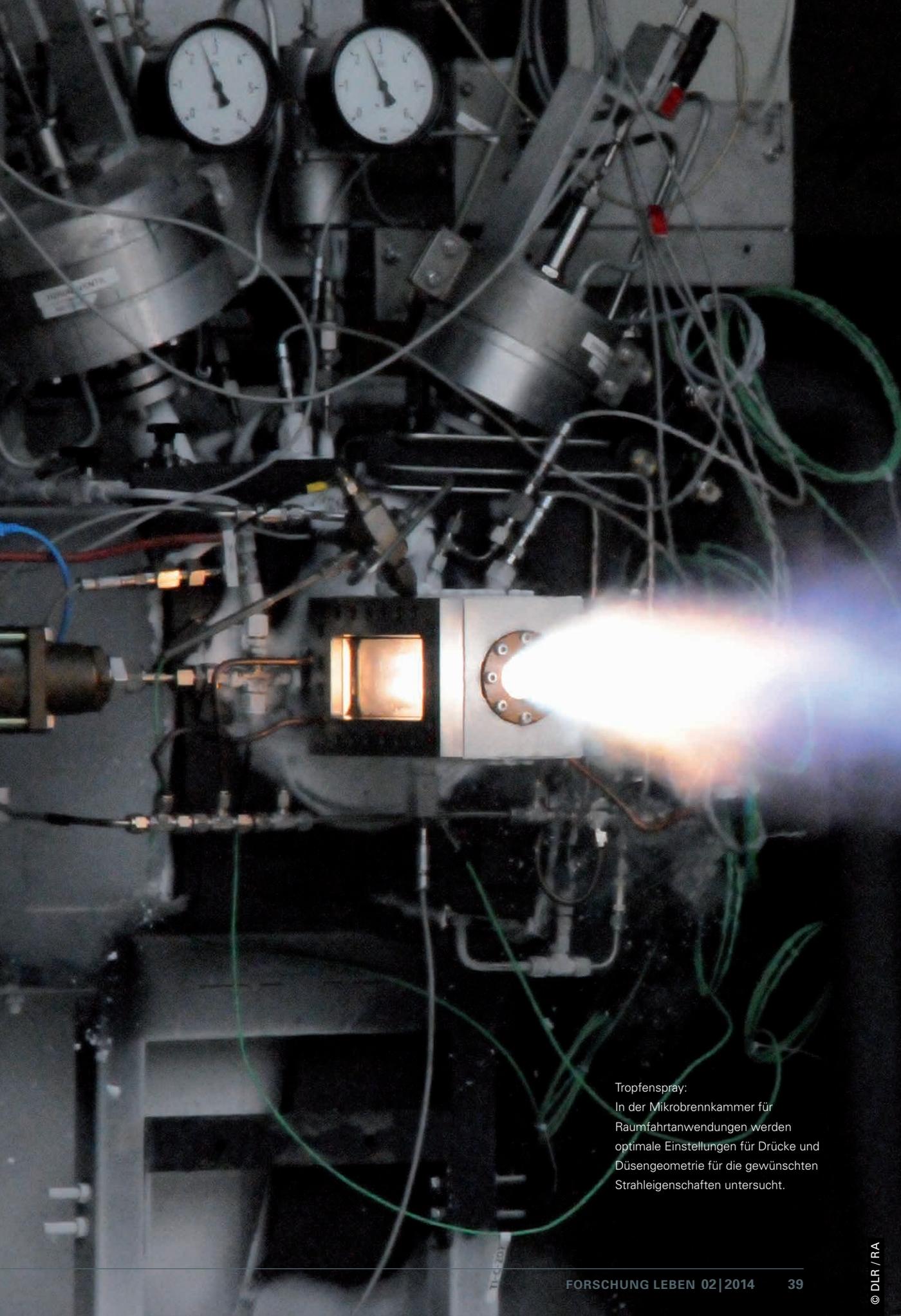
Garantie / Warranty

[www.huber-online.com/register](http://www.huber-online.com/register)

Zerfallender Strahl:

Spritzt man ein Fluid, das bei hoher Scherrate dünnflüssiger wird, unter hohem Druck in zunächst ruhende Luft, zerfällt der Strahl und es bilden sich immer kleinere Tropfen. So lassen sich Partikel mit genau den gewünschten Größen und Eigenschaften herstellen, zum Beispiel für Sprays in der Pharmazie, in der Lebensmittelindustrie oder Landwirtschaft.





Tropfenspray:  
In der Mikrobrennkammer für  
Raumfahrtanwendungen werden  
optimale Einstellungen für Drücke und  
Düsengeometrie für die gewünschten  
Strahleigenschaften untersucht.

Spannend:

Tropfen im elektrischen Feld schädigen die Oberfläche von Isolatoren, zum Beispiel bei Hochspannungsleitungen. Versagt der Isolator, wird es im wahren Sinne des Wortes spannend.



Austausch:  
Bei einem Treffen im Schwarzwald diskutieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aller Partnerinstitutionen ihre Ergebnisse und planen die nächsten Schritte.





## Cicero in Stereo und analysierende Maschinen

Am Computer werden antike Redner hörbar, alte Landkarten vergleichbar und kollektive Identitäten nachweisbar

**Die Digitalisierung in den Geisteswissenschaften ermöglicht neue Antworten auf alte Fragen. Altertumswissenschaftler der Universität Stuttgart simulieren gemeinsam mit Akustikern vom Institut für Bauphysik die Reden der großen Gegenspieler der römischen Republik und analysieren, wie man durch die Stimme zu Macht kommt. Wie sich Machtstrukturen auf Landkarten nachweisen lassen, wollen Landeshistoriker in einem digitalen Atlas darstellen. Und Politologen erforschen zusammen mit Computerlinguisten anhand einer halben Million Zeitungsartikel, welche kollektiven Identitäten in öffentlichen Debatten über Kriege mobilisiert werden.**

Ist eine Rede des Feldherrn Gaius Iulius Cäsar vor 10.000 Menschen auf dem Versammlungsplatz Forum Romanum vergleichbar mit einem Wahlkampfauftritt der deutschen Bundeskanzlerin? Konnten sich die Politiker der römischen Republik ohne Schallverstärker überhaupt verständlich machen? Mit diesen Fragen beschäftigen sich Historiker und Akustiker erstmals überhaupt gemeinsam. Schon die ersten Versuche zeigten: Die römischen Senatoren müssen gewaltige Redner gewesen sein. „Die Idee war, Ciceros Stimme nachzuahmen, indem wir den antiken Redner in seiner Umgebung mit seinen Zuhörern und Diskutanten darstellen“, skizziert Philipp Leistner, Professor für Akustik am Lehrstuhl für Bauphysik das Projekt „Wie laut sprach Cicero?“. Gemeinsam mit dem Althistoriker Prof. Peter Scholz war er damit 2012 unter den Preisträgern des universitätsinternen Wettbewerbs „Geist trifft Maschine“. Scholz erforscht schwerpunktmäßig, wie die Senatsaristokratie zur Zeit der römischen Republik erzogen und sozialisiert wurde. „Daraus erwächst die Frage: Wie hat man

sich so einen Senator vorzustellen?“, sagt Scholz. Zwar untersuchen Althistoriker und Altphilologen seit mehr als 150 Jahren die überlieferten antiken Reden. Bislang jedoch nur die Inhalte der Texte, rhetorische Figuren, Argumentationsstrategien und die historischen Bedingungen, unter denen die Rede gehalten wurde. Man wisse, wie diese Männer schrieben, so Scholz. „Wie sie gesprochen haben, das wussten wir nicht.“ Der Redner als Persönlichkeit, die räumlichen Gegebenheiten bei der Rede, Verhalten und Zusammensetzung der Zuhörerschaft blieben außen vor. Ebenso die stimmlichen und damit körperlichen Voraussetzungen, die ein erfolgreicher Redner mitbringen musste.

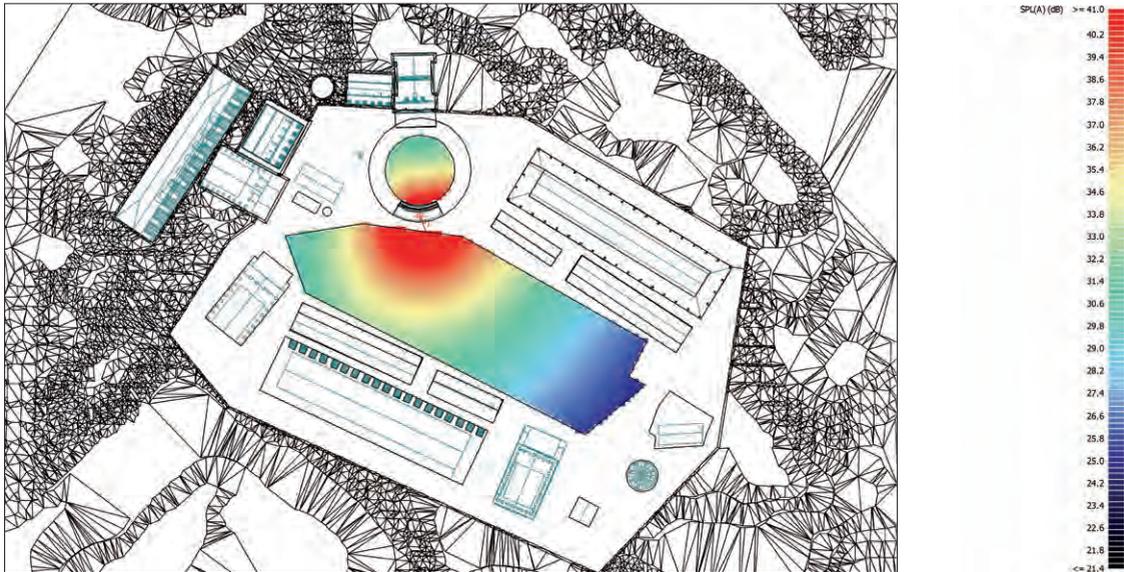
In den Publikationen gehe man davon aus, es wurde eine Rede gehalten und jeder versteht sie, sagt Christian Winkle, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Historischen Institut. „Niemand macht sich darüber Gedanken, wer auf dem Forum oder im Senat überhaupt die Chance hatte, die Redner zu verstehen – nämlich nur ein kleiner Teil.“

### *DIE STIMME TRÄGT NUR 20 METER WEIT*

Um nun herauszufinden, wie die Reden ankamen, hatten die Akustiker um Philip Leistner in einem Trockenraum, der jeden Schall absorbiert, zwei Redner aufgenommen: Einen professionellen Sprecher und einen pensionierten Lateinlehrer. Beide rezitierten Ansprachen des Politikers und Redners Marcus Tullius Cicero. Welche Qualitäten ein Sprecher haben muss, dazu lieferte die Akademie für gesprochenes Wort die Anstöße.

Anhand der Beschreibungen und Pläne der Althistoriker simulierten die Akustiker das römische Senatsgebäude Curia Iulia sowie das Forum Romanum. Indem die trockene Stimme mit den Bedingungen von damals verknüpft wird, entsteht eine Auralisation, also ein Hörbeispiel. Dabei

Schallpegelverteilung im  
Forum Romanum.



stellten die Akustiker verschiedene Positionen von Redner und Zuhörern her, dazu unterschiedliche Bedingungen wie etwa eine unruhige Menge. Hört man sich die Auralisationen am Computer an, merkt man: Ein normaler Redner ist auf dem Forum Romanum nur etwa 20 Meter weit zu verstehen – viel zu wenig bei einer Menge von mehreren Tausend Menschen. Ein stimmungswaltiger Sprecher dagegen ist in 40 Metern Entfernung noch gut, in 60 Metern mit Mühe zu hören. Dafür empfinden ihn die ersten Reihen der Zuhörer als unangenehm überlaut.

Noch frappierender fielen die Ergebnisse für das Senatsgebäude aus: Der 18 mal 27 Meter große Raum mit 21 Metern Höhe kann nicht nur, wie bisher angenommen, mit getäfelm Marmor verkleidet gewesen sein. Dann hätten die Stimmen nämlich so sehr nachgehallt, dass die bis zu 600 Senatoren nichts verstanden hätten. „Es müssen sich Stoffvorhänge darin befunden haben“, vermutet Winkle, was archäologisch aber nicht nachweisbar ist.

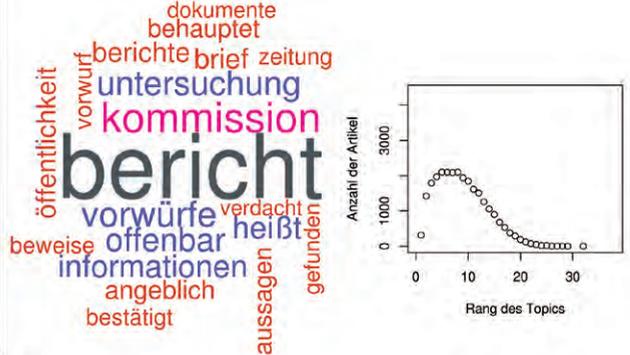
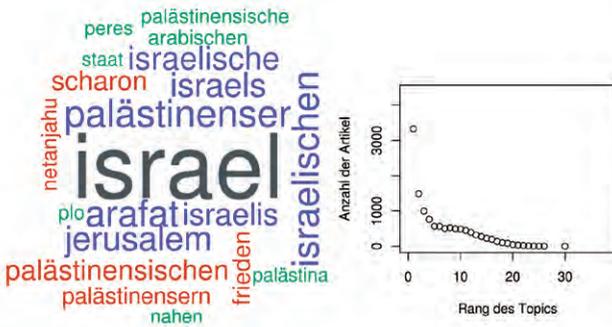
Für Scholz beweisen die Auralisationen: Nur wer von der Kindheit an die tägliche und harte Schule aus Rhetorik- und Stimmübungen durchlief, hatte – anders als heute – eine Chance, zum mächtigen Politiker aufzusteigen, der etwas zu sagen hatte, der gehört wurde. Für Leistner hat die Arbeit auch einen konkreten Praxisbezug: „Die Welt ist voll von akustisch schlechten Sälen.“ Heutige Redner könnten hier von den antiken lernen, wie man mit dieser schlechten Akustik umgeht. „Bislang haben Akustiker nicht mit Rhetorikern geredet“, sagt

Leistner. Wollte man beispielsweise ein Klassenzimmer gestalten, mache es aber einen enormen Unterschied, ob ein stimmchwacher Mensch vor den Schülern stehe oder ein alter Brummbass.

#### *IDENTITÄT AUS ZEITUNGSARTIKELN*

Einen ganz anderen Ansatz verfolgt die Politikwissenschaftlerin Cathleen Kantner, Professorin für Internationale Beziehungen und Europäische Integration am Institut für Sozialwissenschaften. Gemeinsam mit Prof. Jonas Kuhn vom Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung und einem Team analysiert sie rund 500.000 Zeitungsartikel aus sechs Ländern. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen herausfinden, wie in Debatten über Kriege und Interventionen unterschiedliche kollektive Identitäten geäußert werden und wie sich diese Zugehörigkeiten zueinander verhalten. „Für Politikwissenschaftler ist es eine interessante Frage, wie wir in unserer Gesellschaft mit den verschiedenen Identitäten umgehen“, erklärt Kantner. Früher sei man davon ausgegangen, dass es ausschließlich nationale Identitäten gebe. „Es gibt aber auch transnationale und andere grenzübergreifende kollektive Identitäten, zum Beispiel politische Lager, Religion oder Regionalbezüge.“ Wie sich diese Identitäten zueinander verhalten, ist bislang wenig erforscht. Zunächst sei man davon ausgegangen, dass mit Aufkommen eines europäischen Bewusstseins die nationale Identifizierung zurückgehe. Umfragen ergaben aber, dass die Menschen sich zum Beispiel als Deutsche und als Europäer fühlen. „Die Frage, ob sich die Identität

Darstellung zum Ausfiltern von für die Auswertung unerwünschten Artikeln. Die Visualisierung der Topic-Verteilung weist „Israel“ als ein Hauptthema und „Untersuchungsausschuss“ als ein Nebenthema in der Artikelkollektion aus.



ten gegenseitig kannibalisieren, sich gegeneinander profilieren, miteinander interagieren oder gar miteinander verschmelzen, untersuchen wir im Kontext der Diskussion um Krieg und Interventionen nach dem Ende des Kalten Krieges.“ Ohne die Hilfe der Computerlinguisten, so Kantner, ist dies jedoch nicht möglich. Schon die Vielzahl der Texte in den diversen Dateiformaten einheitlich digital aufzubereiten, stellt eine Herausforderung dar. „Wenn man da nicht aufpasst, gehen schnell Umlaute verloren oder ähnliches“, sagt Jonas Kuhn. Bei der Analyse der Texte ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Computerlinguisten und Sozialwissenschaftlern unumgänglich, denn: „Wir suchen nicht wie Google nach einzelnen Worten, sondern wir gehen in die Struktur von Sätzen“, erklärt Kuhn. „Damit können wir viel intelligentere Ergebnisse liefern.“ Dazu haben die Informatiker ein Verfahren entwickelt, bei dem die Maschine die verschiedenen thematischen Bezüge eines Artikels erkennt und in ihrer prozentualen Relevanz für das Forschungsthema darstellt. Gleichzeitig entwickeln die Sozialwissenschaftler

eine Analyseverfahren, die es erlaubt, eine Vielzahl von Identitätsäußerungen zu erkennen. Diese Aufgabe ist so komplex, dass sie die bisher existierenden Computeralgorithmen überfordern würde.

*KRIEGS- ODER SPORTBERICHT?*

Der erste wichtige Schritt sei es gewesen, den Datensatz zu bereinigen, sagt Kuhn. Denn die Worte „Krieg“, „Jugoslawien“ und „Kosovo“ können in Sportberichten ebenso vorkommen, wie die Worte „Kaschmir“ und „Konflikt“ bei einem Text über die Textilbranche. „Wir können aber nicht alle Fußball-Artikel rausschmeißen, weil es auch ein wichtiger Hintergrundbericht sein könnte, dass in Afghanistan deutsche Soldaten mit Afghanen ein Freundschaftsspiel bestritten haben“, sagt Kantner. „Hieran sieht man, dass es über ein rein schlagwortbasiertes Verfahren extrem schwierig würde, diese Texte herauszufiltern“, so Kuhns Mitarbeiter André Blessing. Bei einem Teil der Artikel prüften die Politologen daher, ob der Computer richtig einsortiert hatte, um das Programm zu verfeinern. Die theoretischen Grundlagen, an welchen

Situations-Plan über den Ort Aulendorf. Die Digitalisierung erleichtert die Vergleichbarkeit und Auswertung historischer Darstellungen.



Formulierungen man eine Identität erkennt, lieferte ein Philosoph, denn, so Kantner: „Wir müssen herausfinden, wie Menschen in der Alltagssprache das ausdrücken, was wir als ‚Identität‘ ansehen.“ Erst danach begannen die Politologen damit, in einer Stichprobe der Artikel die Sätze zu kodieren. Dabei markieren sie Teile, die sie für die Forschungsfrage als relevant erachten. Anhand dieser Textbeispiele lernt der Computer, eigene Vorschläge zu machen. Im nächsten Schritt durchsucht das Programm den gesamten Datensatz nach Textstellen, die auf Identitäten hindeuten. „Das haben wir entwickelt, das gibt es bisher so auf der Welt noch nicht“, sagt Blessing. Komplett korrekt wird die Maschine zwar nie arbeiten, doch „wenn es bei den vielen Tausend Artikeln gelingt, das Computer-Tool so sicher zu machen, dass es mit der Zuverlässigkeit eines menschlichen Lesers die Textstellen findet und vorschlägt, wäre das klasse“, sagt Blessing.

Mit dem „Complex Concept Builder“ genannten Programm lässt sich nach Abschluss der Kodierung das Verhältnis der Identitäten zueinander im Zeitverlauf und bei verschiedenen Konflikten untersuchen. Also etwa, ob in den einzelnen Ländern gleichzeitig auf bestimmte Art berichtet wird. Über statistische Berechnungen sind Aussagen möglich, welche Identitäten im Zusammenhang mit der Kriegsberichterstattung und der gesellschaftlichen Diskussion über den Einsatz militärischer Gewalt oder die Probleme bei der Befriedung von Konfliktregionen eine Rolle spielten.

### 300 JAHRE ENTWICKLUNG AUF LANDKARTEN

Wie Macht in der frühen Neuzeit abgebildet wurde, will die Landeshistorikerin Prof. Sabine Holtz anhand digitaler Karten untersuchen, denn: „Letzten Endes ist eine Karte Visualisierung von

Macht.“ Gerade das heutige Baden-Württemberg eignet sich dafür als Forschungsgegenstand. Der deutsche Südwesten bestand in der Zeit von 1500 bis 1800 aus bis zu 300 Einzelterritorien. „Diese Vielgestaltigkeit führt dazu, dass es in diesen Territorien ganz unterschiedliche Karten gibt“, sagt Holtz. Diese Karten sollen in den kommenden Jahren digitalisiert und georeferenziert werden. Dabei werden die Referenzpunkte der Landvermessung auf die Karte übertragen, damit man sie verorten kann. Weil dies einen immensen Aufwand bedeutet, will die Historikerin zunächst mit dem Gebiet Oberschwaben beginnen. Denn dort gab es alle verschiedenen Ausformungen von Herrschaft: Reichsstädte wie Ravensburg und Biberach, weltliche Territorien wie die vorderösterreichischen Gebiete sowie Klosterterritorien, etwa Ochsenhausen oder Schussenried. Dies ermöglicht einen Ansatz in der Forschung: „Haben alle Herrscher ihre Herrschaft jeweils gleich präsentiert?“, fragt Holtz. „Bisher weiß man es nicht, deswegen möchten wir es einfach mal vergleichen.“

Direkt vergleichen lassen sich die Karten aber nur bedingt, denn damals wurde noch nicht maßstabsgerecht gezeichnet. Im Gesamtbild erzählen sie aber beispielsweise von der Entwicklung der Umwelt: Wo war Wald? Wann wurde er innerhalb der 300 Jahre abgeholzt? Wie bei den Maulbeerplantagen von Maulbronn lassen sich das Entstehen und die Entwicklung früher Sonderkulturen in der Landwirtschaft ergründen. Auch zivilisatorische Analysen sind möglich: Wie verliefen Verkehrswege? Waren sie schon immer auf das Zentrum fixiert?

Die Karten liegen überwiegend im Landesarchiv Baden-Württemberg. Wenn das Projekt beendet ist, werden sie im landeskundlichen Informationssystem LEO-BW für jedermann zur Verfügung stehen.

