



Universität Stuttgart

**RESSOURCEN
EFFIZIENZ**

FORSCHUNG LEBEN

DAS MAGAZIN DER UNIVERSITÄT STUTTGART

NR. 06 MAI 2016





FREIRAUM

2



Liebe Leserinnen und Leser,

Sie haben es sicherlich sofort bemerkt: Wir haben FORSCHUNG LEBEN, das Magazin der Universität Stuttgart, einem Relaunch unterzogen und in das neue Corporate Design unserer Universität übergeführt. Wir wollen mit diesem neuen Corporate Design, das seit Beginn des Jahres für die gesamte Universität Stuttgart gilt, unseren unterschiedlichen Dialoggruppen unsere Überzeugungen, Ziele und Leistungen auf einheitliche Weise verdeutlichen. Wir hoffen, dass wir mit der neuen Gestaltung unseres Forschungsmagazins Ihr Leseinteresse und -vergnügen noch steigern werden.

Künftig ist der Kreis Basis für ein Design mit hoher Flexibilität und hohem Wiedererkennungswert. Er steht für Einheit, aber auch für Vielfalt und Pluralität unserer Universität. Das Layoutsystem bleibt weiterhin geprägt von großzügigem Weißraum, prägnanter Typografie und einer klaren Bildsprache. Damit bezieht sich das neue Corporate Design bewusst auf den Geist der Marke Universität Stuttgart. Zudem führt es die Ursprungsidee fort, gestalterische Kraft und Wirkung aus Reduktion, Einfachheit und Klarheit zu erzielen.

Geblichen ist das bewährte Redaktionskonzept des Magazins und die inhaltliche Ausrichtung, Fragestellungen und Probleme aus der Gesellschaft aufzugreifen und über Lösungsansätze aus dem vielfältigen Forschungsspektrum der Universität Stuttgart zu informieren – in der vorliegenden Ausgabe zum brisanten Thema der Ressourceneffizienz.

Über Jahre hinweg dominierte in Wirtschaft und Gesellschaft die Auffassung, dass mehr Wachstum fast zwangsläufig mit einem steigenden Ressourcenverbrauch einhergeht. Doch angesichts der rasant steigenden Weltbevölkerung beginnt sich die Erkenntnis durchzusetzen, dass Wohlstand, Wettbewerbsfähigkeit und Lebensqualität maßgeblich davon abhängen, wie wir unsere Ressourcen schonend effektiv und nachhaltig einsetzen.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre!



Wolfram Ressel
Rektor der Universität Stuttgart

Foto: Lili Regenscheid

**FREIRAUM** 02
Editorial**NACHRICHTEN** 06**GEMEINT**
**Warum überhaupt
Ressourceneffizienz?**

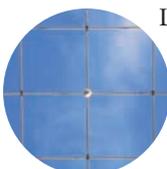
Technologieentwicklung und Politik müssen ineinandergreifen, meint Prof. Ernst Ulrich von Weizsäcker, Co-Präsident des Club of Rome, und skizziert provokante Ideen.

WIE SOLL DAS GEHEN? 14
Öko ist nicht gleich öko

Die ganzheitliche Bilanzierung stellt Umwelttechnologien auf den Prüfstand und zeigt der Industrie Wege zur ressourcensparenden Produktion auf.

PATENT 20
Rechnender Freigeist

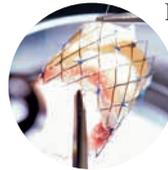
ERC-Preisträger Prof. Johannes Kästner untersucht quantenphysikalische Vorgänge, die bestimmte Reaktionen in der Chemie überhaupt erst ermöglichen.

IM BILDE 24
Tragfähige Leichtigkeit

Leichtbau ist Ressourceneffizienz par excellence und hat an der Universität Stuttgart nicht nur Tradition, sondern auch eine vielfältige Zukunft.

FAKTOR X 46
Bürgerdialog in 3D

Im Reallabor können Menschen ihre Stadt mit planen – auch digital.

RPM – REVOLUTIONS PER MINUTE 50**FUTUR 22** 64
So gut wie echt

Eine der Natur nachgebaute Herzklappe soll Kindern künftig viele Operationen ersparen.

SATELLIT 82
Effizienter Spaß

Eine Alumna des Studiengangs Umweltschutztechnik kümmert sich um das Wassermanagement im Europa-Park.

WELTSICHT 86
Studium gegen die Wegwerfgesellschaft**Aus Liebe zum Wasser** 88

Der Iraner Majid Hassanzadeh reist zwischen Kulturen und Fachdisziplinen.

- 49** **INTELLIGENT MATERIAL SPAREN**
„HIKE“ unterstützen bei der Homogenisierung und Reduktion von Spannungen
- 52** **BEZIEHUNGSSACHE**
Dirk Schwede bewertet die Wiederverwendbarkeit von Materialgruppen beim Bauen
- 54** **FASERPLATTEN AUS STROH**
Ästhetisch – funktional – umweltverträglich
- 56** **SCHÄTZE AUS DEM SCHROTT**
Kritische Rohstoffe effizient wiedergewinnen
- 60** **SAUBERE LUFT UND WARME GEBÄUDE**
Abluft reinigen mit Mikroben und Elektronen
- 63** **HYBRID HEIZEN**
- 66** **KUNSTSTOFF HILFT BEIM KLIMASCHUTZ**
Neue Werkstoffe, Maschinen und Verfahren schonen Ressourcen
- 70** **DIE SUCHE NACH DEN EINSARPOTENTIALEN**
Energiemanagement in der Industrie
- 74** **EFFIZIENZ IM VERBORGENEN**
Dichtungen sind mehr als ein Stück Gummi
- 76** **AUF DEM WEG ZUR ALLTAGSTAUGLICHEKEIT**
Wie die Elektromobilität vorankommt
- 85** **RESSOURCEN FÜR UNSERE ZUKUNFT**
Tag der Wissenschaft 2016



...aufgespießt



Foto: HeidelbergCement AG

Rückbau von Kernkraftwerken

Rund ein Drittel der derzeit 145 aktiven Kernkraftwerke in Europa erreichen im Jahr 2025 ihr reguläres Laufzeitende. Der sichere Rückbau und die sichere Entsorgung, aber auch die Ausbildung einschlägiger Ingenieure sind große Herausforderungen. Vor diesem Hintergrund haben sich fünf führende Forschungseinrichtungen in Europa zu dem Cluster „Rückbau kerntechnischer Anlagen“ zusammengetan. Ziel des Clusters ist die Entwicklung von Rückbaustrategien. Dazu gehört auch, das Rückbaumanagement und die anzuwendenden Rückbautechnologien zu optimieren. Dekontaminations- und Konditionierungstechnologien sowie Schutzmaßnahmen für Beschäftigte, Bevölkerung und Natur werden weiterentwickelt. Seitens der Universität Stuttgart sind das Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE) und die Materialprüfungsanstalt (MPA) beteiligt. Das IKE steuert Expertise zu den Themen Aktivierungssimulation von Kernbauteilen und Beton sowie zur Verbesserung der Sicherheit von Nasslagern bei. Die MPA wird ihre Erfahrungen aus den Bereichen Alterungsmanagement in kerntechnischen Anlagen und Genehmigung von Transport- und Lagerbehältern mit radioaktiven Abfällen einbringen.

CO₂-Reduktion in der Zementindustrie

Weltweit trägt die Zementindustrie mit sechs Prozent zum CO₂-Ausstoß bei. Im Rahmen des EU Projektes „CEMCAP“ untersucht das Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart gemeinsam mit einem internationalen Konsortium die Anwendung von Technologien, die den CO₂-Ausstoß in der Zementindustrie um 90 Prozent eindämmen sollen. Bei der Produktion des Baustoffs sind zwei Drittel der Emissionen darauf zurückzuführen, dass beim Brennen (Kalzinieren) des kalksteinhaltigen Zementrohmehls im Ausgangsmaterial gebundenes CO₂ freigesetzt wird. Daher reicht die Steigerung der Energieeffizienz alleine nicht aus.

Besser geeignet sind so genannte CCS-Technologien (Carbon Capture and Storage). Das IFK möchte zwei Verfahren untersuchen. Beim Oxy-Fuel-Verfahren wird Zement in reiner Sauerstoffatmosphäre gebrannt, das Abgas besteht nahezu ausschließlich aus CO₂ und lässt sich verflüssigen. Beim Calcium-Looping-Verfahren wird das so gewonnene CO₂ im Reaktor mit gebranntem Kalk kombiniert – es entsteht der Zementrohstoff Kalkstein.