*Daniel Völpel*



© Universität Stuttgart/IFSW

### ENERGIEREICHE MIKROBEARBEITUNG

Einem Forscherteam am Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) der Universität Stuttgart ist ein weiterer Quantensprung bei der Weiterentwicklung ultrakurzer Laserpulse (UKP-Laser) vom Mittel der Forschung zum Werkzeug der Serienproduktion gelungen: Die Wissenschaftler bearbeiteten erstmals carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) mit einem Laser der Pulsdauer acht Pikosekunden bei einer mittleren Leistung von bis zu 1,4 Kilowatt und Pulsenergien von bis zu 4,5 Millijoule. Diese Kombination konnte weltweit erstmals erreicht werden. Die hohen Pulsenergien sind für viele Anwendungen und speziell für die Bearbeitung von CFK günstiger als eine hohe Pulsfrequenz.

### SOMMERSONNE FÜR DEN WINTER

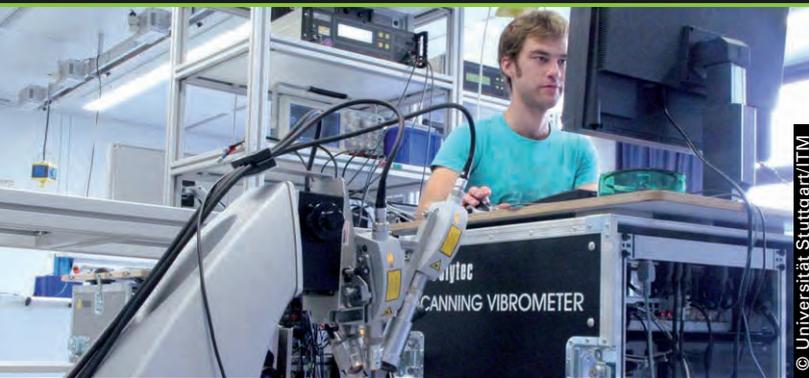
In einem neuen Forschungshaus für energieeffizientes Wohnen an der Universität Stuttgart wird ein Heizungskonzept entwickelt, das eine Solarheizung mit der Langzeitwärmespeicherung verbindet. Zentrales Element ist ein hocheffizienter thermochemischer Wärmespeicher, der es ermöglicht, die solare Wärme des Sommers zur Beheizung des Gebäudes im Winter zu nutzen. Nach mehrjähriger Entwicklungszeit soll dieses Konzept jetzt erstmals in einem Wohnhaus erprobt werden. Es basiert auf einer thermischen Solaranlage in Verbindung mit einem Sorptionswärmespeicher. Diese Technologie zeichnet sich um eine gegenüber Wasser drei bis viermal höhere Energiedichte aus und erlaubt eine kompakte und nahezu verlustfreie Wärmespeicherung.

### ERFOLGREICHER TECHNOLOGIETRANSFER

Auf Europas größter Fachmesse für Intralogistik LogiMAT wurde im Februar das Doppelkufensystem der Firma Eisenmann (Böblingen) als „Bestes Produkt“ in der Kategorie „Beschaffen, Fördern, Lagern“ ausgezeichnet. Die autonome Transporteinheit wurde am Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart entwickelt. Das Doppelkufensystem fährt selbständig unter Paletten. Bei einem Eigengewicht von weniger als 100 Kilogramm stemmt es über Rotationsbewegungen seiner vier Antriebseinheiten Lasten bis zu einer Tonne.



© Max Kovalenko



© Universität Stuttgart/ITM

## VOM MASCHINENBAU INS MITTELOHR

Ein neues Kompetenzzentrum für Laser-Doppler-Vibrometrie am Institut für Technische und Numerische Mechanik der Universität Stuttgart soll Messtechniken aus dem Maschinenbau für die Biomechanik nutzbar machen. Von den Forschungen profitieren insbesondere hörgeschädigte Menschen: Die Laser-Doppler-Vibrometrie erfasst kleinste

Bewegungen im Nanometerbereich und macht dadurch hochdynamische Vorgänge ohne Beeinflussung des Messobjekts zugänglich. Klassischerweise kommt sie in Maschinen, Robotern oder Fahrzeugen zum Einsatz. Sie lässt sich aber auch bei biomechanischen Vorgängen wie der Schallübertragung durch das Mittelohr zum Innenohr anwenden. Stuttgarter Wissenschaftler forschen seit mehreren Jahren mit Verfahren wie der Computersimulation an Implantaten, die es ermöglichen, ein durch Alter, Krankheit oder einen Unfall geschädigtes Gehör zu rekonstruieren. Neben passiven Prothesen mit der Funktion von „Ersatzteilen“ werden dabei auch aktive Prothesen entwickelt, die das eintreffende Schallsignal innerhalb des Ohres verstärken.

## LEICHTERE FLUGZEUGE

Das Institut für Flugzeugbau der Universität Stuttgart erforscht zusammen mit drei Unternehmen die automatisierte Umformung von Bauteilen für Luftfahrtanwendungen mit einem hohen Leichtbau-Potential wie etwa Strukturen von Flugzeugsitzen oder Verstärkungen von Fensterrahmen. Durch eine Vielzahl an Weiterentwicklungen sollen sowohl die Effizienz des Automatisierungsverfahrens als auch die Qualität und Funktionalität der daraus entstehenden Produkte erhöht werden. Ziel ist die materialeffiziente Herstellung der Produkte sowie eine nachhaltige Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flugbetrieb. Darüber hinaus wollen die Wissenschaftler zusätzliche Funktionen wie etwa stromleitende oder sensorische Elemente in die Bauteile integrieren. Diese Mehrwerte sollen die im Vergleich zur klassischen Metallbauweise höheren Herstellkosten rechtfertigen und die Marktchancen des Endprodukts erhöhen.



© Uli Regenschneit

## Blitzschnell rechnen

Quantencomputer versprechen Tempo und Datensicherheit – doch der Weg dahin ist noch weit

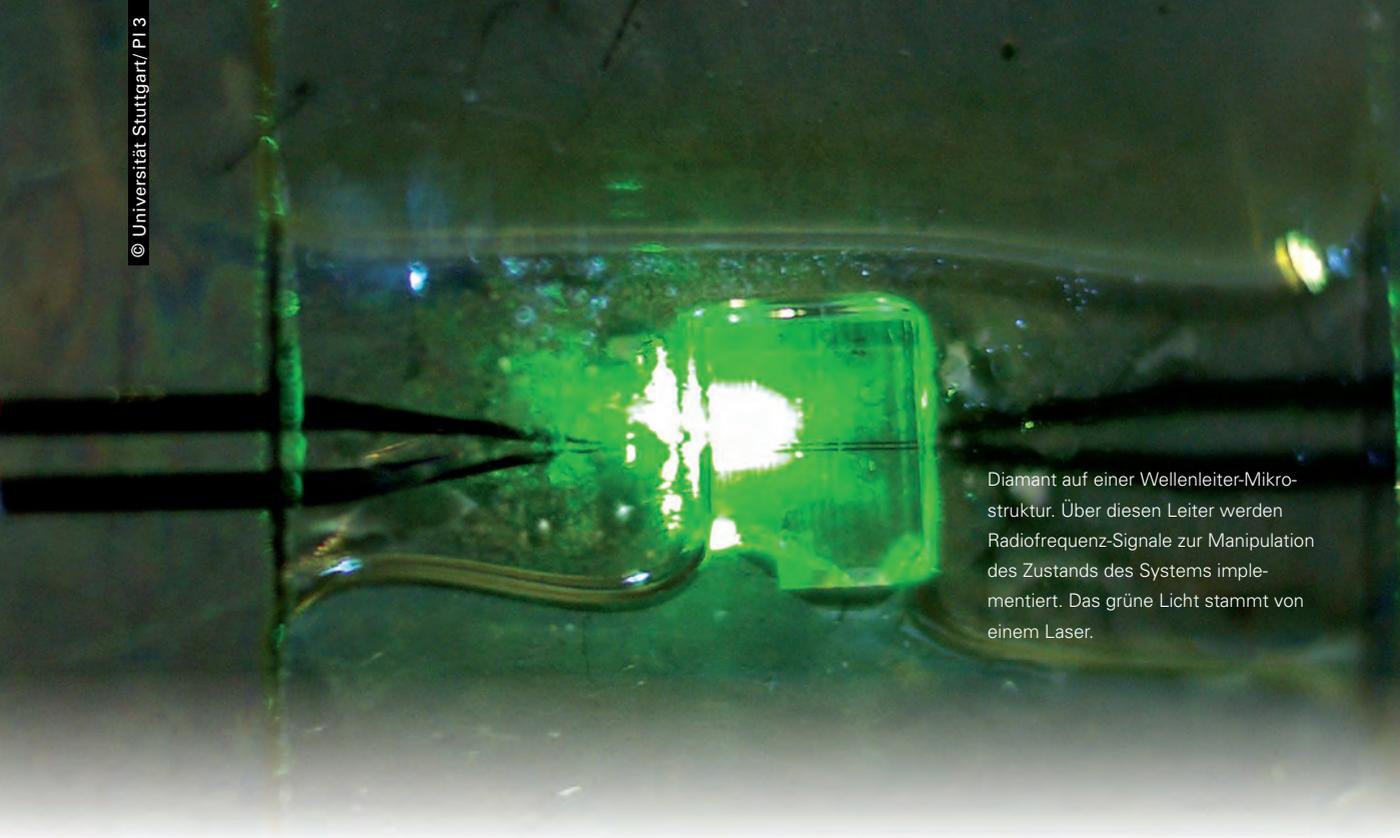
**Die Quantentechnologie wird die Art und Weise wie Computer funktionieren, drastisch verändern. Allerdings steht die Forschung noch ganz am Anfang. Physiker der Universität Stuttgart tragen mit ihren Projekten maßgeblich dazu bei, dass wir die Grundlagen des Quantencomputings und der Quantenoptik besser verstehen können. Es geht darum, Systeme zu beherrschen, die in ihrem Verhalten der Quantenmechanik gehorchen.**

Vieles, was in den vergangenen Monaten über die Abhörmaßnahmen der anglo-amerikanischen Geheimdienste bekannt geworden ist, sollte eine demokratische Gesellschaft zutiefst beunruhigen. In einem Punkt jedoch gibt es aktuell wenig Anlass zur Sorge: Gemeint ist die Meldung, dass der US-Geheimdienst NSA an der Entwicklung eines Quantencomputers arbeitet, mit dem sich sämtliche Verschlüsselungsverfahren knacken ließen. Denn bei der Entwicklung eines Quantencomputers liegen Vision und Wirklichkeit heute noch sehr weit auseinander. Wie weit, das verdeutlichen auch wichtige Projekte, an denen Wissenschaftler der Universität Stuttgart arbeiten. „Die Forschung an Quantencomputern steht heute ungefähr da, wo wir in der Mikroelektronik mit der Erfindung des Transistors in den 1940er Jahren waren“, sagt Prof. Jörg Wrachtrup, Direktor des 3. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart. Soll heißen: Es gibt wichtige Komponenten und Konzepte, aber wie man einen technisch nutzbaren, leistungsfähigen Quantencomputer aufbaut, ist bislang noch völlig offen. Und: In Sachen Rechenleistung schlagen klassische Rechner die Quantencomputer noch um Längen.

Quantencomputer funktionieren grundlegend anders als heutige Digitalrechner, wie wir sie in

Form von PCs oder Smartphones täglich nutzen. Digitalrechner gehorchen den Gesetzen der klassischen Physik, Quantencomputer den Gesetzen der Quantenmechanik. In Digitalrechnern werden die kleinsten Informationseinheiten als Bits dargestellt, jedes Bit kann genau einen der beiden Werte null und eins annehmen. Heutige Computer rechnen mit diesen Bits, bei denen zu jeder Zeit klar ist, ob sie gerade eine Null oder eine Eins repräsentieren. In Quantencomputern dagegen gibt es zwar auch die Zustände Null und Eins, aber eben auch alle Überlagerungen dieser beiden Zustände, also zum Beispiel 0,1 und 0,9 oder 0,35 und 0,65. Daher ist nicht mehr von Bits, sondern von Quantenbits – kurz: Qubits – die Rede. Ein 64-Bit-Mikroprozessor wie er heute in den meisten Rechnern zu finden ist, kann während eines Prozessortakts einen von 20 Trillionen möglichen Zuständen annehmen, ein 64-Qubit-Quantencomputer dagegen könnte aufgrund der Überlagerung alle diese Zustände gleichzeitig einnehmen. Daher kann ein Quantencomputer Berechnungen viel schneller durchführen als heutige Computer. „Schneller“ drückt die Sache vielleicht noch nicht angemessen aus: Ein Quantencomputer könnte innerhalb von Minuten Probleme lösen, an denen heutige Computer Jahrtausende zu knabbern hätten. Soweit die Theorie.

Weltweit gibt es viele Forschungsprogramme, die industriennahe Anwendungen des Quantencomputings zum Ziel haben, sagt Wrachtrup. „Seit fünf, sechs Jahren wird an diesem Thema auch wissenschaftlich geforscht, ohne dass die Ergebnisse unbedingt publiziert werden, weil die Auftraggeber Unternehmen oder staatliche Einrichtungen sind.“ In der Fachwelt gilt ein Quantencomputer in einem Labor des IT-Konzerns IBM als das derzeit am weitesten fortgeschrittene System. Er enthält 100 Qubits. „Allerdings sind



Diamant auf einer Wellenleiter-Mikrostruktur. Über diesen Leiter werden Radiofrequenz-Signale zur Manipulation des Zustands des Systems implementiert. Das grüne Licht stammt von einem Laser.

die IBM-Forscher heute nur in der Lage, mit jeweils zwei oder drei dieser Qubits gleichzeitig zu rechnen“, sagt Wrachtrup. „Berechnungen mit mehr Qubits scheitern an Störungen im System, die bislang nicht zu kontrollieren sind und daher die Ergebnisse verfälschen.“ Störungen sind ein großes Problem aller Quantencomputer und von sehr prinzipieller Natur. Das unterscheidet sie von Leckströmen oder anderen elektronischen „Problemchen“, mit denen sich die Entwickler bei heutigen Prozessoren wegen der immer kleineren Transistorstrukturen herumschlagen müssen. So können die überlagerten Zustände der Qubits durch Wärme, Vibrationen, Licht, elektrische Felder oder Magnetfelder ungewollt gestört werden. Mehr noch: Selbst das Auslesen eines Qubits, eine zwangsläufige Voraussetzung, um mit einem solchen Computer rechnen zu können, wirkt wie eine Störung – und macht die überlagerten Zustände zunichte. Aber ohne überlagerte Zustände keine Qubits und ohne Qubits kein Quantencomputer.

#### STÖRUNGEN IN DEN GRIFF KRIEGEN

„Bei wenigen Qubits lassen sich die Störungen natürlich viel leichter kontrollieren“, sagt Wrachtrup. Seinen Mitarbeitern und ihm ist es kürzlich gelungen, ein Fehlerkorrekturverfahren für das Auslesen von Qubits zu entwickeln, um Störungen in den Griff zu bekommen. Um das Prinzip zu verstehen, muss man sich die

technische Umsetzung von Quantencomputern vergegenwärtigen, also welche physischen Entsprechungen die Qubits haben. Das ist sehr unterschiedlich. Beim IBM-Quantencomputer sind es supraleitende Leiterschleifen, in denen der Strom bei sehr tiefen Temperaturen prinzipiell in zwei Richtungen fließen kann: im Uhrzeigersinn und entgegengesetzt. Jede dieser Leiterschleifen repräsentiert ein Qubit. Der Quantencomputer, den Wrachtrup und seine Mitarbeiter aufgebaut haben, sieht dagegen völlig anders aus. Er beruht auf einer Eigenschaft von Atomen und Elementarteilchen, die als Spin bezeichnet wird. Der Spin ist so charakteristisch für ein Teilchen wie seine Ladung oder Masse und lässt sich zum Beispiel durch Energiezufuhr oder ein Magnetfeld zwischen zwei Zuständen hin- und herschalten. Diese zwei Spinorientierungen dienen den Stuttgarter Physikern zum Aufbau der Qubits. Sie machen das in einem Diamanten. Im Jahr 2011 hat Wrachtrup für diese Forschung einen ERC-Grant in Höhe von 2,4 Millionen Euro von der EU bewilligt bekommen.

Ein Diamant besteht nicht nur aus gewöhnlichen Kohlenstoffatomen, sondern zu einem sehr geringen Teil auch aus Kohlenstoffatomen, die in ihren Kernen jeweils ein Neutron mehr haben. In natürlich vorkommenden Diamanten ist der Anteil dieser schweren Kohlenstoffisotope dreimal so hoch wie in den synthetischen Diamanten,

die Wrachtrup und seine Mitarbeiter nutzen. Ein solches schweres Kohlenstoffatom fungiert mit seinen zwei Spinzuständen als Qubit. „Aus der Quantenmechanik wissen wir, dass jede Fehlerkorrektur das System inakzeptabel stören würde“, erklärt Wrachtrup, „daher benutzen wir Hilfs-Qubits und kontrollieren an ihnen, ob sich am Quantencomputer etwas geändert hat.“ Sind die Spins dieser Hilfs-Qubits verändert, dann vermutlich auch der Spin des Qubits, mit dem gerechnet wird, sind die Spins der Hilfs-Qubits unverändert, läuft der Rechengang wie erhofft ab. Die Stuttgarter Physiker sind nicht die ersten, denen ein solches Fehlerkorrekturverfahren gelang. Ihr Ansatz hat aber den Reiz, dass er bei Raumtemperatur funktioniert und sich auf Systeme mit vielen Qubits übertragen lässt. „Wobei es nicht unser Ziel ist, einen technisch nutzbaren Quantencomputer zu bauen“, stellt Wrachtrup klar. „Wir betreiben Grundlagenforschung, um langfristig universell skalierbare Architekturen für Quantencomputer zu finden.“ Hierfür genügt es den Stuttgartern, ihr heutiges System, das aus nur drei Qubits besteht, auf fünf bis zehn Qubits zu erweitern. „An solchen vergleichsweise einfachen Systemen können wir die Qualität bestimmter Operationszustände ermitteln und Bewertungsmaßstäbe setzen.“ Ob man mit einem so kleinen Quantencomputer darüber hinaus noch irgendetwas anderes sinnvoll machen könne, sei unklar. Bislang konnten unter Laborbedingungen nur Quantencomputer mit maximal 14 gleichzeitig funktionierenden Qubits verwirklicht werden, von der Arbeitsgruppe um Rainer Blatt an der Universität Innsbruck. Sehr viel größere Systeme sind für die reine Grundlagenforschung zwar interessant, ihre Entwicklung aber vermutlich unattraktiv, weil der Aufwand für die Kontrolle der Qubits und die Fehler-

korrektur dramatisch ansteigen, ohne dass die Chance besteht, grundsätzlich neue Erkenntnisse zu gewinnen. Aber auch die kanadische Firma D-Wave, die für sich in Anspruch nimmt, den ersten kommerziell einsatzfähigen Quantencomputer gebaut zu haben, blieb bislang den zweifelsfreien Beweis schuldig, dass ihr 512-Qubit-System mehr leisten kann als heutige konventionelle Rechner. Die Frage ist nämlich immer, wieviele Qubits für eine Berechnung tatsächlich genutzt wurden. Immerhin experimentieren Unternehmen wie Lockheed Martin oder Google mit Systemen von D-Wave. Google zum Beispiel hat die Hoffnung, dass sich mit einem Quantencomputer Programmierfehler im Softwarecode schneller finden lassen. „Dabei handelt es sich aus mathematischer Sicht um ein Optimierungsproblem und dafür reicht womöglich bereits ein bisschen Quantencomputing aus“, sagt Wrachtrup.

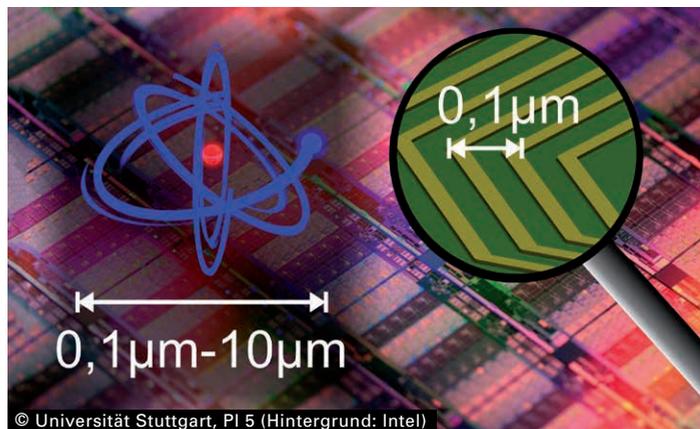
In den Augen des Stuttgarter Forschers gibt es jedoch noch ein weiteres mögliches Anwendungsfeld für Diamanten-Qubits, nämlich in der Sensorik. Dabei käme den Systemen gerade die Eigenschaft zugute, die ihnen bei der Realisierung eines Quantencomputers im Weg steht: ihre extreme Empfindlichkeit gegenüber Störungen. „Vorstellbar sind solche Sensoren für die Messung von Magnetfeldern, Temperaturen oder Drücken, aber auch hochgenaue Zeitmessungen und anderes wären möglich“, sagt Wrachtrup. Das Potenzial werde am Beispiel der Magnetfeldmessung deutlicher: „Im Vergleich zur Empfindlichkeit heutiger Sensoren in Kernspintomografen liegt die Empfindlichkeit von Qubit-Sensoren auf der Basis von Diamanten um 18 Größenordnungen höher.“ Die Industrie verfolge die Grundlagenforschung des 3. Physikalischen Instituts in diesem Bereich mit großem Interesse.

### SICHERHEITSVORSPRUNG BEI VERSCHLÜSSELUNGSTECHNIKEN

Für das Knacken von Verschlüsselungsalgorithmen würde sich ein Quantencomputer übrigens tatsächlich gut eignen. Hieraus jedoch zu folgern, dass er automatisch eine Gefahr für eine abhörsichere Kommunikation oder für gespeicherte Daten darstellt, ist voreilig, wie folgende Überlegung zeigt. Das heute gängigste Verschlüsselungsverfahren, die RSA-Kryptografie, beruht auf der Multiplikation zweier Primzahlen. Der Rechenaufwand für das Verschlüsseln ist dabei um ein Vielfaches geringer als der Rechenaufwand für die Entschlüsselung, wenn man den Schlüssel nicht kennt. Der Schlüssel ist in diesem Fall eine 1.024 Bit lange Zeichenfolge. Nach heutigem Kenntnisstand ist diese Art der Verschlüsselung sicher. Natürlich ist es eine Frage der Zeit, wann sie durch ausgeklügelte Verfahren oder durch schiere Rechenleistung geknackt werden könnte. Für einen Quantencomputer wäre das, dank seiner Fähigkeit zur parallelen Informationsverarbeitung machbar – theoretisch. Praktisch geschafft hat ein Quantencomputer bislang die Primfaktorzerlegung der Zahl 15 in die Zahlen 3 und 5. Wir bewegen uns also auf Grundschulniveau.

Die Quantentechnologie lässt sich aber nicht nur für das Knacken einer Verschlüsselung verwenden, sondern auch für die eigentliche Verschlüsselung – und damit schlägt das Pendel endgültig zu Ungunsten der Geheimdienste aus. Denn das Verschlüsseln von Informationen – egal ob mit konventionellen oder mit Quantentechnologien – ist ein serieller Prozess, der sehr viel schneller abläuft als das Knacken dieser Verschlüsselung, die ein paralleler Prozess ist. Wer mit einem Quantencomputer verschlüsselt, erreicht daher einen Sicherheitsvorsprung gegenüber jemand, der diese Verschlüsselung mit einem Quantencomputer knacken will. Doch das

Während Computerprozessoren immer kleiner werden, setzen Forscher des 5. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart auf Riesena-tome zur Quanteninformationsverarbeitung. Diese so genannten Rydberg-Atome lassen sich gezielt einzeln mit einem Laserstrahl anregen und somit als Einzelphotonenquelle verwenden.



ist noch nicht alles: Für die Quantenkommunikation gilt dasselbe wie für den Quantencomputer: Störungen – und ein Abhörversuch ist für ein quantenmechanisches System eine Störung – bleiben dem Abgehörten nicht verborgen, so dass er die Kommunikation sofort abbrechen könnte.

### RYDBERG-ATOME ALS VERBINDUNG

Im Quantencomputing geht es um mehr als das eigentliche Rechnen: Wie ein heutiger Computer nicht nur aus Recheneinheit und Speicher besteht, sondern auch aus den Verbindungen dazwischen, so ist auch ein Quantencomputer auf Verbindungen angewiesen, die selbst wiederum den Gesetzen der Quantenmechanik unterliegen. Prof. Tilman Pfau, Direktor des 5. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart, forscht mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an den Grundlagen solcher Verbindungen. Die Wissenschaftler halten eine bestimmte Klasse von Atomen, sogenannte Rydberg-Atome, für vielversprechende Kandidaten. Wie Wrachtrup hat auch Pfau im Jahr 2011 für diese Forschung einen mit 2,4 Millionen Euro dotierten ERC-Grant der EU erhalten.

In Rydberg-Atomen ist das äußerste Elektron so energiereich, dass es einen sehr viel größeren Abstand zum Atomkern hat, als wenn es sich im Grundzustand befindet. „Die Kräfte zwischen Rydberg-Atomen sind hundert Milliarden Mal stärker als zwischen denselben Atomen im Grundzustand“, verdeutlicht Pfau die Folgen. Dies führt dazu, dass sich Rydberg-Atome, wenn sie nur dicht genug zusammengebracht werden, mit einem Laserpuls nicht mehr einzeln anregen lassen, sondern nur noch im Verbund. Sie bilden quasi eine Art Superatom. Pfau und sein Team wollen nun dieses Verhalten technisch nutzbar machen. Die Idee: „Füllt man ein Rubidiumgas in eine Glaszelle, die nur wenige Mikrometer Durchmesser hat, und beleuchtet sie mit Laserpulsen, dann können die Rydberg-Atome nur ein einzelnes Photon abstrahlen“, so Pfau. Für gewöhnlich senden dagegen alle Atome Photonen aus. „Eine solche Strahlungsquelle, die einzelne Photonen abgibt, ist ideal für Anwendungen in der Quanteninformationsverarbeitung“, sagt Pfau. Ein Beispiel wäre der Aufbau eines optischen Quantencomputers, bei dem die Qubits durch die Photonen repräsentiert werden, die zwei Polarisationszustände, also zwei unterschiedliche Schwingungsrichtungen, annehmen können. Für das Funktionieren des Quantencomputers müssten diese Photonen ununterscheidbar sein – genau das, was die Strahlungsquelle der Stuttgarter Forscher leistet. Die Wege zur technischen Skalierbarkeit solcher Systeme sind prinzipiell bereits heute bekannt und nicht unrealistisch. Allerdings stehen Pfau und seine Mitarbeiter noch am Anfang. Zwar schaffen sie es, ein einzelnes Rydberg-Atom in der Mikrozelle anzuregen, sogar bei Raumtemperatur, aber die einzelnen Photonen können sie noch nicht kontrolliert erzeugen.

#### PHOTONEN IN DER FALLE

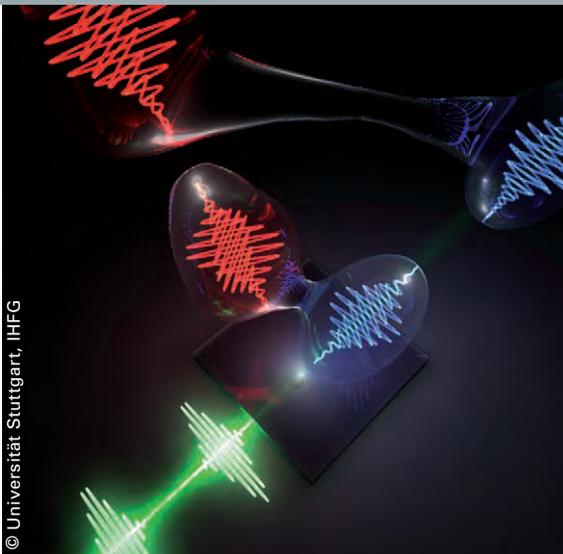
Ein anderes Beispiel für mögliche künftige Anwendungen einer Einzel-Photonen-Quelle ist die Quantenkommunikation auf Chipebene. Sebastian Hofferberth leitet am 5. Physikalischen Institut eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe, die sich mit der Frage befasst, wie sich Licht für diese Art der Quanteninformationsverarbeitung nutzen lässt. „So wie heute klassische digitale Datenströme per Licht in der Telekommunikation verstärkt und verteilt werden, so müssten sich auch künftige Quantendatenströme modulieren lassen“, sagt er. Das ist aber nicht so einfach, wenn man nur noch einzelne Photonen zur Verfügung hat. „Treffen sich zwei dieser Photonen, fliegen sie einfach durch einander hindurch“, umreißt Hofferberth das Problem. „Für eine Informationsverarbeitung muss man die Photonen aber zwischenspeichern können, was bei Partikeln, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, nicht einfach ist.“ Hier kommen wieder die Rydberg-Atome ins Spiel, diesmal bei sehr tiefen Temperaturen, weil es dann einfacher geht. Hofferberth und seine Mitarbeiter wollen die einzelnen Photonen mit Rydberg-Atomen einfangen und anschließend wieder kontrolliert aussenden. Vieles ist dabei noch unverstanden und daher geht es zunächst darum, das grundsätzliche Verhalten zu beschreiben. Auch die Forschung am 5. Physikalischen Institut verdeutlicht, dass viele Zusammenhänge im Quantencomputing noch nicht verstanden sind oder zumindest noch einen weiten Weg bis zu einer technischen Umsetzung vor sich haben. Bislang ist nicht seriös absehbar, welche Anwendungen sich im Lauf der Jahre ergeben werden. Fest steht, dass die Forschung am technisch einsetzbaren Quantencomputer nun in eine eher schwierige Phase gekommen ist. „Die ersten Erfolge mit wenigen Qubits waren stark durch die Grundlagenforschung

getrieben“, sagt Tilman Pfau. „Um beispielsweise Verschlüsselungsalgorithmen knacken zu können, sind jedoch mehr als 1.000 Qubits nötig.“ Dazwischen liege ein Bereich, der „im Vergleich zum technischen Aufwand wenig interessante Grundlagenforschung verspricht“. Andererseits könne wohl kein Ingenieur seine Vorgesetzten so einfach überreden, dass ihr Unternehmen die Entwicklung eines Quantencomputers mit 50 oder 100 Qubits finanziert, weil der Rechner wohl nicht leistungsfähiger als ein klassischer Digitalrechner wäre. Beim Transistor war das einerseits durchaus ähnlich: Seine Leistungsdaten konnten

zunächst nicht mit denen der etablierten Röhrenelektronik konkurrieren, „vielmehr ermöglichte erst der integrierte Schaltkreis den Siegeszug des Transistors“. Allerdings, so Pfau weiter, brachte der Sprung vom IC mit zehn Transistoren zum IC mit 20 Transistoren bereits einen zusätzlichen Nutzen, weil die Mikroelektronik gleichzeitig in ihren Dimensionen schrumpfte und dadurch neue Anwendungen ermöglichte. „Ob man dagegen einen Quantencomputer mit zehn oder 20 Qubits bauen kann, bringt einem für das Knacken von Verschlüsselungen keinerlei Vorteile.“

*Michael Vogel*

## Photonen auf Knopfdruck



© Universität Stuttgart, IHFG

Verschlüsselungstechnologien mit Hilfe von Quanten (Quantenkryptographie) oder das optische Quanten-Computing benötigen spezielle

Lichtzustände, so genannte ununterscheidbare und verschränkte Photonenpaare, in zeitlich exakt definierten Pulsen. Bisherige Verfahren zur deren Erzeugung führen jedoch zu eher zufälligen Ergebnissen hinsichtlich der Zahl der Photonenpaare in einem Puls. Die Folge sind Fehler in den Quantenalgorithmen. Dies schränkt deren Nützlichkeit für deterministische Quantentechnologien, bei denen es auf die Vorhersagegenauigkeit ankommt, stark ein. Physiker am Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen unter der Leitung von Prof. Peter Michler haben vor kurzem gezeigt, wie man sozusagen auf Knopfdruck einzelne ununterscheidbare und polarisationsverschränkte Photonenpaare erzeugen kann. Mit einem resonanten Zweiphoton-Anregungsprozess ist es ihnen gelungen, den Quantenpunkt mit genau zwei Elektron-Loch-Paaren anzuregen. In der Folge wird auch nur ein verschränktes Photonenpaar emittiert. Zudem sind die so erzeugten Photonen zu einem hohen Grad ununterscheidbar. *amg*

## Rechnen in der Wolke

Cloud Computing verändert die IT-Welt wie einst das Fließband die Produktion

**Die Nutzung von IT-Infrastrukturen in virtuellen Netzwerken (Cloud Computing) bringt eine der größten Veränderungen mit sich, die die Informationstechnologie bislang durchlebt hat. Doch von der flexiblen und umfassenden Bereitstellung von Speicherplatz, Rechenleistung und Programmen über das Internet sind wir noch ein ganzes Stück weit entfernt. Dass die Vision Wirklichkeit wird, daran forschen auch Informatiker und Physiker der Universität Stuttgart in verschiedenen Projekten gemeinsam mit Kooperationspartnern aus Industrie und Wissenschaft.**

Vorbei sind die Zeiten, in denen jeder seine Dateien mühselig auf der heimischen Festplatte verwalten musste. Egal, ob Apple, Google, Microsoft oder die Deutsche Telekom – bei vielen Anbietern können Privatnutzer heutzutage ihre Daten online speichern. E-Mails, Fotos, Musik und sonstige Dateien lassen sich dann mit einem beliebigen Endgerät aufrufen – mit dem Computer, Tablet oder Smartphone. Doch nicht nur Daten lassen sich so auslagern, sondern auch Anwendungen. Microsofts Office-Paket oder Googles Konkurrenzprodukt zum Beispiel gibt es aus der Cloud: Der Nutzer muss sich registrieren und kann dann die Programme, die er teils jahrzehntelang auf dem eigenen Rechner gehegt und gepflegt hat, künftig über eine Internetverbindung verwenden. Um Updates muss er sich nicht mehr kümmern. „Das Cloud Computing verändert die Informationstechnologie wie das Fließband die Autoproduktion“, sagt Tobias Binz, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Architektur von Anwendungssystemen (IAAS) der Universität Stuttgart. Denn durch die Cloud werden IT-Ressourcen – also Daten, Anwen-

dungen und Dienste – schnell, schematisiert und standardisiert verfügbar, für die früher zunächst eine, womöglich langwierige, Installation und Anpassung nötig waren.

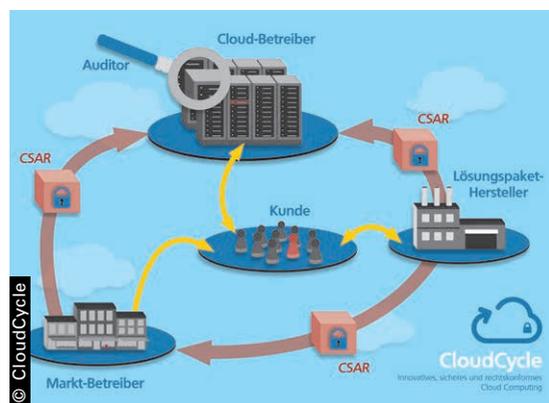
Manche Experten bezeichnen das Cloud Computing als schnellste Umwälzung, die die IT bislang erlebt hat. Doch wie immer bei drastischen Veränderungen ist noch vieles ungeklärt, wenn es um die praktische Ausgestaltung des neuen Paradigmas geht. Das gilt besonders mit Blick auf die komplexen IT-Landschaften in Unternehmen. Bei den dortigen Verantwortlichen gibt es zwar ein großes Interesse, Software bedarfsabhängig zu mieten, statt zu kaufen und Anwendungen zu nutzen, ohne sie zuvor installieren, warten und pflegen zu müssen. Aber das scheitert oft schon daran, dass es eine bestimmte Anwendung gar nicht aus der Cloud gibt. Hier setzt das Forschungsprojekt CloudCycle an, an dem die Universität Stuttgart, das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie (SIT), IBM und zwei kommunale IT-Dienstleister beteiligt sind. Seitens der Universität wirken das IAAS und das Institut für Parallele und Verteilte Systeme an dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt mit. „Viele Business-Kunden fragen ihre Softwareanbieter nach cloud-fähigen Produkten“, sagt Gerd Breiter, der seitens IBM für CloudCycle verantwortlich ist. „Manche Kunden wollen eine Anwendung aus einer öffentlich zugänglichen Cloud beziehen, andere wollen sie als privates Cloud-Angebot vom eigenen Rechenzentrum bereitgestellt bekommen.“ Und wieder andere würden eine Mischform bevorzugen, „bei der die sicherheits- und datenschutzrelevanten Teile der Cloud-Services vom eigenen Rechenzentrum angeboten werden, während unkritische Dienste aus der öffentlichen Cloud kommen“.



### TECHNISCHE HÜRDEN

Was auf dem Papier wunderbar klingt, ist technisch jedoch nicht einfach zu lösen. Der Anbieter einer Software ist nicht unbedingt identisch mit dem Dienstleister, der diese Software in der Cloud zur Verfügung stellt. Tobias Binz, der seitens des IAAS das CloudCycle-Projekt betreut, erläutert: „Bislang ist eine Anwendung sehr eng mit der zugrunde liegenden Systemwelt des Cloud-Betreibers verknüpft. Deshalb kann ein Softwareanbieter mit seinem cloud-fähigen Produkt nicht ohne weiteres vom einen zum anderen Rechenzentrumsbetreiber wechseln.“ Gerade bei privaten Clouds oder bei Hybridformen aus privaten und öffentlichen Clouds ist das ein großes Problem, weil die Sache so unflexibel wird. Daher arbeiten die Universität Stuttgart und IBM daran, die Anwendungen von einer konkreten Cloud-Infrastruktur zu entkoppeln. Das Fraunhofer-SIT ist für die sicherheitsrelevanten Aspekte zuständig. Während IBM die Technologie mit Blick auf die eigenen Produkte entwickelt hat, hatten die Wissenschaftler der Universität eine Open-Source-Lösung im Auge. Die TOSCA (Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications) getaufte Abstraktion zwischen Anwendung und Cloud-Infrastruktur ist inzwischen auch als internationaler Standard verabschiedet worden. „Es ist ein Ökosystem um TOSCA im Entstehen“, sagt IBM-Mann Breiter. „Das braucht natürlich Zeit, aber ich erwarte in der Branche bereits dieses Jahr

einige Entwicklungen auf dieser Grundlage.“ Im Projekt CloudCycle haben Binz und seine Kollegen exemplarisch eine Open-Source-Schulverwaltungssoftware mit Hilfe von TOSCA cloud-fähig gemacht. „Oft wird die IT in Schulen von einem Lehrer betreut, der das vor Jahren aus Interesse übernommen hat“, sagt Binz. „Die heutigen Systeme und Anforderungen – Stichwort Datenschutz und Rechtskonformität – werden aber immer komplexer.“ Eine cloud-fähige Variante einer Software kann dieses Problem lösen: Sie läuft nicht mehr in der Schule, sondern in der Cloud eines



Das Ziel von CloudCycle ist ein flexibles Cloud-Ökosystem aus Anbietern, Nutzern und Dienstleistern.

Rechenzentrums. Folglich sei dessen Betreiber und nicht mehr die Schule für Wartung, Sicherheit und Rechtskonformität verantwortlich. Für die Erstellung der Stundenpläne mietet sich die Schule dann über die Cloud das relevante Modul der Software für die paar Wochen während der Sommerferien, in denen die Stundenpläne gemacht werden. Für den Rest des Jahres hat sie keine laufenden Kosten mehr. Entsprechend kann sie einen teuren oder speziellen Online-Lerninhalt für alle Schüler einer Klasse nur für die jeweilige Unterrichtseinheit mieten. „Für kleine und mittlere Unternehmen oder Kommunen könnte das dank TOSCA ähnlich funktionieren“, sagt Binz.

#### *NIEDRIGERER ENERGIEVERBRAUCH*

Das IAAS wirkt auch an dem Projekt „Migrate“ mit, das untersucht, wie sich auch durch Clouds der Energieverbrauch senken lässt. Dass die Informationstechnologie in der realen Welt ein nicht zu vernachlässigender Verbraucher von Energie ist, zeigen schon allein die Zahlen, die Google 2011 veröffentlicht hat: So sind für die Beantwortung von hundert Suchanfragen bei der Suchmaschine im Schnitt rund 0,03 Kilowattstunden Energie nötig; mehr als eine Milliarde Suchanfragen bedient das Unternehmen täglich. Allein Google-Suchen erfordern also jährlich 110 Millionen Kilowattstunden elektrische Energie, was dem Jahresstromverbrauch von 22.000 Vier-Personen-Haushalten entspricht. Clouds bieten den Vorteil, dass die Server, auf denen die Anwendungen laufen, oft besser ausgelastet sind, weil sie für viele Nutzer gleichzeitig bereitstehen. Hat jeder dagegen die relevante Anwendung auf dem eigenen Server laufen, befindet sich die Anwendung womöglich oft im Leerlauf, was trotzdem Energie kostet. Die an „Migrate“ beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am IAAS untersuchten daher IT-Systeme an einem Flughafen, in einem großen Krankenhaus, in der Wohnungswirtschaft und in

einer Landesverwaltung. „Zunächst ging es darum, Verbrauchsdaten dieser realen IT-Landschaften zu erfassen und einzelnen Anwendungen zuzuordnen“, sagt Alexander Nowak, der das Projekt am IAAS betreut. Einzelne Anwendungen migrierte das Team dann exemplarisch mit Hilfe von TOSCA in eine Cloud-Umgebung und maßen erneut. Auf der Grundlage der gewonnenen Daten entwickeln die Projektbeteiligten nun Modelle, aus denen sie ableiten wollen, ob aus energetischer Sicht der Betrieb einer Anwendung im eigenen Rechenzentrum oder in einer privaten Cloud die bessere Wahl wäre.

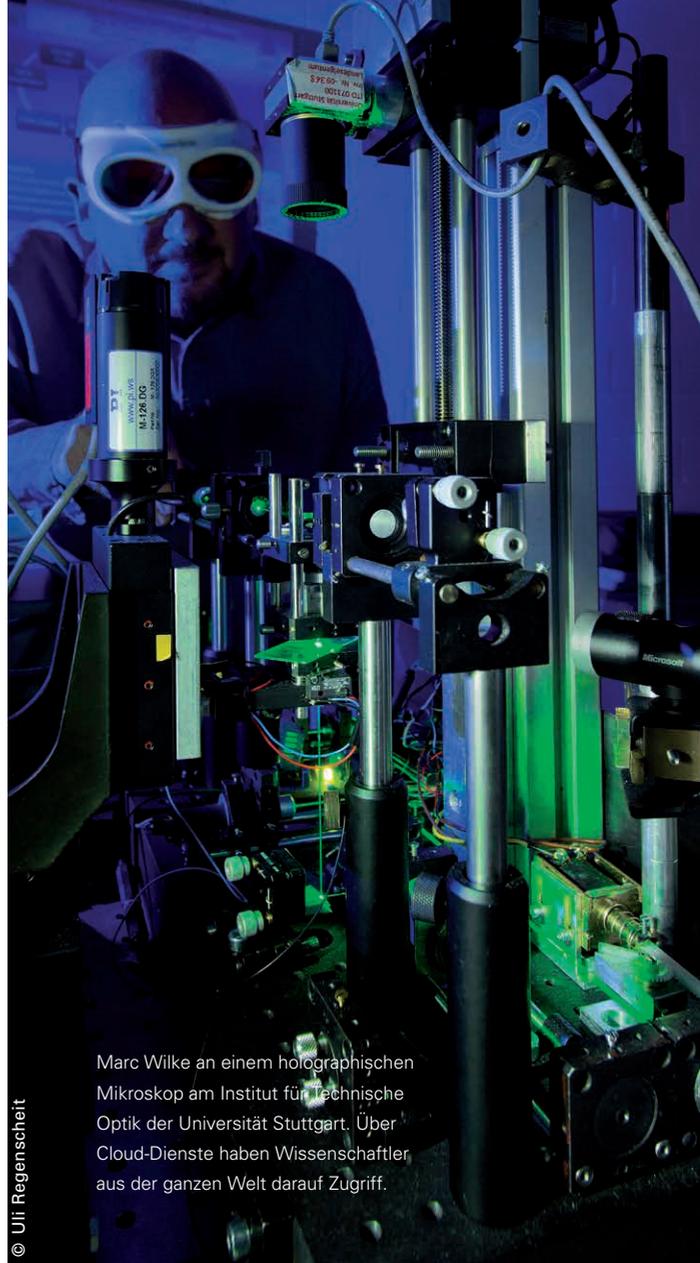
#### *FERNZUGRIFF AUF FORSCHUNGLABORE*

Dass das Cloud-Paradigma auch über die IT-Welt im engeren Sinne hinausgehen kann, zeigt die Forschung von Marc Wilke. Der wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart hat zusammen mit Kollegen exemplarisch einen komplexen Messaufbau entwickelt, der sich über Cloud-Dienste nutzen lässt. Als Messaufbau dient ein digitales holografisches Mikroskop. „So ein Ansatz ermöglicht es, komplexe, häufig teure Aufbauten in weitvernetzten Forschungsprojekten gemeinsam zu nutzen oder auch Experimente für die Lehre zur Verfügung zu stellen“, sagt Wilke. Dann kann zum Beispiel ein Experte für die Interpretation einer mikroskopischen Aufnahme irgendwo auf der Welt sein und muss sich nicht mehr zwangsläufig im Labor vor Ort befinden. In der Lehre wiederum ließen sich so experimentelle Daten von aufwändigen Messungen nutzen – und nicht nur fiktive Daten aus einer Simulation.