Lean Construction

Um die Produktivität und Ressourceneffizienz im Bauwesen signifikant zu verbessern, wurde 2014 auf Initiative von Prof. Fritz Berner vom Institut für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart und Prof. Shervin Haghsheno am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) das German Lean Construction Institute – GLCI gegründet. Es beschäftigt sich mit der Verbesserung der Planungs- und Ausführungsprozesse im Bauwesen und überträgt dafür die Grundsätze und Werkzeuge des Lean Management auf das Bauwesen. Diese wurden in den vergangenen Jahrzehnten zunächst in der Automobilindustrie entwickelt und werden seit den 1990er Jahren auch auf andere Wirtschaftszweige übertragen. Lean Construction hinterfragt bisherige Systeme, Prozesse und Organisationsmodelle im Bauwesen. Mit der Fokussierung aller Tätigkeiten auf den Wert aus Sicht des Kunden und dem Prinzip der kontinuierlichen Verbesserung durch Vermeidung von Verschwendung bietet Lean Construction die Möglichkeit, Produktionsprozesse im Bauwesen auf eine komplett neue Grundlage zu stellen.



Durchstarten in Deine Zukunft!

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

*Generation
Education*

STORZ
KARL STORZ – ENDOSKOPE

ERC Grants im Doppelpack

Zwei Projekte der Universität Stuttgart werden seit März durch Consolidator Grants, hochdotierten Forschungspreisen des Europäischen Forschungsrats (ERC), mit jeweils rund zwei Millionen Euro gefördert.

Prof. Albrecht Schmidt, Informatiker und Forschungsleiter im Exzellenzcluster SimTech, und sein Team untersuchen, wie die menschlichen Sinne technisch erweitert werden können und wie künstliche Reize und Werkzeuge sie ergänzen. Prof. Hans Peter Büchler vom Institut für Theoretische Physik erforscht, wie eine Wechselwirkung zwischen Photonen möglich sein kann. Ausgangspunkt sind Rydberg-Atome (Atome mit spezifischer Elektronen-Ladung), die in Anwesenheit eines Photons ihre Wellenfunktion ändern. Mit diesen Vorhaben fördert der ERC an der Universität Stuttgart insgesamt zwölf laufende Forschungen.

Foto: Privat



Prof. Albrecht Schmidt

Foto: Aha! Film



Prof. Hans Peter Büchler

ZEISS Research Award für Jörg Wrachtrup

Für die Arbeit über Quantenzustände bei Fremdatomen in Diamanten bekommt Prof. Jörg Wrachtrup, Leiter des 3. Physikalischen Instituts an der Universität Stuttgart, den ZEISS Research Award 2016. Er erhält den mit 40 000 Euro dotierten Preis gemeinsam mit seinem ehemaligen Kollegen Prof. Fedor Jelezko (Universität Ulm). Voraussetzung für die Auszeichnung sind herausragende Leistungen im Bereich der Optik oder Photonik.

Im Mittelpunkt der prämierten Forschung stehen Diamanten als Bausteine für neuartige Computer. Quantenzustände von Fremdatomen, die gezielt ins Diamantgitter eingebaut wurden, sind auch unter störenden Umgebungseinflüssen problemlos ablesbar. Damit können Informationen besonders schnell bearbeitet oder abhörsicher übertragen werden. Auch Sensoren lassen sich mit den Diamanten bauen. Weitere technische Anwendungen für Bereiche von Medizin bis zum Verkehr sind möglich. Der

Zeiss Research Award ist die fünfte herausragende Auszeichnung für Wrachtrup binnen fünf Jahren.