Ein im Vergleich dazu einfaches Beispiel für einen Fernzugriff auf Messinstrumente gibt es bereits bei astronomischen Teleskopen: Der Beobachter sitzt nicht mehr im Kontrollraum des Geräts, sondern steuert seine Messungen per Internetanbindung vom

heimischen Schreibtisch aus. „Allerdings geht unser Ansatz weiter“, sagt Wilke. „Neben der eigentlichen Steuerung eines Messgeräts und der Datenerfassung haben wir eine Softwareinfrastruktur entwickelt, um die Daten im Kontext komplexer Untersuchungen zu verwalten und weiterzuverarbeiten, sie als Rohdaten zu publizieren oder gar mit weiteren Labors zu integrieren.“ Die Arbeit am ITO war Teil des vom Land Baden-Württemberg geförderten Projekts BW-eLabs. „Unser System wird nun in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt zusammen mit der Universität Shenzhen in China weiterentwickelt“, sagt Wilke. Kooperationen mit weiteren Partnern in Japan und Taiwan seien in Vorbereitung – ganz im Sinne des Cloud-Paradigmas, wonach virtualisierbare Dienstleistungen von deren physischem Ort der Bereitstellung unabhängig werden.

*Michael Vogel*



Marc Wilke an einem holographischen Mikroskop am Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart. Über Cloud-Dienste haben Wissenschaftler aus der ganzen Welt darauf Zugriff.

© Ulf Regenscheit

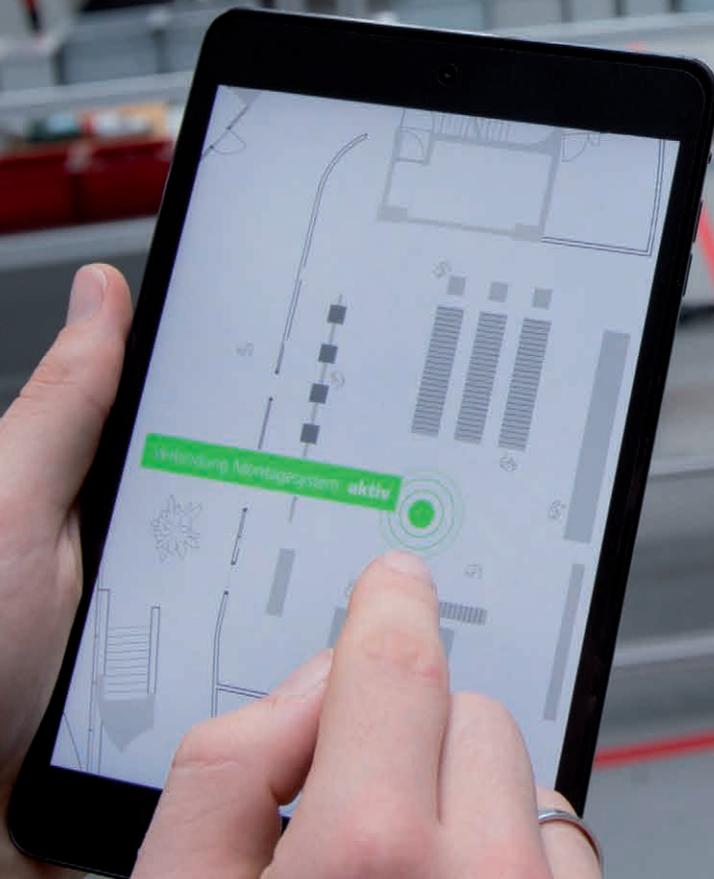
## Forschungspartner Universität

Die Wissenschaftler der Universität Stuttgart sind gern gesehene Kooperationspartner des IT-Konzerns IBM. „Mit der Universität Stuttgart verbindet uns eine langjährige und erfolgreiche Zusammenarbeit“, so Dirk Wittkopp, Geschäftsführer des Forschungs- und Entwicklungszentrums von IBM in Böblingen. „Wir schätzen vor allem die außerordentliche Expertise der Informatik- und Elektrotechnikinstitute, mit denen wir eine Reihe gemeinsamer Projekte vorantreiben.“ So hat zum Beispiel Prof. Bernhard Mitschang, Direktor des Instituts für Parallele und Verteilte Systeme der Universität Stuttgart im vergangenen Sommer einen Shared Univer-

sity Research Grant (SUR) erhalten. Verbunden mit der Auszeichnung ist die Überlassung einer leistungsfähigen Lösung für das Cloud Computing, die sich für die Lehre und für gemeinsame Forschungsvorhaben mit Industriepartnern einsetzen lässt. Die Standardisierung von Cloud-basierten IT-Services ist dafür ein Beispiel. IBM vergibt den Shared University Research Grant jährlich an wenige Universitäten weltweit in Anerkennung von wichtigen wissenschaftlichen Arbeiten, die thematisch eng mit entsprechenden Aktivitäten des Unternehmens verbunden sind und gemeinsam erfolgreich vorangetrieben werden.

*mv*

In modernen Fabrikhallen steuern sich die Produktionsanlagen weitgehend selbst. Stuttgarter Forscher entwickeln Szenarien, wie sich das auf die Arbeitswelt auswirkt.



# Industrie 4.0 – wo bleibt der Mensch?

Nach dem Durchbruch der digitalen Techniken steht die Arbeitswelt vor der vierten Revolution

**Industrie 4.0 – das ist das Stichwort für die Produktion der Zukunft: cyber-physische Systeme (CPS) steuern sich in „smarten“ Fabriken selbst, Objekte kommunizieren über ein Internet der Dinge. Wissenschaftler treibt nun um, welche Rolle der Mensch in der intelligenten Fabrik spielen wird.**

Mit den Anforderungen seines neuen Arbeitsplatzes kommt Herr C. nicht klar. Die Monotonie der industriellen Arbeit und die von Maschinen bestimmte Taktung seiner Arbeit setzen ihn zunehmend unter Druck. Er macht Fehler, gefährdet den Produktionsprozess und beginnt schließlich, den Verstand zu verlieren – zum Glück nur auf der Leinwand, denn Herr C. heißt mit vollem Namen Charlie Chaplin und war Regisseur, Autor und Hauptdarsteller des Films „Moderne Zeiten“. Vor fast 80 Jahren thematisierte Chaplin die modern gewordene Fließbandproduktion, die den Menschen immer gleiche, sich stetig wiederholende Arbeitsschritte auferlegte – die zweite industrielle Revolution nach der Mechanisierung der Arbeit durch Wasserkraft und Dampftrieb. Heute steht die industrielle Arbeitswelt nach dem Durchbruch der digitalen Technik vor ihrem vierten Umbruch. Aktuelle Schlagworte sind Industrie 4.0, Smart Factory („intelligente Fabrik“) und das Internet der Dinge.

Industrie 4.0 steht für eine digital intensiv vernetzte und weitgehend automatisierte Produktion. Maschinen kommunizieren über ein Internet der Dinge untereinander und mit Produkten, gewaltige Datenströme entstehen, die Material- und Lagerwirtschaft, Auftragsabwicklung und Produktion steuern. Nicht länger nutzt der Mensch digitale Technik, um zu produzieren – die Technik wird zum Akteur im Produktionsprozess.

Dass sich die Industriearbeit unter diesen Bedingungen verändern wird, bezweifelt kein Experte. Welche Auswirkungen Industrie 4.0 allerdings auf unterschiedliche Beschäftigtengruppen haben wird, ist im Detail unklar. Welche Szenarien denkbar sind und wie Mitarbeiter für die moderne Produktion fit gemacht werden können, beschäftigt auch in Stuttgart viele Forscher. Klar ist: So wie Filmfigur Charlie soll es im 21. Jahrhundert niemandem ergehen.

„Industrie 4.0 bedeutet für den Menschen eine neue Form der Zusammenarbeit“, sagt Bernd Dworschak von Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart. „Das Besondere ist die Fülle an Informationen in Echtzeit“, fügt der Soziologe an und erklärt: „In einer normalen Fabrikhalle stehen vielleicht zwei- bis dreihundert Maschinen. In Industrie-4.0-Dimensionen haben wir schnell 20.000 smarte Objekte, also Punkte, an denen Daten entnommen, verarbeitet und wieder abgegeben werden.“

Meist sind das Sensoren. Dank der immer günstigeren Herstellung werden aber zunehmend Werkstücke und Bauteile mit so genannten RFID-Chips ausgestattet, die es etwa erlauben, die Objekte über Funksignale auf ihrem Weg durch den Produktionsprozess ohne Unterbrechung zu verfolgen. „Objekte werden so zum aktiven Bestandteil der Produktion“, sagt Dworschak.

Interessant werden die gewonnenen Daten zum Beispiel bei der Maschinenwartung: Die Anlagen stellen Verschleiß an ihren Komponenten fest, bestellen selbstständig Ersatzteile – und könnten sich in letzter Konsequenz sogar selbst reparieren. Dworschak: „Schon heute kommunizieren Drucker, wenn sie Toner brauchen, Industrie 4.0 geht da einfach noch einige Schritte weiter.“ Das eigentliche Problem ist, die riesigen Datenmengen

Modellarbeitsplatz, auf den mit Hilfe eines integrierten Multi-Touch-Monitors die Arbeitsschritte projiziert werden können.



© Fraunhofer IPA

handhabbar zu machen. „Die Entscheidung, was mit den Informationen an den einzelnen Punkten passiert, ist die eigentliche Währung in der Industrie 4.0.“

### *NUR NOCH JOBS FÜR HOCHQUALIFIZIERTE?*

Den Soziologen Dworschak interessiert vor allem, welche Rolle der Mensch in diesem System spielen wird. „Industrie 4.0 gibt es noch nicht, es ist auch noch nicht klar, wohin die Reise gehen wird“, sagt er. Dennoch wird der Kompetenzbedarf der Zukunft bereits jetzt intensiv untersucht. Am IAT arbeitet man mit Szenarien, die aufzeigen sollen, was Produktion unter den Bedingungen cyber-physischer Systeme für unterschiedliche Beschäftigtengruppen bedeuten würde.

Der Extremfall ist nach Dworschaks Einschätzung das „Automatisierungsszenario“. Darin steuert und kontrolliert sich die Produktionsanlage weitestgehend selbst. Bestehen bleiben vor allem Arbeitsplätze für Hochqualifizierte, die etwa mit der Entwicklung solcher Anlagen oder der benötigten Web-Dienstleistungen beschäftigt sind. „Geringer qualifizierte Beschäftigte und auch Facharbeiter würden da nur noch teilweise gebraucht“, befürchtet der IAT-Forscher. Die Bedeutung erfahrener Facharbeiter könnte in diesem Szenario gewissermaßen „abgewertet“ werden durch digitale Assistenzsysteme, die etwa über Tablet-Computer

oder Datenbrillen genaue Vorgaben über auszuführende Tätigkeiten liefern. Die Mitarbeiter müssten diese lediglich umsetzen. Andere Experten sehen gerade diese Option eher positiv. „Mir ist da gar nicht so bang“, bestätigt Joachim Seidelmann, Leiter des Kompetenzzentrums Digitale Werkzeuge in der Produktion am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA). Junge Menschen seien heute meist sehr vertraut mit mobilen Endgeräten und gingen im Privatleben mit einer ungeheuren Vielzahl von Informationen in Echtzeit um. „Die wundern sich eher, wenn sie in der Fabrik an ein Maschinen-Interface kommen und nicht wischen oder touchen können“, sagt Seidelmann lachend.

Cyber-physische Systeme werden aber aller Voraussicht nach eine Verlagerung von Standardtätigkeiten mit sich bringen. „Einfache Entscheidungen werden wohl automatisiert, auf der anderen Seite werden Werker mehr Aufgaben übernehmen“, sagt Seidelmann. „Solche Mitarbeiter werden in Spezialsituationen eingreifen und für ihre Entscheidung in Echtzeit viele Informationen bekommen.“ Dies könne zu großer Flexibilität bei den Mitarbeitern führen, glaubt der Ingenieur. Es müsse nicht vorab intensiv und teuer geschult werden, der Mitarbeiter bekomme vielmehr die notwendigen Informationen für seine Aufgaben geliefert. Seidelmann berichtet von einem Modellarbeitsplatz, an dem ein integrierter Multi-Touch-Monitor die

In der Digitalen Lernfabrik am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart können Führungskräfte die Auswirkungen verschiedener Produktionsstrategien hautnah erleben.



anstehenden Arbeitsschritte auf die Werkbank projiziert. Zugleich überwache das System auch die korrekte Umsetzung. Eine 4.0-Variante, bei der das cyber-physische System zwar alle notwendigen Informationen liefert, die Mitarbeiter aber einzeln oder in Teams die Entscheidungen treffen, nennt das IAT das Spezialisierungsszenario. „Die mittlere Qualifikationsebene würde dabei in ihrer Bedeutung gestützt“, glaubt Bernd Dworschak. Dass sich eines der Szenarien in einigen Jahren exakt wie prognostiziert in der Realität wiederfinden wird, glaubt der Soziologe eher nicht: „Das sind Extrembeispiele. Es kann auch Mischformen geben, vielleicht werden sich in einzelnen Unternehmen beide Szenarien wiederfinden, letztlich ist es ja auch eine politische Frage, wo man im Betrieb Akzente setzen will.“

#### STELLENAUSSCHREIBUNGEN DER ZUKUNFT

Hauptziel der Forscher ist daher, anhand der Szenarien herauszufinden, welche Kompetenzen künftig besonders wichtig sein werden – und wie der Mensch für diese Anforderungen aus- oder weitergebildet werden kann. Noch steht die Forschung am Anfang, die Entwicklung der beiden Szenarien war am IAT einer der ersten Schritte, manches zeichnet sich dennoch bereits ab. „Für Hochqualifizierte wird vor allem interdisziplinäres Denken wichtig“, glaubt Dworschak. In den einschlägigen Stellenausschreibungen werden künftig Fähigkeiten wie Kooperationsbereitschaft und Offenheit eine verstärkte Rolle spielen, daneben ein hohes Maß an Fachkenntnissen aus unterschiedlichen Disziplinen. „Das hat aber auch viel mit Vorbildung zu tun“, sagt Dworschak. „Wir brauchen ein neues Verständnis zwischen Realem und Virtuellem.“ In diese Richtung denkt auch Seidelmann. Ein Berufsbild der Zukunft werde

der Entwickler cyber-physischer Systeme für die Industrie 4.0 sein. „Das ist die logische Weiterentwicklung des Mechatronikers“, sagt Seidelmann. Dr. Alexander Schloske, Leiter der Stuttgarter Produktionsakademie, ergänzt: „Der Entwickler für cyber-physische Systeme muss quasi Mechatroniker sein, Servicedenken mitbringen und dazu Produktionsverständnis besitzen. Dieses Berufsbild müssen wir noch aufbauen.“ Schloske ist überzeugt, dass diese Fachleute die „sehr gut bezahlten“ Spezialisten der Zukunft sein werden. Allerdings stehe die Entwicklungen dieses Berufs – gerade im universitären Bereich – noch am Anfang. Um diese Lücke zu füllen, erweitert die Stuttgarter Produktionsakademie derzeit ihr Weiterbildungsportfolio um Seminare für den Entwickler cyber-physischer Systeme.

Bei Werkern und Facharbeitern unter 60 Jahren sehen die beiden Fachleute wenig Schwierigkeiten, sie Schritt für Schritt mit Industrie 4.0 vertraut zu machen. Bislang habe die Einführung neuer Systeme sehr viel Zeit erfordert, erklärt Seidelmann. Künftig werde neue Funktionalität seiner Einschätzung nach scheinbar schrittweise eingeführt. Der Nutzer könne sich auf Mobilgeräten die benötigten Funktionen selbst zusammenstellen und ausprobieren. Der Vorteil von Industrie-4.0-Techniken sei, dass sie mit relativ wenig praktischem und finanziellem Aufwand stückweise eingeführt werden könnten. Dr. Schloske zieht einen Vergleich: „Wer ein neues Smartphone hat, kann sich stundenlang mit den Funktionen beschäftigen, aber niemand liest hunderte Seiten in einem Software-Handbuch.“ Das Spielerische an Smartphones oder Tablets liege den Menschen, daran lasse sich auch bei der Einführung cyber-physischer Systeme anknüpfen. An der Stuttgarter Produktionsakademie wurde daher eine Lernfabrik aufgebaut, in der etwa Führungskräfte in Lernsituationen das Arbeitsumfeld



Dr. Alexander Schloske, Leiter der Stuttgarter Produktionsakademie

organisieren können. „Es ist faszinierend zu sehen, wie dann in kürzester Zeit die Fabrik umgestaltet wird, bis das Optimum erreicht ist“, sagt Schloske. Beide sehen im Bereich cyber-physischer Systeme allerdings auch einen entscheidenden Markt

der Zukunft. „Wenn wir Weltmarktführer im Anlagenbau bleiben wollen, müssen wir unsere Produkte in Richtung CPS weiterentwickeln“, sagt Seidelmann.

*Jens Eber*

## Lernfähige Roboter



Bisher werden Roboter für bestimmte Fertigkeiten programmiert und müssen bei neuen Aufgaben durch Spezialisten umprogrammiert werden. Prof. Marc Toussaint vom Institut für Parallele und Verteilte Systeme der Universität Stuttgart erforscht dagegen lernfähige Roboter. Diese können bei wechselnden Anforderungen durch Mitarbeiter vor Ort neu trainiert werden und reifen zu deren persönlichen Assistenten. Das wird die Arbeitswelt verändern.

Der Roboter im Büro von Prof. Toussaint besticht durch seinen Erkundungsdrang. Kommt er in eine neue Umgebung, rütteln die Greifarme an allem, was sich bewegt, beginnen an Schubladen zu ziehen oder Türen zu öffnen. „Auf diese Weise

lernt der Roboter, die Welt zu verstehen“, erklärt Toussaint. Er lässt sich aber auch von Menschen belehren: Verknüpft ein Trainer beispielsweise die Worte „Tür auf“ mit der Demonstration der entsprechenden Handlung, so kann der Roboter dieses Verhalten erlernen.

Das Verhaltenslernen ist ein Zweig des maschinellen Lernens. „Dabei geht es darum, das Lernen zu verstehen, indem man Systeme baut, die lernen“, erklärt Toussaint. Dahinter stehen abstrakte mathematische Algorithmen, doch die Anwendungen sind sehr konkret: Lernfähige Systeme nutzen allen, die große Datenmengen sammeln, das reicht von Google über Autobauer bis hin zu den Neurowissenschaften oder der Medizin. *amg*

Wie der Ludwigsburger Bahnhof künftig aussehen wird, ist noch nicht bekannt. Eine der Möglichkeiten zeigt diese Visualisierung.



## Ein Verkehrsknotenpunkt zum Wohlfühlen

Der Bahnhof von morgen ist vernetzt

**Bislang gilt der Bahnhof von Ludwigsburg als unansehnlich, unpraktisch und beengt. Doch die Stadtverwaltung und die Bahn haben sich vorgenommen, den siebtgrößten Bahnhof Baden-Württembergs in einen Wohlfühlort zu verwandeln. Was dazu nötig ist und welche ganz neuen Auftragsfunktionen die Station bald erfüllen soll, ermitteln auch Wissenschaftler der Universität Stuttgart. Die Ergebnisse haben Modellcharakter für die Mobilität der Zukunft.**

Unter dem Stichwort Ludwigsburg Intermodal (LUI) untersuchen die Forscher, wie die verschiedenen Funktionen des Bahnhofs mit täglich 50.000 Reisenden und Pendlern optimiert werden können. Zudem sollen elektromobile Verkehrsmittel an Bahn, Bus und Parkhäuser angebunden werden. „Im Grundsatz geht es bei LUI um die Frage, was ein Musterbahnhof erfüllen muss“, erklärt Karsten Hager, Mitarbeiter der interdisziplinären Forschungsgruppe Stadt-Mobilität-Energie am

Städtebau-Institut (SI) der Universität Stuttgart. Fünf Kriterien seien dabei entscheidend: Wohngebiete und Verkehrsnetze zu verknüpfen, das Bahnhofsumfeld und die Identifizierung mit dem Bahnhof zu verbessern, Handel und Dienstleistungen zuzulassen, den Wechsel der Verkehrsmittel zu optimieren sowie die Potenziale für lokale Energiekonzepte auszuschöpfen.

Zusätzlich begleitet das SI das Projekt, das im Rahmen des baden-württembergischen Schaufensters Elektromobilität und anderen Projekten der Region „LivingLab BWe mobil“ mit 1,5 Millionen Euro gefördert wird, mit sozialwissenschaftlichen Studien. Dazu gehört auch die Beteiligung der Bürger, etwa in Workshops. Die Wissenschaftler untersuchen die Wegeketten und die Entscheidungen für das jeweilige Verkehrsmittel. Um die unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzergruppe zu berücksichtigen, gibt es mehrere Planungswerkstätten. Dort monierten die Teilnehmer zum Beispiel, dass es am Bahnhof zu eng zugeht.