AUSGEZEICHNET



Foto: David Ausserhofer

Foto: Acatech



Ortwin Renn neuer Direktor am Institute for Advanced Sustainability Studies

Prof. Ortwin Renn, Ordinarius für Umwelt- und Techniksoziologie am Institut für Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart und Leiter des Zentrums für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung ZIRIUS, trat zum 1. Februar 2016 sein Amt als wissenschaftlicher Direktor am Institute for Sustainability Studies (IASS) in Potsdam an. Damit folgt er Prof. Klaus Töpfer nach. Am IASS möchte Renn die systemischen Risiken aufgreifen, die Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft bedrohen. Gemeinsam mit Politik, Wirtschaft und zivilgesellschaftlichen Gruppen will er an Lösungen arbeiten, wie diese Risiken in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung beherrscht werden können.

Text Studies in Italien

Das Istituto Italiano di Studi Germanici in Rom zählt zu den renommiertesten internationalen Forschungsinstituten für Textwissenschaften in Europa. Das in der Villa Sciarra auf dem Gianicolo residierende Institut ist Sitz zahlreicher wissenschaftlicher Organisationen wie der italienischen Walter-Benjamin-Gesellschaft und der italienischen Hölderlin-Gesellschaft. Im Februar 2016 unterzeichneten das Stuttgart Research Centre for Text Studies (Prof. Sandra Richter / Prof. Claus Zittel) eine Kooperationsvereinbarung mit der berühmten Institution. Im Mittelpunkt der Kooperation stehen die Forschungsfelder Digital Humanities und Hermeneutik, Ästhetik, Poetik und Texttheorie sowie Fach- und Ideologieggeschichte der Germanistik.

Foto: Studi Germanici



Gemeinsam für bessere Lehrer

Viele Lehramtsstudierende trifft beim Debut im Klassenzimmer der Praxisschock. Denn wissenschaftliche Ausbildung und Fachdidaktik werden in der Lehrerbildung an Universitäten und Hochschulen bisher recht unterschiedlich gewichtet. Ein neuer Verbund mit dem Titel „Lehrerbildung PLUS“ bringt das jeweils Beste dieser Welten zusammen. Beteiligt sind die Universitäten Stuttgart und Hohenheim, die Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, die Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart sowie die Staatliche Hochschule für Musik und Darstellende Kunst Stuttgart. Die Partner wollen gemeinsam eine „Professional School of Education“ (PSE) aufbauen.

Angestrebt wird eine Verknüpfung des Lehrangebots von Fachwissenschaft und wissenschaftlicher Fachdidaktik sowie Bildungswissenschaften. Zudem möchte man die Qualität der Lehrerbildung bildungswissenschaftlich untersuchen und verbessern. Eine stärkere Verbindung zwischen Theorie und Praxis wird angestrebt. Weitere Maßnahmenpakete von „Lehrerbildung PLUS“ befassen sich mit naturwissenschaftlich-technischem Lernen in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) sowie mit inklusiver Bildung und Heterogenität.



Foto: Max Kovalenko

Mit Kopernikus die Energiewende meistern

Der Astronom und Mathematiker Nikolaus Kopernikus ist Namensgeber für die bislang größte Forschungsinitiative zur Energiewende, mit der das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in den nächsten zehn Jahren wegweisende Lösungen für den Umbau des Energiesystems fördern wird. Ziel ist es, neue Energiesysteme so weit voranzubringen, dass sie alle Regionen Deutschlands sicher und stabil mit Energie versorgen und dabei ökonomische und gesellschaftliche Aspekte in gleichem Maße beachtet werden. Die Universität Stuttgart ist an gleich zwei der vier ausgewählten Projekte des mit bis zu 400 Millionen Euro dotierten Forschungsprogramms führend beteiligt: Im Themenfeld „Industrieprozesse“ ging der Zuschlag an

das Projekt SynErgie. Es soll die technischen und marktseitigen Voraussetzungen schaffen, um den Energiebedarf der deutschen Industrie effektiv mit dem schwankenden Energieangebot zu synchronisieren und so zur kosteneffizienten Realisierung der Energiewende beitragen. Das Konsortium ENavi im Themenfeld „Systemintegration“, zu dem auch der Forschungsverbund STRise (Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy) gehört, betrachtet die Energiewende als einen gesamtgesellschaftlichen Prozess und erarbeitet Konzepte, die bei der Entwicklung des zukünftigen Systems technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte von Anfang an integriert berücksichtigen. Ziel ist eine sozial, ökologisch und ökonomisch nachhaltige Gestaltung der Energiewende.