In einem zweiten Schwerpunkt überprüft das Team aus Architekten, Geografen und Soziologen das

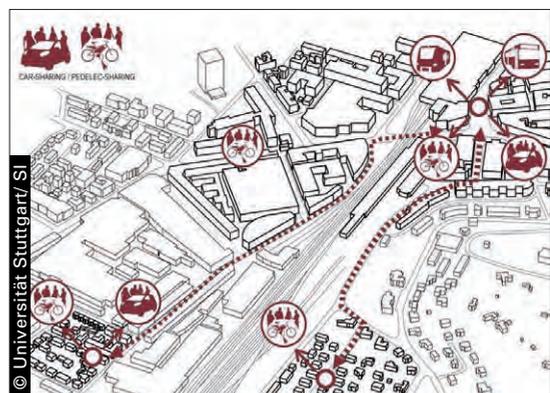
Potenzial des neuen Verkehrsknotens für den kommunalen Klimaschutz und die Elektro-Mobilität. Dazu sollen am Bahnhof und in unterschiedlichen Wohnquartieren Elektrofahräder vermietet werden, mit denen die Fahrgäste die letzten Meter nach Hause zurücklegen – unabhängig vom Busfahrplan, günstiger und umweltfreundlicher als mit dem Taxi. Zusätzlich prüfen die Stadtplaner, wie und wo sich Energie zum Laden erzeugen lässt. Auch ein Carsharing-Anbieter könnte am Bahnhof Ludwigsburg stationiert werden. Priorität haben aber die Pedelecs. „Am Anfang steht die Frage: Wie wird es angenommen?“, sagt Hager. „Das kann man nicht komplett abschätzen.“

Damit möglichst viele Ludwigsburger die Räder nutzen, sollen an vier Standorten im Stadtgebiet Leihstationen für die Rückgabe des Pedelecs entstehen. Möglichst viele Probleme klären die Wissenschaftler vorab: Wo genau sollten die Fahrradständer am besten aufgebaut werden? Wo wohnen potenzielle Nutzer? Wie ist dort die Stromversorgung? Wie gestaltet man den Ausleihprozess einfach? Das alles klärt eine elektromobile Quartierstypologie. Dazu befragt das SI die Anwohner und analysiert, wo freie Flächen für die Stationen liegen. Forschungsgruppenleiter Prof. Wolfgang Rid sieht Ludwigsburg als Testfeld an, denn für eine Mittelstadt ist diese Form der Analyse neuartig. „Wir testen die Konzepte in einer Art Stadtlabor, um zu sehen, wie die sich die Theorie in der Praxis bewähren“, sagt Rid. „Unser Ziel ist der Transfer, sodass wir Handlungsempfehlungen für andere Städte geben können.“ Und die Ludwigsburger Pedelec-Stationen sollen sich bis zum Projektende selbst tragen. „Ich glaube, dass es funktionieren wird“, so Rid.

#### DIGITAL GESTEUERTER MARKTPLATZ

Ein völlig neuartiges Element des Bahnhofs für alle Lebenslagen soll eine Multifunktionsbox

In Verbindung mit Sharing-Modellen am Bahnhof bekommt die Verknüpfung der Verkehrsträger eine neue Dimension.



werden, die das Institut für Arbeitswissenschaft für Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart entwirft. Bei der so genannten Yoloma-Box handelt es sich um ein etwa zwei Meter hohes und fünf Meter breites Schließfachsystem, wie Frieder Schnabel vom IAT erklärt. Man kann sich die Box ein bisschen wie die Packstationen von DHL vorstellen und als Ablageort für nutzen. Aber noch für Vieles mehr. Denn die Multifunktionsbox soll als Übergabestation für alles dienen, was man auf dem Weg vom oder zum Bahnhof erledigt. Daher auch der Name: Your local market place, kurz Yoloma, soll die Internetseite und die App zur Bedienung heißen.

Wenn also das Auto zur Inspektion muss, stellt man es in Bahnhofsnähe ab und hinterlegt den Schlüssel in einem Fach. Die Werkstatt holt das Fahrzeug und stellt es abends wieder bereit. Dazu sind die Schließfächer in verschiedenen Größen mit einem Code per Smartphone zu öffnen. Auch der Tauschgedanke soll mit der Box in der Stadt etabliert werden. „Sharing Economy ist ein neuer Trend“, sagt Schnabel. Wer etwa ein Spezialwerkzeug braucht, aber keines hat, sucht auf der eigens entwickelten Homepage nach jemandem, der dieses Gerät



Ein am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik entwickelter multimodaler Fahrkartenautomat lässt sich auch mit Gesten steuern.

© Uli Regenscheit

verleiht. „Als Übergabeort kann die Box dienen.“ Wer mit dem Pedelec ankommt, kann den leeren Akku einschließen und darin nicht nur sichern, sondern auch laden. „Lokale Geschäfte können ihre Waren dorthin bringen und ich habe die Möglichkeit, sie auch nach Ladenschluss abzuholen“, nennt Schnabel ein weiteres Beispiel. Für einen Teil der Fächer ist dazu eine Kühlung im Gespräch. Andere haben Hemdengröße, sodass man die zu reinigende Wäsche hineinhängt und sie sauber abholt. Im Januar 2015 soll die Box in Betrieb gehen.

#### DER TICKETAUTOMAT, DER JEDEN VERSTEHT

Wie die Zukunft des Fahrscheinkaufs aussehen könnte, auch wenn das für den Ludwigsburger Bahnhof noch nicht eingeplant ist, haben Farzan Yazdi und seine Kollegen vom Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik der Universität Stuttgart untersucht. Sie entwickelten einen multimodalen Fahrscheinautomaten, der sich seinem Nutzer und der Umgebung anpasst. So muss der Bildschirm nicht mehr berührt werden. Er erkennt auch Gesten, wenn etwa ein Rollstuhlfahrer nicht an das Display kommt. Sehbehinderte können

ihn über eine Sprachsteuerung bedienen, Kontrast und Lautstärke verändern sich je nach Licht und Lärm. Über einen kleinen Chip mit anonymen Informationen in der Hosentasche kann der Automat auf Wunsch erkennen, welche Bedienung der Nutzer benötigt. Auch regelmäßige Fahrstrecken lassen sich darauf hinterlegen. Der Weg zur Fahrkarte läuft über nur vier Schritte. Zudem ist die Benutzeroberfläche auf Automaten, Homepages und Mobilgeräten einheitlich. „Heute existiert eine Vielzahl von Plattformen“, sagt Yazdi. Die Software zu gestalten, dass sie überall läuft, stelle eine große Herausforderung dar. „Wir wollten zeigen, wie es prinzipiell funktionieren könnte und welchen Mehrwert es hat.“ Womit der Automat am Ludwigsburger Bahnhof bestens platziert wäre: Denn dort könnte man den Nutzen spätestens in zwei Jahren erleben.

Daniel Völpel

# Automatisierung des Individuellen

Computerbasiertes Design schafft eine neue Architektur

**Der Baustoff – Buchenholz – hat Tradition, die Verbindungen kennt man von einer Ikea-Kiste und den Fertigungsroboter aus der Industrie. Was daraus entsteht, wenn in Entwurf und Bauausführung der Computer die Regie übernimmt, dürfte die Architektur grundlegend verändern.**

Klassische Architektur-Lehrbücher bieten klare Rezepte: Geometrie bestimmt Konstruktionsprinzip bestimmt Typologie bestimmt Bauform. „Das wollen wir umkehren“, sagt Prof. Achim Menges, der Leiter des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen der Universität Stuttgart. „Wir suchen Lösungen, die das Bauen außerhalb der etablierten Typologien und Formen ermöglichen.“ Wie das geht, erläutert Menges am Beispiel der alt-bekanntes Fingerzinkenverbindung. Diese verbindet zwei Holzplatten, indem die Finger des einen Teils in die Lücken des anderen greifen – und zwar üblicherweise im rechten Winkel. „Wenn man die Flächen in abweichenden Winkeln zusammensetzt, wird eine erheblich erweiterte geometrische Bandbreite vorstellbar und es können völlig neue Gebäudeformen entstehen“, erklärt Menges. Er zeigt auf einen Forschungspavillon, den er und sein Team gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (Prof. Jan Knippers) und Studierenden 2011 errichtet haben. Die Gebäudehülle ist mal wie ein Ball nach außen, mal mit einer Doppelkrümmung nach innen gewölbt. Doch die Rundungen täuschen: Tatsächlich besteht die Hülle aus 850 verschieden großen Holzplatten, die durch 100.000 Zinken in unterschiedlichen Winkeln miteinander verzahnt sind. Ein solches Gebäude am Zeichenbrett zu entwerfen, ist unmöglich. Denn die komplexe Konstruktion erfordert die

Erfassung einer Vielzahl an Parametern und einen gigantischen Rechenaufwand. Eine besondere Herausforderung ist die Baustatik. „Fingerzinken-Verbindungen können sehr gut Schubbelastungen an den Plattenrändern übertragen, halten aber nur sehr geringen Biege- und Zugkräften stand. Das kann bei großen Plattenkonstruktionen zu Schwierigkeiten mit der Stabilität führen“, erklärt Menges.

## SEEIGEL ALS VORBILD

Die Lösung für dieses Problem liefert die Natur, und zwar in Gestalt einer Seeigel-Unterart, die in der Brandungszone lebt. Den enormen Kräften, die dort walten, kann das Seeigel-Gehäuse unbeschadet widerstehen, weil es aus polygonalen Platten besteht, die durch mikroskopische Kalzitprojektionen miteinander verzahnt sind – ganz ähnlich wie die Fingerzinken. Je drei Platten laufen an einem Punkt zusammen, was die Struktur besonders belastbar macht.

Gemeinsam mit Biologen der Universität Tübingen untersuchten die Stuttgarter Architekten und Ingenieure die biomimetischen Prinzipien dieser Struktur und leiteten daraus acht Regeln ab. Diese wurden in den computerbasierten Entwurfsprozess integriert. Herausgekommen ist dabei ein Algorithmus, der aus den eingegebenen Parametern eine ganz individuelle Gebäudeform errechnet und den Pavillon fast wie von Geisterhand auf dem Bildschirm entstehen lässt. Die Konstruktion sieht nicht nur ungewöhnlich aus, sondern ist auch besonders leistungsfähig: der gesamte Pavillon konnte aus lediglich 6,5 Millimeter starken Sperrholzplatten gebaut werden. Architektonische Neuartigkeit und Ressourcenschonung gehen hier Hand in Hand.

Ein solches Gebäude seriell und mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand zu bauen, ist die



Mit Industrierobotern lassen sich ressourcenschonend individualisierte Bauteile realisieren, die besonders tragfähig sind.

Forstpavillon auf dem Gelände der Landesgartenschau 2014 in Schwäbisch Gmünd.



© Universität Stuttgart/ICD/ITKE/IIGS



© Universität Stuttgart/ICD/ITKE/IIGS

nächste Krux. Dass es geht, haben die Stuttgarter Wissenschaftler gemeinsam mit dem Roboterhersteller KUKA, dem Holzbauunternehmen MüllerBlaustein und anderen Partnern an einem nierenförmig geschwungenen Muster“haus“ unter Beweis gestellt, das noch bis Oktober auf der Landesgartenschau in Schwäbisch Gmünd zu sehen ist. Das von der Europäischen Union und dem Land Baden-Württemberg mit insgesamt 425.000 Euro geförderte Projekt führt die Vorteile der Roboterfertigung mit computerbasierten Entwurfs- und Simulationsverfahren sowie den dreidimensionalen Messtechniken von Architekten und Ingenieuren zusammen. Allerdings sind Industrieroboter traditionell auf Abläufe mit vielen Wiederholungen ausgerichtet. Sie für einen Fertigungsprozess zu programmieren, bei dem jede Platte anders aussieht und der doch automatisiert ablaufen soll, ist mit Standard-Software nicht zu kriegen. Die Steuerungsprogramme müssen eigens geschrieben werden. Doch der Aufwand lohnt sich: Für die Unterneh-

men, weil das Anwendungsspektrum der digitalen Fabrikation auf den mittelständisch geprägten Holzbau erweitert und die Wettbewerbsfähigkeit der Firmen gestärkt wird. Für die Umwelt, weil mit einem Mehr an Form ein Weniger an Material erreicht werden kann. Und für die Architekten, weil computerbasierte Planungs- und Fertigungsverfahren mehr Freiheit geben für die Entwicklung innovativer, ressourcenschonender und flexibler Baukonstruktionen.

Futuristisch möchte Menges die faszinierenden Bauten zwar nicht nennen, denn „die Technologien sind ja schon da“. So aussehen tun sie aber schon.

*Andrea Mayer-Grenu*

# EISENMANN

Was haben

Sportwagen,  
Kaffeetassen,  
Waschmaschinen,  
Strom und Tulpen  
gemeinsam?

Am Anfang steht Eisenmann.

Mit Ideenreichtum und Leidenschaft entwickeln und bauen unsere Mitarbeiter in der Verfahrenstechnik, Oberflächentechnik, Fördertechnik, Automatisierungstechnik und Umwelttechnik Großanlagen nach individuellen Kundenbedürfnissen.

Als international aufgestelltes Familienunternehmen im Großraum Stuttgart bieten wir Ihnen ein breites Aufgabenspektrum in einem dynamischen Umfeld.

Starten Sie Ihre Karriere bei Eisenmann als:

- **Young Professional**
- **Professional**

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!





## Goldener Weg oder goldene Nase?

Freie Forschungsergebnisse haben einen Preis

**Immer mehr Geldgeber verlangen von Wissenschaftlern, dass diese die Ergebnisse ihrer Arbeit für alle frei lesbar veröffentlichen. Auch das neue Landeshochschulgesetz für Baden-Württemberg greift den Open-Access-Gedanken auf. Dank der Digitalisierung und dem Internet ist dies auch möglich. Das hat weitreichende Folgen für die Publikationspraxis und bringt nicht nur Vorteile. Doch viele Forscher, Universitäten und auch die Industrie profitieren.**

Mehr als zehn Jahre nach seinen Anfängen sorgt der offene Zugang zu wissenschaftlichen Texten, englisch Open Access (OA), für heftige Kontroversen in Wissenschaft, Politik und Verlagswesen. Das stärkste Argument für OA in Deutschland lautet: Die meisten Forscher werden mit Steuergeldern bezahlt. Für deren Ergebnisse muss der Steuerzahler bisher aber ein zweites Mal aufkommen. Denn die herkömmlichen Fachzeitschriften, in denen die Wissenschaftler publizieren, muss die

Universitätsbibliothek (UB) teuer kaufen. Inzwischen hat jedoch die Open-Access-Bewegung, die mit dem Siegeszug des Internets und der Berliner Erklärung der Forschungsorganisationen 2003 in Fahrt kam, eine Eigendynamik entfaltet, die Forscher in Zugzwang bringt. Ein Beispiel dafür gibt Dr. Harald Giessen, Professor für Physik an der Universität Stuttgart: „In Deutschland haben viele Universitäten aus Kostengründen kaum noch Zeitschriften abonniert. Diese Sparwut sorgt dafür, dass man sich oft auf Open-Access-Zeitschriften verlassen muss.“

Hintergrund ist, dass viele Fachzeitschriften ihre Abo-Preise in den vergangenen Jahren extrem erhöhten. Das bestätigt Dr. Matthias Schulze, Open-Access-Beauftragter der Universität Stuttgart und Mitarbeiter der Universitätsbibliothek: „Wir sind als Bibliothek sehr starke Befürworter von Open Access. Schon alleine, weil es eine Alternative zu jenen Zeitschriften der Wissenschaftsverlage darstellt, deren Abo-Gebühren drastisch steigen.“ Denn bei OA wird der Bezahlprozess umgekehrt: Der Autor selbst gibt für die Veröffentlichung

Befürwortet das freie Publizieren:  
Dr. Matthias Schulze, der Open-  
Access-Beauftragte der Universität  
Stuttgart, vor dem Zeitschriften-  
bestand in der Bereichsbibliothek  
Mathematik.



© Uli Regenscheit

einen Zuschuss aus seinem Forschungsetat. Er könne sich das Geld aber von Fonds der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) oder der Europäischen Union wieder holen, erklärt Schulze. Für den Leser dagegen ist die Zeitschrift kostenfrei. Nicht ganz zu Unrecht heißt dieses Verfahren „Goldener Weg“. Denn selbst die Wissenschaftsverlage können ihm Positives abgewinnen. „Der Goldene Weg kann als Geschäftsmodell funktionieren“, sagt Matthias Ulmer, Geschäftsführer des Stuttgarter Eugen Ulmer Verlags und Vorsitzender des Verlegerausschusses des Börsenvereins des Deutschen Buchhandels.

Doch auch den Goldenen Weg nutzen einige, um sich eine goldene Nase zu verdienen und die Forscher zu schröpfen, kritisiert der Physiker Giessen – obwohl das Herausgeben wissenschaftlicher Zeitschriften ohnehin eines der profitabelsten Geschäfte sei. Die renommierten Verlage wie die Nature Publishing Group ließen sich ihren Namen

mit Zuschüssen von mehr als 3.000 Euro bezahlen – deutlich mehr, als der Wissenschaftler aus dem Fonds erhält. Andere hätten ihre Standards gesenkt und würden praktisch alle Artikel veröffentlichen, die eingereicht werden. „Es wird eine Menge an schnellen Mitnahme-Publikationen geben, die alles veröffentlichen, weil es auf den Inhalt nicht ankommt, sondern auf den Publikationszuschuss“, befürchtet auch Ulmer. Rund 10.000 Open-Access-Journals sind in der internationalen Datenbank DOAJ inzwischen gelistet. Matthias Schulze meint zwar: „Ein Wissenschaftler will an Stellen gelesen werden, die ein seriöses Umfeld bieten.“ Doch Normalnutzer, die sich über wissenschaftliche Studien informieren wollen, können nicht erkennen, ob diese unter anerkannten Standards erstellt und publiziert werden. In einem weiteren Punkt sind sich Wissenschaft und Verlage gegenüber der Politik einig: Ein Zwang zu Open Access, wie in diesem Jahr bei der Änderung des baden-würt-

tembergischen Landeshochschulgesetzes zunächst angedacht, lehnen sie ab. Doch auch die EU macht inzwischen strenge Vorgaben, dass Forscher, die Gelder erhalten, frei publizieren müssen. Einzelne Fachbereiche könnten unter OA sogar leiden, befürchtet der Verleger Ulmer: „In vielen Bereichen, wie zum Beispiel den Geisteswissenschaften, gibt es keine Forschungsetats.“ Geisteswissenschaftler seien von der Thematik aber nur am Rande betroffen, gibt Schulze zu bedenken: „Sie veröffentlichen in hohem Maße Monografien.“ Eine Tendenz, auch diese Bücher frei zugänglich zu veröffentlichen, gibt es jedoch bereits.

Als weiteren positiven Aspekt von Open Access hebt Schulze die Entwicklungshilfe hervor: „In armen Ländern haben Forscher oft kein Geld, teure Zeitschriften zu abonnieren.“ Ulmer weist jedoch auch auf die Kehrseite hin: Die Industrie greife auf Forschungsergebnisse kostenlos zu, um damit Geld zu verdienen.

Noch umstrittener ist der Grüne Weg, die zweite Möglichkeit von OA. Hier veröffentlicht der Wissenschaftler wie bisher in einer kostenpflichtigen Zeitschrift. Er behält sich jedoch das Recht vor, den Text nach einem Jahr auch frei zu publizieren. Die Verlage sorgen sich, dass ihnen dies die Geschäftsgrundlage entzieht: Sie müssen die Druckkosten stemmen und das Peer-Review organisieren. Bei diesem gängigen Verfahren zur Qualitätssicherung prüfen mehrere Wissenschaftler desselben Fachgebietes einen Artikel vor der Drucklegung. Auf dem Grünen Weg erhalten Interessierte den Text dann aber kurz darauf kostenlos.

#### *UNI STUTTGART UNTERSTÜTZT AUTOREN*

Zudem weisen die Verleger darauf hin, dass es ohne sie nicht geht: „Die Unibibliotheken sind nicht darauf eingerichtet, die Aufgaben von Verlagen zu übernehmen“, sagt Matthias Ulmer.

Im Moment tun sie dies, auch in Stuttgart. Ob die Vorstellungen des neuen Landeshochschulgesetzes in allen Punkten durchführbar sind, wird sich weisen müssen. Doch grundsätzlich begrüßt die Universität Stuttgart, dass Erkenntnisse wissenschaftlicher Forschung möglichst frei zugänglich sind und unterstützt dies in konkreten Projekten. So hat der Technikpädagoge Prof. Bernd Zinn vom Institut für Erziehungswissenschaften der Universität Stuttgart im vergangenen Jahr eine OA-Zeitschrift gegründet, das Journal of Technical Education – mit technischer Unterstützung der Unibibliothek. Für Zinn liegt der Vorteil der Veröffentlichung im pdf-Format darin, dass die Artikel weltweit gelesen werden und sich rasch verbreiten. „Open Access hat für viele Wissenschaftler eine hohe Relevanz, damit sie ihre Ergebnisse auch zeitnah einem breiten Publikum zugänglich machen können“, sagt er. Mit ihrem Opus-Server stellt die UB die Infrastruktur zur Verfügung. Dieses Projekt begann als Datenbank für Dissertationen. Inzwischen enthält es mehr als 8.300 wissenschaftliche Beiträge aller Art. Darunter sind rund 70 OA-Publikationen seit 2011, die über einen Publikationsfonds der DFG bezuschusst wurden. Während die Debatte um Open Access weiter geht, kommt bereits das nächste Thema in diesem Zusammenhang auf: Unter dem Stichwort Open Data mehren sich die Stimmen, die fordern, dass Wissenschaftler auch die Ausgangsdaten ihrer Forschung zugänglich machen sollen. Dies könnte viel Geld und Arbeit sparen, da Datensätze oft aufwändig mehrfach erhoben werden. Doch urheberrechtliche Bedenken und die Angst vor Ideenklau sorgen für Vorbehalte. Die Diskussion läuft – Ende offen.

*Daniel Völpel*



(v.l.) Prof. Günter Tovar, Eva Hoch und Kirsten Borchers am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie.

# Gewebe per Strg+P

Der 3D-Druck von Organen ist keine Fiktion mehr

**Schon in wenigen Jahren könnten künstliche Gewebe aus dem 3D-Drucker Tierversuche ersetzen, später sogar Unfallopfern oder Schwerkranken transplantiert werden. Stuttgarter Forscher haben etliche Hürden auf diesem Weg bereits genommen.**

Behutsam hält die Doktorandin Eva Hoch im Labor eine Petrischale gegen das Tageslicht. In einer violett eingefärbten Flüssigkeit liegen zwei milchig-weiße Scheiben von der Größe eines Eurostücks. Was Hoch in Händen hält, kommt Knieknorpeln schon recht nahe, Ersatzteile, frisch ausgedruckt.