Be-Lufthansa.com/Technik

What makes a great precision engineer?

To succeed as a top engineer you need to be meticulous, practical and well-organised. These are qualities as likely to be found in women as men. That's why at Lufthansa Technik we go out of our way to attract and promote female talent.

Lufthansa Technik is the world's leading aircraft maintenance and repair group. If you have a diploma or degree in engineering we can offer you the responsibility of managing your own projects at the forefront of aviation technology. What's more, we provide a flexible work schedule. So your personal life and professional life can fit perfectly together.

Be who you want to be
Be-Lufthansa.com



Lufthansa

The Aviation Group

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



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

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

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



Warum überhaupt Ressourceneffizienz? Technologieentwicklung und Politik müssen ineinandergreifen

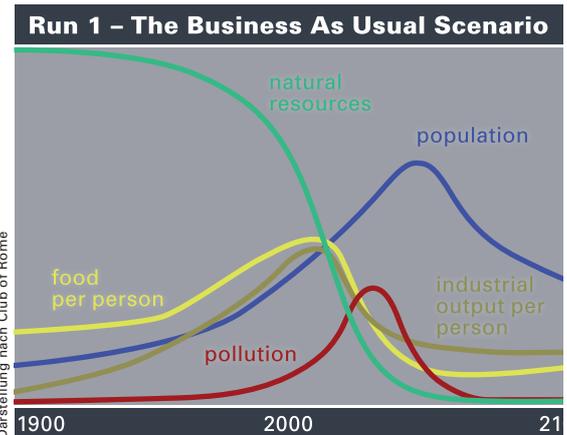
Der Physiker und Biologe Prof. Ernst Ulrich von Weizsäcker, Co-Präsident des Club of Rome, gehört zu den pointiertesten Vordenkern und Begleitern der Nachhaltigkeitsdebatte und fordert seit vielen Jahren die Entkoppelung von Wachstum und Ressourcenverbrauch. In einem Gastbeitrag in FORSCHUNG LEBEN skizziert er Vorschläge zur Erhöhung der Ressourceneffizienz, die quer liegen zur heutigen Politik.

Der Club of Rome wurde 1972 berühmt durch die Studie „Die Grenzen des Wachstums“¹. Doch das zentrale Szenario aus dem Weltbestsellerbuch war in Wirklichkeit Schwarzmalerei. Der Erdmantel ist voll von mineralischen Ressourcen. Bloß werden die reichhaltigen Erzdern am schnellsten ausgebeutet, und von Jahr zu Jahr muss man sich mit immer spärlicheren Erzvorkommen begnügen. Bei einigen chemischen Elementen erlebt man schon echte Knappheiten, so etwa bei Indium, Phosphor und den „schweren“ Seltenen Erden. Ugo Bardi, Mitglied des Club of Rome, hat in einem neuen Bericht² dargestellt, dass Energieverbrauch und lokale Verschmutzung pro Tonne Metall über die Jahrzehnte ständig zugenommen haben, als Folge der unerfreulich wachsenden Relation zwischen Gestein und Metall.

Katastrophal schlecht, nämlich unter einem Prozent sind die Recyclingraten bei den allermeisten Hochtechnologie-Metallen. Thomas Graedel und sein Team an der Yale University haben das im Rahmen der Metall-Arbeitsgruppe des International Resource Panel herausgefunden.³ Das heißt, dass sich die Menschheit gerade bei den geologisch nur in hohen Verdünnungen vorkommenden Metallen den Luxus leistet, rund 99 Prozent der einmal gebrauchten Metalle im Müll verschwinden zu lassen. Diese beiden Einleitungsaussagen sollen als Basis für die Argumentation genügen, dass eine Ver-

besserung der Ressourcenproduktivität dringend wünschbar und auch möglich ist. Die Recyclingraten zu erhöhen, ist im Wesentlichen eine Frage des Produktdesigns und der Trenntechnologien von technischen Abfällen.