Künstliche, dem menschlichen Original aber sehr ähnliche und sogar durchblutete Organe und Körperteile aus dem 3D-Drucker – das klingt für den Laien nach Science-Fiction aus Hollywood. Eine neue Leber per Strg+P? „Davon sind wir mit Sicherheit noch Jahrzehnte entfernt“, sagt Prof. Günter Tovar, stellvertretender Leiter des Instituts für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie der Universität Stuttgart (IGVP). Dennoch ist der 3D-Druck von Organen längst kein reines Gedankenspiel mehr: Die dreidimensionale Drucktechnik hat in den vergangenen Jahren riesige Fortschritte gemacht, zudem haben Stuttgarter Forscher geeignete Materialien entwickelt, aus denen sie in Zukunft komplex strukturierte Organe herstellen könnten.

„Grundsätzlich wollen wir die Voraussetzungen dafür schaffen, dass man alle Weichgewebe im Druckverfahren herstellen kann“, bestimmt Chemiker Tovar die Zielrichtung. Allein am IGVP arbeiten ein halbes Dutzend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an dieser Aufgabe. Enge Zusammenarbeit pflegen sie dabei auch mit dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächenverfahrens-

technik und Bioverfahrenstechnik (IGB), wo sich Projektleiterin Dr. Kirsten Borchers intensiv mit dem „Bioprinting“ beschäftigt.

Im Fokus steht dabei zunächst die Haut. Diese bietet sich wegen ihrer Flächigkeit zwar an, erklärt Tovar, andererseits ist aber insbesondere die Unterhaut intensiv durchblutet und deshalb in der Herstellung „hoch anspruchsvoll“. Künstliche Haut ist allerdings in gleich zweierlei Hinsicht interessant. Haut aus dem Drucker könnte Körperoberfläche ersetzen, die durch Unfallfolgen oder Krankheit zerstört wurde – aber auch zahllose Tierversuche. Ein wichtiges Argument für die IGVP-Forscher: „Tierversuche sind ethisch bedenklich, sie sind zudem teuer und die wissenschaftliche Aussagekraft steht immer wieder in der Kritik“, erklärt Tovar. Im EU-Projekt ArtiVasc 3D arbeiten daher etwa 50 Forscherinnen und Forscher aus verschiedenen europäischen Ländern und Disziplinen an Hautprototypen als Testsysteme, die etwa die für Chemikalien oder Kosmetika vorgeschriebenen Hautirritationstests an Tieren ersetzen sollen. In dem Projekttitel stecken gleich mehrere Herausforderungen: Ziel ist die Entwicklung eines von künstlichen Blutgefäßen durchzogenen Gewebes, das mittels 3D-Druckverfahren hergestellt werden kann. Aus den Druckköpfen fließen dabei sowohl biokompatible Polymere wie auch so genannte Biotinte.

## TINTE AUS BIOMOLEKÜLEN

IGVP-Mitarbeiterin Eva Hoch hat intensiv an der Biotinte gearbeitet: „Das ist eine inkjet-druckbare Flüssigkeit, die biologisches Material und gegebenenfalls sogar lebende Zellen enthält.“ Die Biomoleküle, die aus der natürlichen extrazellulären Matrix von Geweben stammen, wurden chemisch verändert, sodass sie durch UV-Strahlung zu stabilen Hydrogelen vernetzt werden können.



Künstliche Knieknorpelsubstanz,  
frisch ausgedruckt in 3D.

© Jens Eber

„Je nachdem, wie wir die Biomoleküle modifizieren, können wir Hydrogele mit unterschiedlicher Festigkeit und Quellbarkeit herstellen – und so unterschiedliche Gewebearten nachbilden. Neben der Haut und dem Fettgewebe interessiert uns insbesondere auch das Knorpelgewebe“, sagt Eva Hoch. Durchblutete künstliche Haut, schätzt Günter Tovar, könnte in etwa fünf Jahren für Testsysteme zur Verfügung stehen, in vielleicht zehn Jahren für therapeutische Zwecke. In ähnlichen Zeiträumen rechnet Tovar in Bezug auf künstliche Knorpel, die längst nicht so simpel sind, wie sie auf den ersten Blick erscheinen. „Knorpel sind hochkomplex zusammengesetzt“, betont Tovar. Ein Knieknorpel etwa bestehe aus verschiedenen Lagen mit jeweils anderen Funktionen. Der Knorpel muss zugleich auf Druck reagieren und Scherkräfte aufnehmen. Knorpel ähneln dabei technischen Verbundwerkstoffen, zusammengesetzt aus Materialien mit unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung und molekularer Gestalt.

Herkömmliche Verfahren erlaubten die Herstellung solcher Strukturen nicht. „Mit den modernen Drucktechniken haben wir jetzt auch die technischen Voraussetzungen, um innere Strukturen zu schaffen“, sagt Tovar. Mit der Biotinte sei zudem das geeignete Material entwickelt worden.

„Das wissenschaftliche Hauptthema sind so genannte biogensynthetische Hybridhydrogele“, sagt Professor Tovar. Der allergrößte Teil des menschlichen Körpers besteht aus Hydrogelen, stark wasserhaltigem Gewebe, das zugleich fest

und hochelastisch ist. In Stuttgart sollen ähnliche Materialien weiterentwickelt werden. Maßgeblich sollen diese Innovationen unter dem Dach des Projekthauses NanoBioMater vorangetrieben werden, in dem Naturwissenschaftler und Ingenieure fachübergreifend an neuen Anwendungen der Nanotechnologie arbeiten.

#### ABBAUBARE IMPLANTATE

Eine Idee der Zukunft sei, Implantate in der vom Patienten benötigten Struktur zu schaffen, die mit Zellen des Patienten besiedelt sind – „doppelt personalisiert, sowohl von den Zellen her als auch von der Gestalt“, wie Tovar erklärt. Und der Forscher denkt bereits weiter: „Unser Traum wäre, dass der Körper das Implantat umbaut, etwa wie selbstauflösende Nähte, die nach und nach abgebaut werden. Die große Herausforderung seien Materialien, die nicht nur drucktechnisch zu verarbeiten, sondern mit den natürlichen Körpergeweben verträglich sein müssten und im Idealfall mit ihnen verschmelzen könnten.

Relativ kritisch sieht Tovar, der das Potenzial nanostrukturierter Materialien für die Medizin bereits früh erkannt hat, die hohen gesetzlichen Hürden bei der Zulassung von Zellen beinhaltenden Produkten. Dies führe zu sehr hohen Kosten und sei entwicklungshemmend. „Das halte ich für gesellschaftlich falsch“, sagt der Wissenschaftler. Dennoch müsse die Sicherheit der Patienten oberste Priorität haben.

Jens Eber



## Verlässlichkeit statt Panikmache

Moderne Kommunikationsmittel im Krisenfall

**Je früher, präziser und umfassender Behörden und Hilfsorganisationen vor Gefahren warnen können, um so sicherer fühlt sich die Bevölkerung. Stuttgarter Forscher arbeiten an der Früherkennung von Risiken und optimierten Warnkanälen. Digitale Technik hilft dabei, doch ihr Einsatz erfordert Fingerzeigefühl.**

Tagelang hat es geregnet. Auf flachen Wiesen haben sich Teiche gebildet, erste Bäche sind über die Ufer getreten. Auf Katharina Müllers Smartphone erscheint die Meldung, dass in acht Stunden mit Hochwasser zu rechnen ist. Bis dahin sollen die tiefer gelegenen Bereiche ihrer Heimatstadt evakuiert werden.

Die junge Mutter schaltet sofort das Radio an, um weitere Nachrichten zu hören. Es ist nicht das erste Mal, dass eine Überschwemmung droht, deshalb weiß sie, was zu tun ist. Sie packt rasch Kleidung für einige Tage, steckt Ausweise, Versichertenkarten und Impfpässe ein und wird mit ihrem Sohn

für ein paar Tage zu ihren Eltern ziehen. Vor der Abreise informiert sie noch schnell den 85-jährigen Nachbarn, der kein Handy besitzt und das Radio nicht mehr so gut hört. Ihn werden Helfer des Katastrophenschutzes später in eine sichere Sammelunterkunft bringen.

Katharina Müller ist eine fiktive Betroffene und für Katastrophenschutzexperten ein Idealfall: Sie ist medial gut vernetzt und damit für Warnmeldungen leicht erreichbar, hat Erfahrung mit Gefahrenlagen und reagiert besonnen – und sie ist empathisch genug, auch noch ihr Umfeld zu warnen. Dass das nicht zwingend der Regelfall ist, weiß Risiko-soziologe Dr. Michael Ruddat vom Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (Zirius) der Universität Stuttgart. „Wenn Menschen bestimmte Lagen alle paar Jahre erleben, dann ist die Unsicherheit nicht so dramatisch, man nennt das Gewöhnung an eine Risikoquelle.“ In dem Fall wüssten die Menschen mit dem Problem umzugehen. „Dramatischer ist es, wenn so eine Situation zum ersten Mal auftritt, dann müssen sie den Experten vertrauen.“ Gerade dann sei Finger-

spitzengefühl in der Kommunikation gefragt, erklärt der Politikwissenschaftler und Soziologe. „Wenn man zu früh warnt und es passiert nichts, glaubt einem beim nächsten Mal niemand mehr.“ Weit verhängnisvoller sei natürlich eine zu späte Warnung.

Europaweit arbeiten daher zahlreiche Forscher daran, die Kommunikation im Krisenfall zu verbessern. Moderne digitale Technik hilft ihnen dabei. Vor allem die rasante Verbreitung von Smartphones eröffnete bei der Erkennung und Bewertung von Gefahren völlig neue Möglichkeiten. Menschen beobachten heute nicht nur, dass vom Sturm gefällte Bäume eine Bahntrasse blockieren oder ein schwerer Brand ausgebrochen ist – sie twittern diese Nachricht in alle Welt, veröffentlichen Videos bei YouTube oder Fotos bei Flickr. Damit informieren sie nicht nur ihre Mitmenschen aus erster Hand, sie können – bei entsprechender Aufbereitung – auch den Experten des Katastrophenschutzes wertvolle Hinweise und Fakten liefern.

#### VISUAL ANALYTICS

In solchen nahezu in Echtzeit veröffentlichten Informationen kann beispielsweise der Software-Prototyp Scatterblogs erkennen, wo sich eine Gefahrenlage entwickelt. Dennis Thom vom Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS) der Universität Stuttgart hat Scatterblogs mitentwickelt. „Wir nutzen vor allem Twitter, weil dieser Dienst die Nutzung großer Datenmengen erlaubt“, erklärt Thom. Acht Millionen Tweets täglich werden von einem Algorithmus analysiert, der sie anonymisiert auswertet und nicht relevante Nachrichten umgehend löscht.

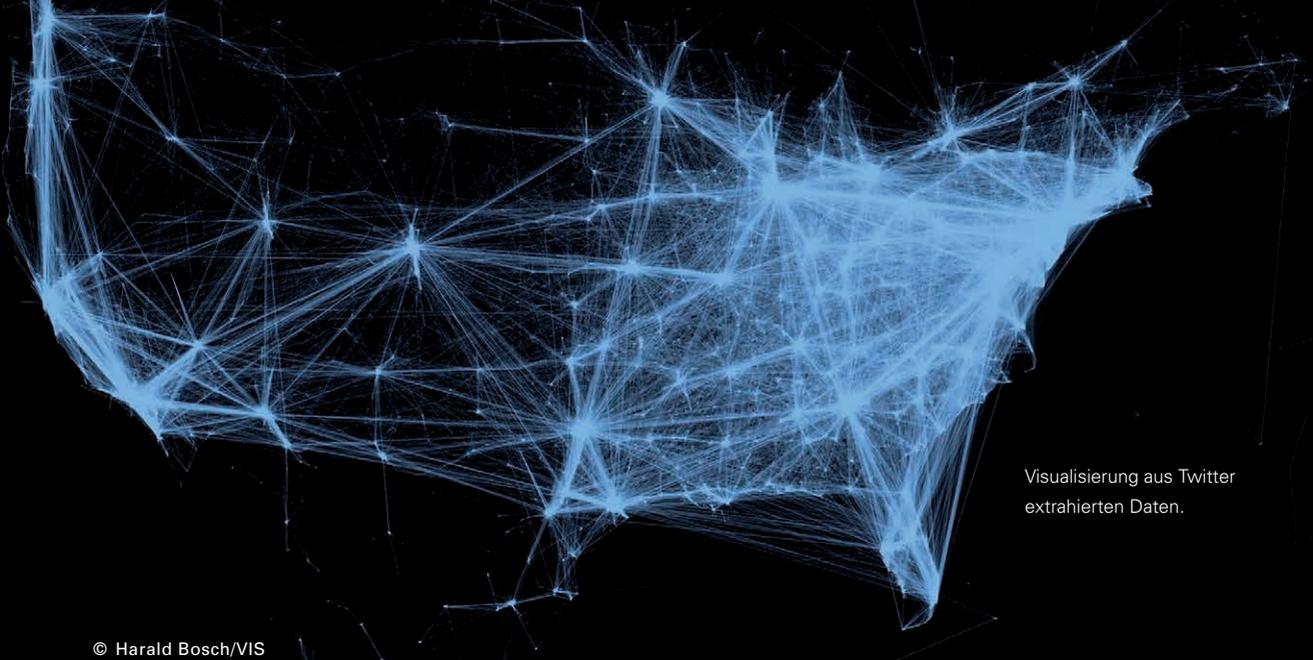
Die Software bietet unterschiedliche Werkzeuge. So können die Nutzer von Scatterblogs über Suchwerkzeuge nach bestimmten Begriffen suchen.

Vor allem aber erstellt das System Visualisierungen, wenn Nachrichten auf ein relevantes Ereignis hindeuten. Tauchen zum Beispiel in enger räumlicher Nähe mehrere Meldungen auf, die auf ein Feuer oder einen schweren Unfall hindeuten, dann schlägt das Programm Alarm. Ein Analyst kann dann gezielt an der Verifizierung arbeiten. Das Ziel seien dabei nicht unbedingt vollautomatische Systeme – gerade bei der Einschätzung der Relevanz bleibe die Erfahrung der Analysten weiterhin zentral. Programme wie Scatterblogs ermöglichen es aber, ansonsten unüberschaubare Datenmengen zu filtern und mögliche Gefahrenlagen sichtbar zu machen. „Mit Hilfe unserer Visualisierungen kann der Analyst diese Datenmengen überhaupt erst bewältigen“, so Thom.

Twitter-Meldungen haben zudem den Vorteil, dass sie Geoinformationsdaten enthalten. Im Probebetrieb konnte das System so im Juni 2013 beim Hochwasser in Magdeburg einen Dammbruch lokalisieren. Technisch funktioniert die Software bereits. Noch arbeiten die Wissenschaftler allerdings mit einem Forschungsprototyp, der gemeinsam mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) erprobt wird. „Gerade für das BBK ist es wichtig zu sehen, was in ganz Deutschland los ist“, weiß Thom.

#### WIE ERREICHT MAN DIE BREITE BEVÖLKERUNG?

Wenn Behörden und Katastrophenhelfer über eine Gefahr informiert sind, ist diese Nachricht aber noch lange nicht bei allen Menschen im Gefahrenbereich angekommen. Dieses Problem treibt Willi Wendt um, der am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart an dem EU-Projekt „Alert4All“ mitgearbeitet hat. Technisch haben die Behörden heute viele Möglichkeiten, Menschen zu warnen



Visualisierung aus Twitter extrahierten Daten.

© Harald Bosch/VIS

– Smartphones, TV-Einblendungen, Lautsprecherdurchsagen, SMS, Radiomeldungen, Sirenen oder auch Einblendungen auf Infotafeln in Bahnhöfen. Doch wie erreicht man im Katastrophenfall möglichst große Teile der Bevölkerung, und was passiert, wenn einzelne Warnkanäle ausfallen? Willi Wendt hat ein Tool mitentwickelt, das die Verbreitung der Warnung über verschiedene Kanäle simuliert. „Der Nutzer kann für eine Region entweder Basisdaten laden oder für spezielle Fälle eigene Eingaben machen“, erklärt Wendt. Um möglichst genaue Ergebnisse zu erzielen, wurden zunächst sozialwissenschaftliche Grundlagen erörtert. So müssen die Nutzer auch einschätzen, wie sehr die Menschen in der jeweiligen Region den Behörden vertrauen oder wie genau die Bevölkerung die Warnung versteht. „Eine Hochwasserwarnung hat in Dresden ganz andere Auswirkungen als in Stuttgart“, erklärt Wendt. Denn die Sachsen haben bereits Erfahrung mit drohenden Fluten, während die baden-württembergische Landeshauptstadt in der Vergangenheit oft glimpflich davongekommen ist. Mit dem Simulations-Tool von Alert4All können die Regierungspräsidien oder auch Feuerwehren nachbilden, wie schnell sie im Risikofall die gefährdete Bevölkerung erreichen. Fällt etwa der Mobilfunk aus, kann es wesentlich länger dauern, möglichst viele Menschen zu warnen. Eine Schlussfolgerung aus solchen Erkenntnissen könnte Wendt zufolge sein, sicherere Warnkanäle zu errichten. Auch die Tageszeit kann entscheidend sein. Tagsüber erreichen Einblendungen im Fernsehen relativ wenige Menschen, dann sind Sirenen womöglich die bessere Wahl. In Deutschland wurden diese allerdings in vielen Regionen längst abgebaut. „Mit unserem Tool kann der Katastrophenschutz die Güte seiner Pläne verifizieren“, glaubt Ingenieur Wendt. Katastrophen seien oft ein

Weckruf – auch weil sie mögliche Schwächen in der Planung schonungslos aufzeigten. „Wir lernen leider oft erst aus dem, was schon passiert ist“, sagt Wendt. Das Simulations-Tool helfe dagegen bei der Vorbeugung.

#### WIE WARNT MAN RICHTIG?

Trotzdem wird es wohl nie gelingen, alle Menschen zu informieren – geschweige denn, alle zu sinnvollem Handeln zu bewegen. Risikosoziologe Michael Ruddat weiß, dass das Thema Vertrauen hier eine große Rolle spielt, vor allem, wenn das eigene Wissen über ein bestimmtes Risiko gering ist. Am ehesten werde der Wissenschaft und dem Verbraucherschutz geglaubt, Politik und Industrie tun sich deutlich schwerer. Medien hätten oft einen Hang zur Überdramatisierung. Wichtig sei es, dass der Warnende den eigenen Wissenstand kommuniziert und vor allem auch Unsicherheiten benennt, sagt der Ziriis-Forscher. Ein Dilemma sei dabei, dass vorsorgliche Informationen in der Bevölkerung verzerrt wahrgenommen werden: Wenn eine öffentliche Stelle informiert, so die Überzeugung vieler Menschen, muss auch ein signifikantes Risiko vorhanden sein. Eine simple Regel, wie Menschen Risiken wahrnehmen, gibt es nach Ruddats Einschätzung ebenso wenig wie hundertprozentige Sicherheit. Verlässliche Risikokommunikation kann aber dazu beitragen, Verunsicherung in der Bevölkerung zu mindern.

Jens Eber/ampg

## „Es geht immer um Menschen“

J. Menno Harms, Aufsichtsrats-Vorsitzender der Hewlett-Packard GmbH

**Als J. Menno Harms im Jahr 1993 zum Vorsitzenden der Geschäftsführung beim IT-Konzern Hewlett-Packard (HP) aufstieg, ließ er die Beletage links liegen. Stattdessen schlug er seinen Schreibtisch im Wechsel in der Entwicklung, in der Fertigung oder auch mal im Mahnwesen auf. Das kritische Hinterfragen von Managementprinzipien treibt den heute 74-jährigen Absolventen der Universität Stuttgart noch immer um. Im Zeichen der Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft ist diese Diskussion aktueller denn je.**

**?** Herr Prof. Harms, an der Spitze der Hewlett Packard GmbH und des Bundesverbands BITKOM haben Sie die Entwicklung der digitalen Gesellschaft über Jahrzehnte verfolgt und mitgestaltet. Was waren die Meilensteine?

**➤** Wenn man auf die Entwicklung der letzten 20 Jahre schaut, war der erste Meilenstein sicher die Etablierung des Internets. In den USA wurde ich darauf bereits in den frühen 1990er-Jahren von einem Taxifahrer angesprochen. In Deutschland herrschte damals noch weitgehende Unkenntnis, teilweise wurde das Internet sogar belächelt. Nun neigt die IT-Branche zugegebenermaßen zu Übertreibungen, doch was immer sie an scheinbar Utopischem vorgestellt hat, war zehn Jahre später Realität. So war das auch damals. Die nächsten Meilensteine waren dann die New Economy, ein Hype par excellence, E-Commerce, zunächst im Firmenkundengeschäft, später im Business-to-Consumer-Bereich – eine Entwicklung, die durch Social Media und die Verknüpfung mit dem mobilen Computing derzeit einem Höhepunkt zustrebt. Parallel dazu begann – von der Öffentlichkeit wenig bemerkt – die Digitalisierung der Arbeits-

prozesse. Unternehmen und auch die öffentliche Hand sind dadurch produktiver geworden. Aktuelle Entwicklungen sind Webservices und das Internet der Dinge. Das wird unsere Wirtschaft in den nächsten 20 Jahren weiter stark verändern. Die Technologien sind da, jetzt geht es um die Umsetzung in den Organisationen. Wir sehen viele neue Geschäftsmodelle und Standardisierungsbemühungen. Auch neue Forschung entsteht um das Thema Industrie 4.0. Baden-Württemberg und gerade auch die Universität Stuttgart engagieren sich hier übrigens sehr erfolgreich. Aber auch bei den Arbeitsplätzen wird es weiteren Wandel geben, es werden neue erzeugt und alte verschwinden. Dadurch werden auch andere Qualitäten von Mitarbeitern gefragt sein: Neben fachlichem Know-how wird es noch mehr auf soziale Fähigkeiten ankommen, auf kooperatives Verhalten und Beziehungsmanagement. Die Universitäten müssen diese Fähigkeiten mitausbilden, und die Absolventen müssen bereit sein, kontinuierlich hinzuzulernen. Der Kampf um die Talente wird enorm zunehmen. Unsere Gesellschaft wird sich aber auch fragen müssen, wie sie mit denen umgeht, die in Folge der Digitalisierung und fehlender Fähigkeiten keinen Job mehr bekommen. In der Politik sehe ich darauf noch keine Antworten.

**?** Zurück in die Jetztzeit: BITKOM hat in seinem aktuellen Trendbarometer die IT-Sicherheit als Hightech-Thema des Jahres 2014 definiert. Es verdrängt den Dauerspitzenreiter der vergangenen Jahre, das Cloud-Computing. Was steckt hinter dieser Entwicklung?

**➤** Die Datensicherheit ist seit dem vergangenen Jahr aufgrund der Abhöraffaire durch den amerikanischen Sicherheitsdienst NSA besonders ins öffentliche Bewusstsein gerückt. Zu den



„Was immer die IT-Branche an scheinbar Utopischem vorgestellt hat, war zehn Jahre später Realität“.  
J. Menno Harms.

Trendthemen gehört IT-Sicherheit aber schon seit Jahren, und das mit Recht. Die Welt erzeugt heute enorme Datenmengen, und diese Datenexplosion wird noch zunehmen. Damit steigt auch das Risiko von Sicherheitsproblemen. Kriminelle oder auch Spaßvögel sind findig und schaffen es, in die unterschiedlichsten Systeme einzudringen. Deshalb ist die Absicherung der Datenströme von großer Bedeutung. Weltweit sind dabei drei Komponenten maßgeblich: die Technologien, die Mitarbeitenden und die Arbeitsprozesse. Gute IT-Security Defence-Zentren schaffen heute auf einer Skala von null bis fünf eben mal den Wert drei. Noch dramatischer sind die Sicherheitsmängel in der Nutzung privater Computer und Smartphones. Mitarbeiter wollen ihre Geräte auch am Arbeitsplatz nutzen, darauf muss sich eine Organisation in ihrer IT-Sicherheitsstrategie auch einstellen! Eine Entwicklung, die unter dem Begriff „Bring your own device (BYOD)“ bekannt wurde.

Ohnehin sind die enorm gestiegenen Datenvolumina – Stichwort Big Data – sowie deren Variabilität in der aktuellen Diskussion ein zentrales Thema, das hat die diesjährige Computermesse CeBit gezeigt. Die Welt hat sich verändert, dem muss nicht nur die IT-Branche folgen. HP beispielsweise stellt unter dem Motto „New Style of IT“ eine neue IT-Infrastruktur bereit. Bisher bestand ein IT-Center aus Rechnern, Speichern,

Druckern, verschiedenen Gateways usw. Künftig wird dies in einer so genannten konvergenten Infrastruktur integriert, das heißt, es gibt eine leistungsfähige Standard Hardware Plattform, auf der eine umfassende Software die komplexen Aufgaben der bisher heterogenen Umgebung steuert. Dadurch lassen sich IT-Aufgaben effizienter erledigen und das weltweit. Hierfür steht Moonshot, eine neue, äußerst leistungsfähige HP-Servertechnologie zur Verfügung. Das gibt den IT-Zentren mehr Flexibilität und spart vor allem Kosten, Platz und Energie.

**?** Sie hatten in Ihrem Berufsleben sehr viele Führungspositionen inne und dabei – auch bei Hewlett-Packard – schon früh auf Teamwork und flache Hierarchien gesetzt. Unterscheidet sich die Führungskultur in der schnelllebigen IT-Branche von der in anderen Bereichen?

**▶** Da ist schon etwas dran. Aber im Grunde ist es egal, ob man eine IT-Firma, ein Maschinenbauunternehmen, einen mittelständischen Malerbetrieb oder ein Rathaus führt: Es geht – neben Kapital- und Technologieeinsatz – immer um Menschen, um Mitarbeiter und um Kunden. Bei allen kulturellen Schattierungen gelten daher in allen Bereichen dieselben Prinzipien zukunftsfähiger Führung. Überall umgesetzt werden diese allerdings mitnichten. Gemeinsam mit über 20 überzeugten Unternehmern, Managern, Wis-



„Ohne eine gute und nachhaltig wirkende Führung wird uns die Bewältigung zukünftiger Herausforderungen nicht gelingen.“

© Uli Regenscheit

senschaftlern und Beratern haben wir daher im vergangenen Jahr die „Initiative Zukunftsfähige Führung“ (IZF) gegründet.

**?** Was sind die Ziele dieser Initiative?

**➤** Die Glaubwürdigkeit der Führung in Wirtschaft und Zivilgesellschaft hat gelitten. Doch ohne eine gute und nachhaltig wirkende Führung wird uns die Bewältigung zukünftiger Herausforderungen nicht gelingen. Weltweit ist zwar viel Führungswissen vorhanden, aber es wird leider nicht überall konsequent umgesetzt. Und die Unsi-

cherheit, wie Führung in den kommenden Jahren ausfallen sollte, ist groß. Alles dies motiviert uns, mit Führungsverantwortlichen ins Gespräch zu kommen. Wir wollen kein weiteres Führungstraining anbieten, aber den Führungskräften untereinander eine Plattform für Reflektion und Dialog zu aktuellen und zukunftsorientierten Führungsthemen anbieten. Vielen durch ihr Handeln getriebenen Managern fehlt zumeist einfach die Zeit, über ihr eigenes Führungsverhalten nachzudenken. Unser Ziel ist es, erfahrene und junge Führungsverantwortliche aus Wirtschaft und Zivilgesellschaft zum Mitmachen anzusprechen, entweder als Mitglieder der Initiative oder als Teilnehmer in den Workshops, Vorträgen oder Podiumsdiskussionen. Dabei wollen wir auch die Öffentlichkeit über die bekannten Medien zum Thema „Zukunftsfähige Führung“ informieren. Wir wissen, dass wir uns ein anspruchsvolles Ziel gesetzt haben. Doch die hoffentlich erfolgreiche Sensibilisierung der Führungsverantwortlichen für eine gute und nachhaltige Führung überzeugt uns. Ich denke, das ist auch eine wichtige gesellschaftliche Aufgabe.

**?** Was sagt ein Streiter für zukunftsfähige Führung den deutschen Hochschulen?

**➤** Hochschulen unterliegen ja größtenteils dem öffentlichen Dienstrecht, und das bedingt nicht immer optimale Führungsbedingungen, da habe ich schon einige kritische Fragen. Zum Beispiel: Wie gehen beamtete Professoren mit der Arbeitswelt um, wie werden sie gemessen, an wen berichten sie? Und wie wird ein wissenschaftlicher Stab geführt, wie gibt man den Mitarbeitern Orientierung, welche Beurteilungssysteme gibt es? Ich kann mir dazu einen guten Erfahrungsaustausch der Wissenschaftsführung mit anderen Bereichen unserer Gesellschaft vorstellen. Ich weiß, dass

es in öffentlichen Institutionen sehr fähige und leistungsbereite Mitarbeiter und Führungskräfte gibt, denen aber oft aufgrund von Gesetzen und Strukturen die Hände gebunden sind. Darüber sollten wir mit den Verantwortlichen in der Politik ins Gespräch kommen.

**? Und an die Adresse der Universität Stuttgart gerichtet?**

➤ Ich empfehle zum einen, neben der vertikalen, fachlichen Arbeit noch stärker auf die horizontale Kooperation zu achten. Das ist schwer für alle Beteiligten, weil sie ihre ‚Komfortzonen‘ verlassen müssen, aber darin liegen zukünftige Wettbewerbschancen einer Wissensfabrik wie der Universität Stuttgart. Zudem sollte die Universität neben den technologischen Kompetenzen die geisteswissenschaftlichen, kreativen, theatralischen und semantischen Aktivitäten zusätzlich stärken. Wir brauchen Ingenieure, die nicht nur fachlich exzellent ausgebildet sind, sondern auch über den Tellerrand hinausschauen und Fantasie haben. Last but not least sind die exzellenten Aktivitäten meiner Alma Mater immer noch ein „bestgehetetes Geheimnis“! Damit könnte man ganz anders glänzen, aber es fehlt an der Translation nach außen. In den nächsten Jahren wird es in der Hochschullandschaft zu einem weltweiten Wettkampf der Ausbildungs- und Forschungs- Titanen kommen. Deshalb müsste die Universität Stuttgart mehr Geld für die Außendarstellung in die Hand nehmen, noch intensiver im Web aktiv sein, weitere internationale Angebote machen und anderes.

**? Erfolgreiche Unternehmensführung steht auch im Zentrum Ihrer Honorarprofessur an der Universität Stuttgart. Wollen junge Menschen anders geführt werden und führen, gibt es unter ihnen gar eine Führungs-Skepsis?**

➤ Bei den Studierenden spürt man noch keinen Unterschied, aber im Berufsalltag stoßen wir zunehmend auch auf Menschen, die eine Führungsverantwortung in Frage stellen. Die „Generation Why“ stellt die Frage nach der Work-Life-Balance anders, deshalb sind die Ansprüche an den Sinn der Arbeit und die Arbeitsumgebung andere. Diese Generation verstärkt einen latenten Trend: Leistungsbereite Menschen lassen sich nicht mehr in feudalen Hierarchien führen. Diesen Trend werden vernünftige Führungsverantwortliche sorgfältig gestalten müssen. Harte Manager werden in einer immer komplexeren und veränderlichen Welt nicht mehr gebraucht. Darauf müssen sich die Unternehmen und die Organisationen der Zivilgesellschaft gleichermaßen einstellen.

**? Neben all Ihren beruflichen Aktivitäten sind Sie privat Mitglied im Stiftungsrat der Bürgerstiftung Stuttgart. Woher nehmen Sie als 74-Jähriger die Kraft dazu?**

➤ Wenn ich dazu in der Lage bin, möchte ich die Dinge so lange tun, wie sie mir sinnvoll erscheinen und mir Spaß machen. Die auf Bismarck zurückgehende altersbedingte Rentengrenze ist heute eine Limitierung und Stigmatisierung. Ich wünsche mir, dass sich viele Menschen meiner Generation davon nicht stören lassen, sondern einfach weitermachen.

Herr Prof. Harms, wir danken Ihnen für das Gespräch!

*Die Fragen stellten Dr. Hans-Herwig Geyer  
und Andrea Mayer-Grenu*

## Bewegung in Bits und Bytes

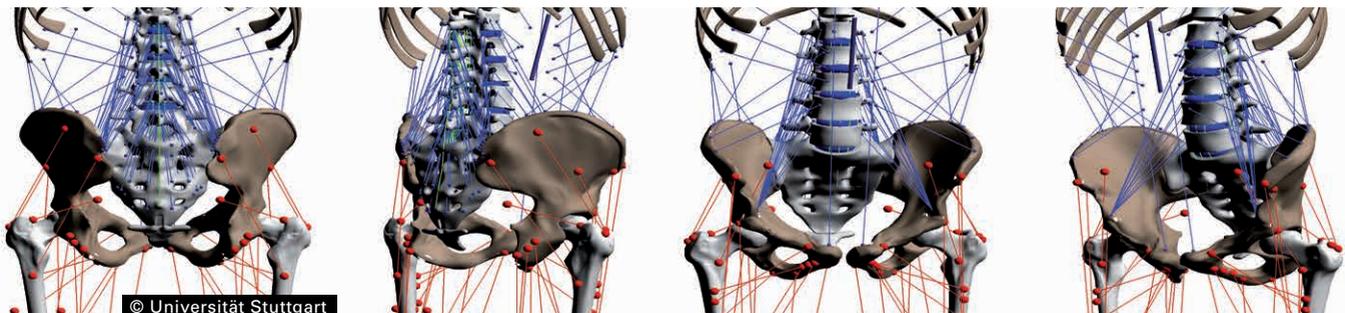
Digitale Menschmodelle helfen bei der Planung von Arbeitsplätzen oder Operationen

**Forscher der Universität Stuttgart entwickeln unter dem Dach des Exzellenzclusters SimTech ein digitales Menschmodell, das aktive Bewegung simulieren soll. Das Fahren könnte komfortabler, Arbeiten schonender werden und Mediziner könnten Implantate präziser anpassen. Noch aber gibt es entscheidende Hürden.**

Nach einem Gespräch mit Syn Schmitt geht man anders. Federnd in den Beinen, mit schwingenden Armen, man weicht einem Hindernis aus, ohne ins Taumeln zu geraten – und freut sich darüber, ohne nachzudenken etwas zu beherrschen, was Computermodelle derzeit noch enorm fordert: das Gehen auf zwei Beinen. Die Evolution hat noch großen Vorsprung, aber die Wissenschaft holt auf. „Die Natur stellt die größten Herausforderungen an die Wissenschaft, und das ist in unserem Fall das Verständnis von menschlicher Bewegung“, sagt Schmitt. Dabei wirkt in der Praxis alles so einfach.

Rotation der Lendenwirbelsicht des Stuttgarter Menschmodells. Die roten Linien beschreiben die Muskeln der unteren Extremität, blau die Rumpfmuskeln und grün die Bänder am Rumpf.

Schmitt, Juniorprofessor am Institut für Sport und Bewegungswissenschaft, leitet eine Arbeitsgruppe, die das aktive digitale Menschmodell entwickelt. Wer bei diesem Begriff an animierte Figuren aus der Welt von Pixar denkt, den hebt der gebürtige Weil der Städter behutsam auf die Spur: Beim digitalen Menschmodell gehe es um ein Abbild aus der Realität des Menschen, aber noch nicht um einen digital nachgebauten Menschen. Ziel sind weniger optisch „schöne“, sondern funktionelle Modelle. Unter anderem arbeiten die sieben Forscher – vier Physiker, zwei Ingenieure sowie eine Biologin und Mathematikerin – in enger Partnerschaft mit der Fahrzeugindustrie. Erforscht werden dabei unter anderem Bewegungsabläufe beim Fahren, etwas unter dem Gesichtspunkt des Fahrkomforts. Die Industrie sei daran interessiert, Konfigurationen anzubieten, die der Nutzer als möglichst angenehm empfindet. Dabei sollen künftig digitale Menschmodelle helfen. Schmitt ruft auf seinem Bildschirm einen kurzen Film auf. Er zeigt eine Modellfigur beim Fahren. In einem groben Umriss bewegen sich lange rote Linien. „Das sind die Muskeln“, erklärt der 38-Jährige und erzählt schmunzelnd von ersten Modellen, die nach vorn kippten, anstatt den ersten Gang einzukuppeln. Solche Erlebnisse von Trial and Error kennzeichnen die gesamte Arbeit an den Modellen. Wer einen Führerschein besitzt,





dem erscheint das Autofahren nach einigem Üben als relativ einfache Aufgabe. In Wahrheit stecken dahinter unzählige komplexe Bewegungsabläufe, an denen viele Muskelgruppen beteiligt sind – und die unbewusste und präzise Interaktion dieser Muskeln mussten die Forscher ihrem digitalen Autofahrer erst einmal beibringen.

„Die Forschung am digitalen Menschmodell gibt es schon seit etwa 30 Jahren“, sagt Schmitt. Genützt würden bereits zahlreiche Modelle in Crash-Versuchen, allerdings passive Modelle. Am Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Stuttgart arbeiten die Forscher an aktiven Modellen – ein riesiger Unterschied: Ein aktives Modell können sie „arbeiten“ lassen.

#### RÜCKENSCHMERZEN VERSTEHEN

So gibt es ein Projekt mit einer Berufsgenossenschaft, die herausfinden will, warum Radladerfahrer so häufig unter Rückenschmerzen und Bandscheibenvorfällen leiden. Erste Ansätze gewannen die Wissenschaftler durch Beobachtung: Die Radlader fahren oft durch holpriges Terrain, die Fahrer beugen sich häufig seitlich zum Fenster hinaus. Die typischen Belastungen eines solchen Arbeitstages soll künftig ein Modell „ertragen“. Ziel ist herauszufinden, wie die Arbeit in solchen Baufahrzeugen in Bezug auf die Gesundheit nachhaltiger gestaltet werden kann. Syn Schmitt nennt zahlreiche Anwendungsgebiete für digitale

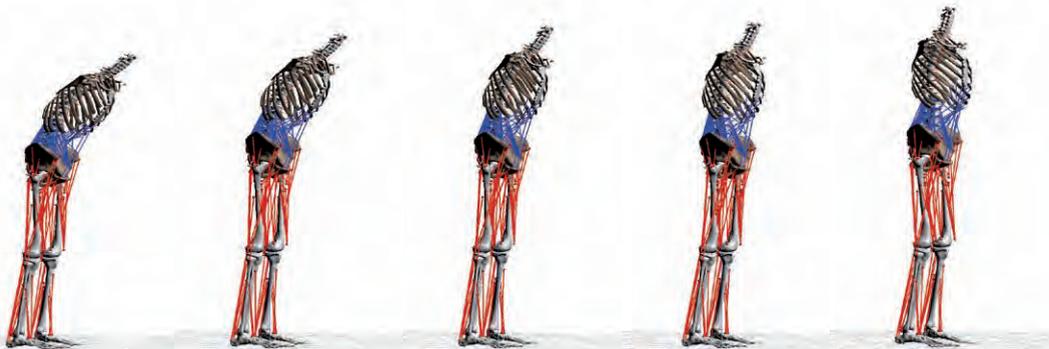
Menschmodelle: neben Fahrzeugentwicklung und Arbeitsplatzergonomie ist das Gesundheitswesen ein wichtiges Feld. Präzise Menschmodelle könnten bei der Operationsplanung am Rechner helfen oder dazu beitragen, Implantate oder Prothesen besser anzupassen.

„Im Moment ist das aber Forschungsstand“, betont Schmitt. „Wir versuchen, das biologische System Mensch zu übertragen.“ Dabei gelte es, sämtliche mechanischen und sonstigen physikalischen und biologischen Interaktionen erst einmal gründlich zu verstehen, um die Bewegungen des Menschen im Computer umsetzen zu können.

Im Kern der Arbeitsgruppe steht dabei die Frage: Was treibt den Menschen an? Schmitt nimmt die Antwort vorweg: „Es sind die Muskeln. Aber das Zusammenspiel der Muskeln ist beliebig komplex.“ Der Forscher gibt ein Beispiel: „Wir können den Muskel einer Maus verstehen, wir wissen aber noch nicht, warum er bei der Maus die eine spezielle Funktion hat und beim Menschen vielleicht eine andere. Wir kommen da Schritt für Schritt voran.“ Als großen Vorteil wertet der 38-Jährige dabei das interdisziplinäre Herangehen innerhalb der Arbeitsgruppe. Ziel sei etwa auch, künftig Psychologen mit einzubinden, um seelische Einflüsse auf die menschliche Bewegung in die Modelle zu integrieren. „Jeder kennt das: Wenn man übermüdet oder niedergeschlagen ist, bewegt man sich anders. Diese Einflüsse sind schwierig zu erfassen, aber es gibt

Scheinbar einfache Bewegungen wie der aufrechte Gang sind in Wahrheit höchst komplex. Digitale Menschmodelle simulieren die Abläufe und Kräfte.

© Universität Stuttgart



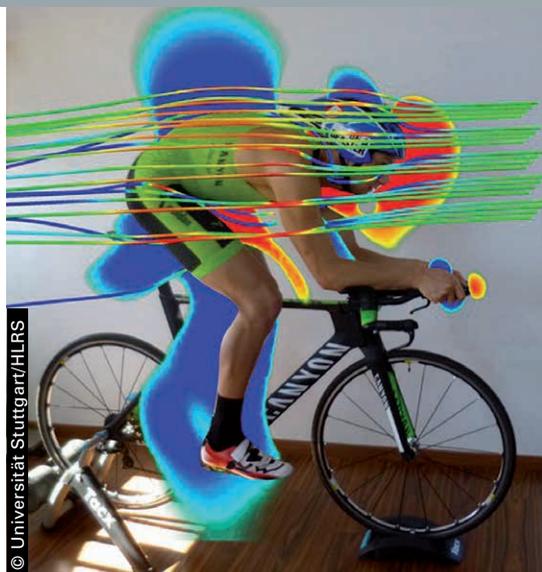
sie. „Immerhin: Die Arbeit am digitalen Menschmodell wird die Stuttgarter Wissenschaftler noch lange beschäftigen. „Für Einzelanwendungen können wir binnen weniger Jahre gute, muskelgetriebene Modelle entwickeln“, sagt Schmitt. Um Modelle dagegen in vielen Bereichen einsetzen zu können, sei es wichtig, die gesamte Bandbreite der Menschen abzubilden – Unterschiede in Alter, Geschlecht, Körperbau, Trainingszustand, Abnutzung. „Bis wir all das integrieren können, damit wir auch die Feinheiten medizinischer Fragen, wie etwa die Herstellung individuell angepasster Band-

scheibenimplantate umsetzen können, vergehen noch viele Jahre bis Jahrzehnte.“

Wird es in ferner Zukunft das persönliche Modell eines jeden Menschen auf der Versichertenkarte geben? „Aus Forschersicht wäre das toll“, gibt Schmitt zu, „aus Datenschutzsicht müsste ich sagen: bloß nicht!“ Gäbe es individuelle Modelle, wäre etwa jeder Mensch auf Kamerabildern schon anhand seines Gangs zu identifizieren. „Die Privatsphäre ist der vielleicht sensibelste Bereich unserer Forschung“, so Schmitt.

*Jens Eber*

### Simulierter Radfahrer



© Universität Stuttgart/HLRS

Die Strömungssimulation eines Radfahrers in Zeitfahrposition ist das Ergebnis einer Diplomarbeit, die am Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen und Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart entstanden ist. Dazu wurde ein Radfahrer 3D-gescannt und ein Oberflächenmodell erzeugt. Ein angepasstes Skelettmodell ermöglicht dem Radfahrer virtuell, beliebige Positionen einzunehmen.

Dank der Strömungssimulation können die aerodynamischen Auswirkungen untersucht und die Haltung und Bekleidung des Athleten optimiert werden. Dabei lässt sich eine Vielzahl an neuem Equipment und Positionen durchspielen, ohne den Athleten im Windkanal oder auf der Radrennbahn zusätzlich zu belasten.

*amg*

# Sind Sie ein echter Kärcher-Typ?

Ich mache mich aus dem Staub, bevor es ernst wird

Ich stelle mich verantwortungsvoll jeder neuen Aufgabe



**The difference is you.** Kärcher, der Weltmarktführer für innovative Reinigungssysteme, -produkte und -dienstleistungen, ist ein Familienunternehmen, das durch gegenseitige Wertschätzung und Vertrauen die Grundlagen für Spitzentechnologie schafft. Wir wollen weiterhin Meilensteine setzen, deshalb suchen wir kluge Köpfe, die zielstrebig ihren Weg gehen. Legen Sie den Grundstein für Ihre Karriere und nutzen Sie Ihre Chancen bei einem der besten Arbeitgeber Deutschlands. Denn außergewöhnliche Aufgaben verlangen außergewöhnliche Mitarbeiter.