Anders als bei Metallen sieht die Situation bei Kunststoffen aus. Hier geht es bezüglich der Ressourceneffizienz erstens um die Nutzung von Kunststoffen für Energieeffizienz, namentlich Wärmedämmung und leichtere Fahr- und Flugzeuge, und zweitens um die Langlebigkeit und Wiederverwendbarkeit von Kunststoffen. Natürlich muss auch die Toxizität Berücksichtigung finden, auch im Brandfall und beim



Das Standard-Szenario aus dem Weltbestseller „Die Grenzen des Wachstums“. Auffällig vor allem die grüne Linie: der Absturz der Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen.

Recycling. Polystyrol, lange Zeit als ideales Material für Wärmedämmung gefeiert, wird neuerdings kritischer gesehen, unter anderem wegen toxischer Flammenschutzsubstanzen. Die ganze Komplexität und die wunderbaren Nutzungsmöglichkeiten von Polymeren und daraus hergestellten Kunststoffen entfaltet zum Beispiel Professor Bonten in dem Beitrag auf Seite 66.

¹ Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers and William Behrens 3rd. 1972. Die Grenzen des Wachstums. DVA: Stuttgart 1972

² Ugo Bardi, Der geplünderte Planet. Die Zukunft des Menschen im Zeitalter schwindender Ressourcen, München 2013

³ International Resource Panel. 2011. Metal Stocks and Recycling Rates. (Lead author: Thomas E. Graedel) Nairobi: UNEP



Foto: James Badham

Mein eigener politischer Vorschlag für die Erhöhung der Ressourceneffizienz ist etwas eigenwillig und liegt quer zu dem, wie heute Politik funktioniert. Ich behaupte, dass es für die Erhöhung der Ressourcenproduktivität absolut gigantische Potenziale gibt. Eine Verfünffachung ist das Mindeste, was man heute anzielen sollte.⁴ Langfristig ist auch eine Verzwanzigfachung vorstellbar. Leider bewegt sich die Technologieentwicklung fast gar nicht in diese Richtung. Und das hat damit zu tun, dass die Verfügbarkeit von Ressourcen über die Jahrhunderte immer weiter zugenommen hat. Das Explorieren, Pumpen, Baggern, Transportieren und Raffinieren von Rohstoffen ist einfach immer effizienter und damit pro Tonne Metall oder anderen Rohstoffen immer billiger geworden.

Stellschraube Rohstoffpreise

Diesem ökologisch sehr negativ zu bewertenden Trend muss man politisch etwas entgegen setzen. Am besten scheint mir ein politischer Beschluss, die Preise für Rohstoffe beim Endverbraucher immer weiter zu erhöhen. Damit das nicht zu sozialen Spannungen oder ungewollten Industriewandlungen führt, muss man die Steigerung sehr sanft vornehmen, am besten in strikter Proportion zu den Effizienzgewinnen des Vorjahrs. Dann wird definitionsgemäß das was man im Durchschnitt für die Energie- oder Mineralien-Dienstleistung zu bezahlen hat, nicht mehr. Für Niedrigverdiener kann man eine Sonderregelung für den Lebensbedarf finden. Und für die ressourcenintensive Industrie kann eine Aufkommensneutralität vereinbart werden: die aus den empfindlichen Branchen kassierten Abgaben für Energie und Mineralien würde man an die Branche zurückgeben – pro geschaffenen Mehrwert oder pro Vollarbeitsplatz.

Man würde also ein „Pingpong“ zwischen Ressourcenproduktivität und Ressourcenpreisen inszenieren. Dieses würde dem seit über hundert Jahren

„Eine Verfünffachung der Ressourcenproduktivität ist das Mindeste, was man heute anzielen sollte.“

Prof. Ernst Ulrich von Weizsäcker
Club of Rome

”

existierenden Pingpong zwischen Arbeitsproduktivität und Löhnen gleichen, welches etwa zu einer Verzwanzigfachung der Arbeitsproduktivität geführt hat und uns ständig reicher gemacht hat. Heute aber ist die weitere Erhöhung der Arbeitsproduktivität – etwa durch die Digitalisierung – weltweit gar nicht unbedingt wünschenswert (außer aus Wettbewerbsgründen), während die Erhöhung der Ressourcenproduktivität zur Überlebensfrage werden könnte.