[www.kaercher-karriere.de](http://www.kaercher-karriere.de)

 **KÄRCHER**<sup>®</sup>

makes a difference

# Intelligente Spitzenbewältigung

Auf der Suche nach dem optimalen Netz



**Es ist so selbstverständlich, dass man kaum noch darüber nachdenkt: Wann immer wir Strom brauchen, steht er zur Verfügung. Doch die Energiewende erzwingt Änderungen in Planung und Betrieb der Stromnetze. Mit Hilfe von Simulationen suchen Wissenschaftler nach der optimalen Ausgestaltung der künftigen Versorgungsnetze.**

In Deutschland sind die Energieversorger gesetzlich dazu verpflichtet, dass sie die Verbraucher jederzeit mit ausreichend Strom beliefern können. Egal, ob mittags in den Haushalten gekocht wird oder ob mehrere Kraftwerke für Wartungsarbeiten heruntergefahren wurden. Um dies zu gewährleisten, sind die deutschen Stromversorgungsnetze auf den Extremfall ausgelegt – das sind, wie es Stefan Tenbohlen formuliert, „kalte Novemberabende, wenn alle gleichzeitig ihre Heizungen aufdrehen“. Tenbohlen ist Professor für Elektrotechnik und Direktor des Instituts für Energieübertragung und Hochspannungstechnik an der Universität Stuttgart. Wegen der politisch beschlossenen Energiewende gehen er und sein Team inzwischen Fragen nach, die noch vor wenigen Jahren von eher akademischem Interesse gewesen wären. Nämlich: Wie lässt sich das hohe Gut der Versorgungssicherheit auch bei der Einspeisung erneuerbarer Energien garantieren, ohne dass die Stromverteilnetze für den Extremfall dimensioniert werden müssen? Laut Gesetz müssen die Energieversorger den durch Erneuerbare Energien erzeugten Strom nämlich komplett in die Versorgungsnetze einspeisen. Das daraus entstehende Problem verdeutlicht Tenbohlen mit zwei Zahlen: „Am besagten Novemberabend muss das deutsche Stromnetz 80 Gigawatt Leistung für ein paar Stunden bereitstellen, um alle Verbraucher zu versorgen. Aber auch

die heute schon installierte Leistung an Erneuerbaren Energien beträgt rund 75 Gigawatt, Tendenz stark steigend.“ Um zukünftig die von Fotovoltaik- und Windkraftanlagen stark schwankend erzeugte Energie voll aufnehmen zu können, müssten die Versorgungsnetze gemäß dem geltenden Paradigma also auf eine Transportkapazität ausgebaut werden, die dann nur selten voll ausgenutzt würde. Laut einer Hochrechnung der Deutschen Energieagentur gäbe es in diesem Szenario allein für die 110-Kilovolt-Verteilnetze bis zum Jahr 2020 einen Bedarf von mehr als 10.000 Kilometern an zusätzlichen Stromleitungen. Die 110-Kilovolt-Verteilnetze decken den Hochspannungsbereich beim Stromtransport ab; in Baden-Württemberg zum Beispiel gibt es ihrer zehn.

„Wenn man jedoch von der Vorgabe abrückte, dass die Energieversorger immer die Gesamtmenge des bereitgestellten Stroms aus Erneuerbaren Energien abnehmen müssen, sondern zum Beispiel nur 95 Prozent, dann könnte der Ausbaubedarf deutlich geringer sein“, sagt Tenbohlen. Was das konkret für die Netzplanung bedeutet, das untersucht der Elektrotechnik-Ingenieur mit seinen Mitarbeitern mit Hilfe von Simulationen. Fachleute sprechen in diesem Zusammenhang von probabilistischer Lastflussrechnung.

## MODELLIERTES 110-KILOVOLT-VERTEILNETZ

Die Stuttgarter Forscher modellieren dazu ein 110-Kilovolt-Verteilnetz. Als Eingangsgrößen fließen in die Simulation Daten wie das tages- und jahreszeitliche Profil von Wind und Sonnenschein ein sowie die Standorte der Stromerzeuger. Zudem kommen von der Netze BW GmbH, einer EnBW-Konzerntochter, die für Planung und Betrieb der Versorgungsnetze zuständig ist, die Daten eines realen Netzes: wo welche Lasten auftreten, wo

Wenn Ökostrom aus der Steckdose kommen soll, müssen die Versorgungsnetze auf Einspeiseschwankungen ausgerichtet sein. Durch die Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeiten bei der Netzplanung lassen sich teure Überkapazitäten vermeiden, doch die erforderlichen Rechenkapazitäten sind enorm.

© Fotolia

sich Übergabepunkte zu den 380/220-Kilovolt-Höchstspannungsnetzen befinden und wo prinzipiell zusätzliche Umspannstationen oder Leitungen möglich wären. „Die probabilistische Netzplanung ist ein wichtiges Thema“, sagt Alexander Probst, Netzplaner bei der Netze BW und von Seiten der EnBW Verbindungsmann zu Tenbohlers Forschungsprojekt. Das Unternehmen führt solche Methoden bereits in der eigenen Planung ein. „Die weitere Forschung ist für uns von hoher Bedeutung, denn sie kann zu einer reproduzierbaren und nachvollziehbaren Methodik führen, die dann beispielsweise von Fachgremien als Standard anerkannt wird.“

In ihrer Simulation untersuchen die Stuttgarter Wissenschaftler, wie groß in verschiedenen Szenarien die Einspeisung und Last im Verteilnetz wird und wie wahrscheinlich es ist, dass diese Situation in bestimmten Regionen eintritt. „Das kann man sich so vorstellen, als ob verschiedenen Lasten als Lose auf Töpfe verteilt sind und wir immer wieder ein Los ziehen“, verdeutlicht Tenbohlen. Solche Monte-Carlo-Simulationen müssen dann mehrere tausend Mal nacheinander durchgeführt werden, bevor man eine Wahrscheinlichkeitsaussage für ein bestimmtes Szenario treffen kann. Der Rechenaufwand dafür ist noch immer enorm, trotz leistungsfähiger Computer.

Doch die 110-Kilovolt-Verteilnetze sind nicht die einzigen, die durch die Energiewende völlig neu gedacht werden müssen. „Ähnliche Herausforderungen gibt es auch bei den Niederspannungsnetzen“, so Tenbohlen. In ihnen gab es früher nur Verbraucher, private und gewerbliche, während inzwischen Erzeuger hinzugekommen sind, zum Beispiel Fotovoltaikanlagen auf Hausdächern oder Blockheizkraftwerke. Damit die Netzfrequenz jedoch konstant bei den gewohnten 50 Hertz bleibt, müssen im Netz immer Last und Einspei-

sung gleich groß sein. Deshalb werden künftig zum Beispiel zusätzliche Stromspeicher erforderlich, um die Einspeiseschwankungen durch die Erneuerbaren abfedern zu können – in der technisch richtigen und wirtschaftlich sinnvollen Größe und am richtigen Ort. „Auch solche Mikronetze simulieren wir“, sagt Tenbohlen. Das Ziel: geeignete Regelstrategien für ein intelligentes Energiemanagement.

*Michael Vogel*



© Uli Regenscheit

Prof. Stefan Tenbohlen vor den Prüfeinrichtungen am Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik.

*FÜHREND RUND UM DEN GLOBUS*

Viele der Absolventen, die einmal an der Universität Stuttgart studiert und promoviert haben, steuern heute in Führungspositionen internationale Unternehmen oder lenken renommierte Forschungseinrichtungen. Ob Thomas Weber und Wilfried Porth bei Daimler, Siegfried Dais und Volkmar Denner bei Bosch, Martin Winterkorn und Michael Macht bei VW oder Martin Jetter bei IBM: Der Kurs der internationalen Konzerne und die Zukunft der wirtschaftlichen Entwicklung wird von Alumni der Universität Stuttgart maßgeblich mitgestaltet. Neue Dimensionen in der internationalen Wissenschaftslandschaft haben die Nobelpreisträger Horst Ludwig Störmer und Gerhard Ertl mit ihren Forschungen eröffnet. Am CERN setzt Rolf Dieter Heuer bei der Jagd auf das Higgs-Teilchen neue Maßstäbe und eine junge Wissenschaftlergeneration trägt an internationalen Elite-Universitäten zur Lösung aktueller Forschungsfragen bei, wie Markus Buehler am MIT.

Rund 11.000 Alumni aus 124 Ländern haben sich im interdisziplinären Alumni-Netzwerk der Universität Stuttgart vernetzt. Unsere Weltkarte zeigt die Verteilung der Alumni rund um den Globus. Sie alle, die persönlich mit der Universität Stuttgart verbunden sind, die hier studiert, promoviert, gearbeitet, gelehrt und geforscht haben, tragen ihr Wissen in die Welt – und geben umgekehrt wertvolle Impulse zurück an ihre Alma Mater.



Prof. Dr. Horst Ludwig Störmer,  
Nobelpreis für Physik



Prof. Dr. Markus J. Buehler,  
Massachusetts Institute of Technology



Prof. Dr. Camilo Michalka,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro



Michael Macht,  
Vorstand VW



Wolfgang Leimgruber,  
Aufsichtsrat Laepple



Prof. Dr. Gerhard Ertl,  
Nobelpreis für Chemie



Wilfried Porth,  
Vorstand Daimler



Dr. Heike Gfrereis, Museumsleiterin  
Deutsches Literaturarchiv Marbach



Prof. Dr. Thomas Weber,  
Vorstand Daimler



Jürgen Weber, Aufsichtsrats-  
vorsitzender Hapag Lloyd



Prof. Dr. Martin Winterkorn,  
Vorstandsvorsitzender VW



Dr. Siegfried Dais, Gesellschafter  
der Bosch Industrietreuhand



Dr. Elmar Degenhart, Vorstands-  
vorsitzender Continental



Dr. Volkmar Denner, Vorsitzender  
der Geschäftsführung Bosch



Prof. Dr. Hans-Peter Dürr,  
Alternativer Nobelpreis



Prof. Dr. Rolf Dieter Heuer,  
Generaldirektor CERN



Dr. Annette Arnold, Mitglied der  
Geschäftsleitung Arnold Verladestysteme



Martin Jetter,  
General Manager IBM Japan



Dr. Tim Philippi, Executive Director  
Deutsch-Singapurische IHK

## Alumni weltweit

- Europa: 8.330
- Asien: 1.336
- Nord- und Mittel-Amerika: 605
- Süd-Amerika: 292
- Afrika: 229
- Ozeanien: 28

## Japans Architekturpoetin

### Pritzker-Preisträgerin Kazuyo Sejima überwindet die Vorstellung von Raum

**Als Kazuyo Sejima bei der Akademischen Jahresfeier im November 2013 von Rektor Prof. Wolfram Ressel die Ehrendoktorwürde der Universität Stuttgart entgegennimmt, wirkt die zierliche Frau mit der strengen Brille fast mädchenhaft. Doch die japanische Stararchitektin hat weltbekannte Museen gebaut und als erste Frau die Architektur-Biennale in Venedig geleitet. Die schwebend leichten Bauten ihres zusammen mit Ryue Nishizawa gegründeten Büros SANAA wurden mit dem in der Fachwelt als Nobelpreis für Architektur geführten Pritzker-Preis ausgezeichnet und haben die Vorstellungen von Raum und Raumaufteilung revolutioniert.**



New Museum of Contemporary Art in New York, 2007

Wer mit Kazuyo Sejima bei ihrem Besuch anlässlich der Preisverleihung über den Campus der Universität streifte, erlebte die bekannte Architektin als quirligen Gast ohne Starallüren. Lebhaft diskutiert sie mit den Fachkollegen der Fakultät

Architektur und Städtebau, hält im voll besetzten Audimax einen Vortrag und achtet darauf, dass im Besuchsprogramm eine Lücke bleibt für einen Bummel in der Stuttgarter Markthalle. Stuttgart ist ihr nicht fremd, sie hat unter anderem mit dem Leichtbau-Experten Prof. Werner Sobek zusammengearbeitet und sich am Wettbewerb um das Mercedes-Benz-Museum beteiligt. Aber auch ideell lässt sich der Bogen nach Stuttgart schlagen. „Die Stuttgarter Architekturfakultät ist dem Werk von Kazuyo Sejima und ihrem Büro SANAA besonders verpflichtet, da ihre Bauten sowohl von höchster ästhetischer Qualität, als auch von städtebaulicher Weitsicht und konstruktiver Intelligenz geprägt sind. Damit steht das Werk Kazuyo Sejimas in der Tradition der Stuttgarter Schule, die seit den 1920er Jahren das Profil der Architekturausbildung in Stuttgart bildet“, hebt die Fakultät in der Begründung zur Verleihung der Ehrendoktorwürde hervor. „Städtebau, Konstruktion und Entwurf bilden eine Einheit, die in der Gestaltung von Raum ihr höchstes Ziel findet.“

#### *INNEN – AUSSEN, MENSCH – RAUM*

Konstruktion dient Kazuyo Sejima nicht als Selbstzweck, sondern als Mittel, um einen bestimmten Raum zu kreieren, der dem Ort und der Funktion des Gebäudes sinnvoll entspricht. Das Kernelement ihrer Entwürfe ist dabei die Beziehung zwischen Innen und Außen. Und es geht um die Nutzer eines Gebäudes und deren Verhältnis zum Raum. Raum ist für Sejima etwas, was den Menschen in Bewegung setzt, und dadurch entsteht wieder Raum. Dieses Denken führt zu sehr unterschiedlichen Lösungen. Fast immer sind sie außergewöhnlich, wenn nicht gar spektakulär. Mal dominieren harte kubische Formen wie beim Zollverein-Kubus in Essen, wo 132 quadratische Fensteröffnungen in unregelmäßigem Muster in dicke Sichtbetonwände

Fast ein abstraktes Gemälde:  
Kunstmuseum Louvre-Lens, 2012

© SANAA

eingelassen sind. Beim 2007 erbauten New Museum of Contemporary Art in New York schrauben sich die sieben Stockwerke als weiße, gegeneinander versetzte Quader aus den umgebenden Stadthäusern heraus. Andere Gebäude wirken weich und fließend, wie das Rolex-Learning Center in Lausanne: Das eingeschossige Rechteck unter sanft gewelltem Dach basiert auf einer äußerst innovativen Konstruktions-technik, die neuartige Betonmischungen verwendet und kaum spürbar wird. Der Londoner Serpentine Gallery Pavillon aus dem Jahr 2009 wiederum scheint zu schweben: ein geschwungenes Aluminiumdach unter Bäumen, dessen Acrylwände fast

nicht zu sehen sind. Das Louvre Lens, eine Außenstelle des Pariser Louvre, ist mit Glass und Aluminium ummantelt und reflektiert die umgebende grüne Landschaft wie ein abstraktes Gemälde.

#### GRAZIL UND KRAFTVOLL, KLAR UND FLIESEND

Es ist die Symbiose von zugleich „grazilen und kraftvollen“ sowie „klaren und fließenden“ Entwürfen, für die das Büro SANAA 2010 den Pritzker Preis erhält. Sejima selbst leitet im gleichen Jahr als erste Frau überhaupt die Architektur-Biennale in Venedig. „People meet in architecture“ lautet ihr viel gelobtes Konzept. Dahinter steht die Frage, was passiert, wenn Menschen sich in unterschiedlichen Räumen begegnen. Der scheinbar lapidare Ansatz ist revolutionär und lässt Sejima endgültig zu den Stars der Architekturszene aufrücken. Doch Kultgebaren bleibt ihr fremd und will auch nicht zu ihrem Werdegang passen.

Geboren wurde Kazuyo Sejima 1956 in der Präfektur Ibaraki, einem industrialisierter Küstenstreifen mit ausgedehnten Hafenanlagen und Ö Raffinerien. Nach dem Studium an der japanischen Frauenuniversität arbeitete sie zunächst bei Toyo Ito. 1987, die japanische Arbeitswelt war noch eine Männerdomäne zu der Zeit, gründet sie ihr erstes eigenes Studio in Tokyo. Mit Ryue Nishizawa tut sie sich 1995 zum Büro SANAA zusammen, dessen Bauten schnell international bekannt werden.

Ibaraki grenzt an Fukushima, jene Region im Nordosten der japanischen Hauptinsel Honshū, die es durch die Reaktorkatastrophe infolge eines verheerenden Tsunamis 2011 zu traurigem Weltruhm gebracht hat. Weniger gesprochen wird über die zahllosen Fischer in der Region, die nach der völligen Zerstörung ihrer Dörfer in höher



Campus-Rundgang mit Studierenden der Fakultät Architektur. Bildmitte Dekan Prof. Arno Lederer.



© Boris Mikautsch

gelegene Hütten umsiedeln mussten, weit entfernt vom Meer. Zu weit, um zwischen der Heimkehr vom Fang und dem Gang zum Markt nach Hause zu gelangen. Für diese Menschen bauen Sejima und Nishizawa gemeinsam mit anderen Architekten

Gemeinschaftshäuser, in denen die Männer auch schlafen können. Spektakulär sind die winzigen Hütten mit Metalldach nicht. Doch ganz im Sinne von Sejimas Motto bei der Biennale.

*Andrea Mayer-Grenu*

**Personal View**



© SANAA

**“People and architecture” is one of the central themes of your work. What is your vision?**

Architecture does not move, it is defined or developed by the people who use it. And architecture connects people.

So I help people to relate to architecture and vice-versa. I have always been interested in programming a building such that it shows the correlation between the layout of various rooms and the way people move through them. In the Rolex Learning Center in Lausanne (Switzerland) for example, functions are divided by a curve. Inside there are no walls at all, the limits are blurred. People always see each other from wherever they are, whether they are inside the building or outside - this creates the feeling of ‘staying together’. They have their privacy too, but they don’t and cannot see the edge.

**How do you connect western and eastern architecture?**

In western architecture, the interior and exterior are separated by heavy concrete walls. But in Japan, the interior spaces flow outside without interruption, making architecture the in-between space that connects people’s activities to the bigger en-

vironment. It’s not as if I make it a point to include Japanese elements in my designs. But I bring a bit of my own country into the architectural process - like this concept of connecting the inside to the outside. The result then is a building that is neither Japanese nor from the country where it is built.

**With SANAA you designed buildings like the New Museum of Contemporary Art in New York or the Louvre Lens in France. Now you construct houses for the victims of the earthquake and tsunami in Japan 2011. Why?**

After the catastrophe we decided as architects, that we should do something to improve the country’s situation. Intent on improving the conditions at the meager, temporary housing blocks, we began creating communal “Homes for All” where residents can socialize and sip tea. The success of the project inspired me to take on another one for the town of Kessen’numa. With this project I mentor an emerging architect, Yang Zhao, from Yunnan Province in China. Making something together is better than just talking.

Mit Genehmigung übernommen von Nalini Ramachandran/Domus India sowie Naomi Pollock, Tokyo.

*Mit Genehmigung übernommen von Nalini Ramachandran/ Domus India sowie Naomi Pollock, Tokyo.*

## more digits

Twittern für den Katastrophenschutz, Internet der Dinge, Gewebe aus dem Drucker, E-History...

Was in FORSCHUNG LEBEN Nr. 2 auf Papier beschrieben wird, kann man sehr eindrucksvoll auch live erleben: Beim Tag der Wissenschaft. In diesem Jahr am 12. Juli. Auf dem Uni-Campus Stuttgart-Vaihingen. Zum Informieren, Diskutieren, Ausprobieren.

Dort erfährt man zum Beispiel auch, wie die Schaltkreise zwischen den grauen Zellen funktionieren, was der vollautomatische Torhüter GOALIAS bei der Fußball-WM in Brasilien bewirken könnte und wie eine Computerdarstellung dabei hilft, die bakterielle Photosynthese zu verstehen.

Und noch viel mehr: Turbo-Codierung für mehr Sicherheit in der Nachrichtenübertragung, Robotersteuerung mit dem Smartphone, Produkte, die sich selbst entwickeln, Routenplaner für Sonderwünsche, Sprache zum Anschauen, ein virtueller Frisör. Eintauchen in die Software von LEGO Mindstorm-Robotern, lächeln für ein 3D-Porträt, smarte Scooter für die Stadt der Zukunft testen.

Nicht nur für Nerds. Sondern für Schülerinnen und Schüler, Studierende, Wissenschaftsbegeisterte und Wirtschaftsmenschen, Technikfreaks und Schöngeister, Familien und Kids ...und alle weiteren Mitglieder der digitalen Gesellschaft.

Wir freuen uns auf Sie!

*Das Team der Hochschulkommunikation*

# Impressum

**Herausgeber:** Universität Stuttgart

**Anschrift:** Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70174 Stuttgart  
Telefon 0711 685-82211, Fax 0711 685-82188  
hkom@uni-stuttgart.de, www.uni-stuttgart.de

**Redaktion:** Dr. Hans-Herwig Geyer, Andrea Mayer-Grenu

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

**Gestaltung und Umsetzung:** Zimmermann Visuelle Kommunikation  
www.zimmermann-visuelle-kommunikation.de

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

**Druck:** Krüger Druck+Verlag, Merzig

**Auflage:** 8.000

**Internet:** www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/uebersicht/





Universität Stuttgart

# TAG DER WISSENSCHAFT

# 12.07.14

13:00–19:00 Uhr Campus Vaihingen

## Information & Beratung

- ▷ Vorträge zu den Studiengängen
- ▷ Studienberatung

## Anfassen & Mitmachen

- ▷ Experimente
- ▷ Workshops
- ▷ Experimentalvorlesung
- ▷ Schüler-Campus

**Die Universität Stuttgart  
freut sich auf Ihren Besuch!**

Mehr Infos und Programmheft  
unter: [www.uni-stuttgart.de/tag](http://www.uni-stuttgart.de/tag)

Gestaltung: [www.bugra-schwab.com](http://www.bugra-schwab.com); Illustration: Arne Beck

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung

Wissenschaftsjahr 2014

**DIE DIGITALE  
GESELLSCHAFT**



# Wovon Sie früher auch träumten: Jetzt ist die Zeit, es wahr zu machen.

Rohde & Schwarz ist einer der wichtigsten technologischen Schrittmacher. Im Digital-Fernsehen. Im Mobilfunk. Auch in der Funktechnik sind wir federführend. Damit wir das auch bleiben, suchen wir engagierte Mitarbeiter (m/w) oder Studenten (m/w) wie Sie. Wir bieten Ihnen alles, was Sie brauchen, um Ihr Optimum zu erreichen: Flache Hierarchien, harmonische Teams und viel Freiraum. Denn nur so können überragende Ideen entstehen, wie die, die uns bereits in vielen Geschäftsgebieten unter die weltweite Top 3 gebracht haben. Interessiert?

Weitere Informationen unter: [www.career.rohde-schwarz.com](http://www.career.rohde-schwarz.com)