Ernst Ulrich von Weizsäcker

⁴ Ernst Ulrich von Weizsäcker, Karlson Hargroves u.a. 2010. Faktor Fünf. Die Formel für nachhaltiges Wachstum. München, Droemer

Öko ist nicht gleich öko Ob Produkte Ressourcen schonen, zeigt die ganzheitliche Bilanzierung

Sind Elektroautos umweltfreundlicher als solche mit Verbrennungsmotor? Wo lassen sich in einem industriellen Produktionsprozess Energie und Material einsparen? Diesen Fragen gehen die Forscher der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung am Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart nach. Der Industrie zeigen sie neue Wege auf, um material-, energie- und damit kostensparender zu arbeiten. Die Gesellschaft kann aus den Berechnungen ablesen, wo sie Ressourcen verschwendet, der Umwelt mehr schadet als nötig oder soziale Standards missachtet.

Wohl kaum eine Frage wird in der Verkehrs- und Umweltpolitik derzeit kontroverser diskutiert als der Sinn und Nutzen von Elektrofahrzeugen. Die fahren zwar emissionsfrei. Ob sie tatsächlich umweltfreundlicher sind, lässt sich allein daraus aber nicht folgern. Denn wie bei Wagen mit Verbrennungsmotor hat die Herstellung des Fahrzeugs und des Treibstoffs Auswirkungen auf die Umwelt. Erst eine eingehende Analyse, eine Ökobilanz – oder noch umfassender eine ganzheitliche Lebenszyklus-Bilanz – lassen fundierte Aussagen zu.

Pioniere für diese Art von Berechnungen sind die 23 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi). Bereits 1989 haben sie damit begonnen, Ökobilanzen zu berechnen. Seit 2006 ist die Abteilung am Lehrstuhl für Bauphysik angesiedelt, den Prof. Schew-Ram Mehra leitet. Heute lassen eine über Jahrzehnte aufgebaute Datenbank sowie die Expertise des Teams tiefgehende Analysen für Forschung und Industrie zu.

„Die Basis unserer Arbeitsweise sind Wertstoffstrom-Analysen“, erklärt GaBi-Abteilungsleiter Matthias Fischer. Das heißt, alle in einem Prozess eingesetzten Stoffe werden von ihrer Gewinnung – etwa in einer Mine im Kongo – bis zu ihrer Verwer-

tung nach dem Nutzungsende betrachtet. Prozesse, Produkte oder Dienstleistungen analysiert das Team sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich und technisch: Was gelangt hinein, was heraus? Welche Energie muss man aufwenden, welche Hilfsstoffe werden verbraucht? Auf diese Weise lassen sich Lebenszyklus-Kosten errechnen – und zwar nicht nur innerhalb eines Unternehmens, sondern entlang der gesamten Wertschöpfungskette. „Das Ziel ist eine Nachhaltigkeitsbewertung für jedes Produkt“, sagt Fischer. Dies ermöglicht eine umweltgerechte Produktentwicklung.

Bei der Berechnung einer Ökobilanz ermitteln die Forscher die Wirkungen eines Produktsystems auf die Umwelt. Fünf bedeutsame Kategorien sind dabei der jeweilige Beitrag eines Produktes oder Prozesses zur globalen Erwärmung, zum Ozonabbau, zum Sommersmog, zur Versauerung und zur Überdüngung. „Das dient dazu, aus der Fülle der Emissionen und chemischen Verbindungen einigermaßen überschaubare Wirkungskategorien von Emissionen zu bilden, die sich gleich verhalten“, erklärt Fischer und gibt ein Beispiel: Der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan und Lachgas zählt in die Kategorie Treibhauseffekt, weil alle drei Gase diesen befördern. Je nach Studie können weitere Faktoren hinzukommen, etwa das Vergiftungspotenzial für Mensch und Umwelt oder der Landverbrauch. Schnell kommt man bei einer Ökobilanz auf Tausende Parameter. „Wir erfassen alles“, sagt Fischer. „Was der Politik gerade wichtig ist, entscheiden nicht wir.“ Derzeit ist das die globale Erwärmung, in den 1990er-Jahren zählte der Sommersmog mit seinen hohen Ozonwerten in der bodennahen Luft. Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ist dabei nicht nur wichtig, Probleme zu benennen, sie wollen auch Alternativen aufzeigen. „Irgendwo gibt es immer ein Problem. Dann geht es darum, dieses Problem zu lösen, ohne ein neues zu schaffen“, sagt Fischer. „Ein Alltagsbeispiel: Ich habe



Foto: Ruter-Maassen/Caschlight

Nutzen neue Technologien wie dieser Brennstoffzellen-Bus wirklich der Umwelt? Die ganzheitliche Bilanzierung gibt Antworten.

eine Ölheizung im Haus. Also überlege ich, auf Gas umzusteigen, das verbrennt sauberer. Noch besser wäre aber eine Stromheizung, die erzeugt gar keine Emissionen. Wenn man dann aber nicht beachtet, woher der Strom kommt, macht man einen Fehler.“ Womit man eine Analogie zur eingangs genannten Elektromobilität hätte. „Das ist ein politisch sehr aufgeladenes Thema“, sagt Fischer. „Uns geht es darum, zu analysieren und zu sagen: Wenn ihr diesen oder jenen Weg einschlagt, ist es sinnvoll.“

Tägliche Daten von 56 Wasserstoff-Bussen

Derzeit arbeiten Forscher der Abteilung GaBi unter anderem in mehreren Projekten mit, die sich mit alternativen Mobilitätskonzepten befassen. Eines davon ist das EU-Projekt Clean Hydrogen in European Cities (CHIC), das aktuell größte europäische Brennstoffzellenprojekt mit einem Budget von 82 Millionen Euro. Noch bis Ende des Jahres 2016 dient CHIC dazu, 56 Busse mit Brennstoffzellen-Antrieb im Linienbetrieb in mehreren europäischen Städten zu testen. Innerhalb der beteiligten 23 Forschungsinstitute, Städte und Industriepartner aus acht Ländern nimmt die Universität Stuttgart eine zentrale Position ein, wie

Aleksandar Lozanovski, der Projektbetreuer an der GaBi erklärt. „Alle täglichen Daten der Busse laufen bei uns zusammen und werden weiterverteilt“, sagt er. Mit den Daten erstellen die Forscher unter anderem die Ökobilanz der Busse und stellen weitere Untersuchungen an. Etwa, wie oft die Fahrzeuge auf ihren bis zu 20-stündigen Touren ausfallen und warum. „Das sind wichtige Informationen für die Hersteller und Forscher, wo sie weiterentwickeln müssen.“ Bis August 2015 waren die Busse bereits knapp acht Millionen Kilometer gefahren und hatten dabei rund vier Millionen Liter Diesel und mehr als 6.000 Tonnen CO₂ eingespart. Ein erstes Ergebnis: Die Busse fahren etwa ein Viertel effizienter als dieselgetriebene. „Wenn ich es aus der Umweltperspektive betrachte, kann man es auf einen simplen Nenner bringen: Es kommt auf die Herstellung des Wasserstoffs an“, beurteilt der Forscher die vorläufige Ökobilanz der Busse. „Wenn ich Wasserstoff aus grüner Energie habe, bin ich deutlich besser als bei Dieselmussen. Bei fossil hergestelltem Wasserstoff liege ich je nach Randbedingungen mal besser, mal schlechter.“ Bis die Busse auch für Transportunternehmen effizienter sind, wird es nach Schätzung Lozanovskis aber noch Jahre dauern. „Ein Dieselmussen kostet zirka 200.000 Euro, ein Brenn-



Mit Nanomembranen können verschmutzte Flüssigkeiten vorgereinigt werden. Die ganzheitliche Bilanzierung bewertet die Umweltwirkungen des Verfahrens.

Foto: Uli Regenschneit

stoffzellen-Bus momentan noch über 700.000 Euro – bei höheren Betriebskosten.“ Doch er schränkt ein: „Das sind nur die direkten Kosten. Indirekte Kosten wie Luftverschmutzung und Schadstoffausstoß sind in diesen betriebswirtschaftlichen Rechnungen nicht enthalten.“ Allerdings fällt es schwer, diese gegeneinander zu beziffern: „Wie will ich die Stickoxid- oder Feinstaub-Emissionen in Stuttgart in Euro umrechnen? Da wäre ein lokal emissionsfreier Brennstoffzellen-Bus im Vorteil.“

Grenzen der Aussagekraft

Dennoch zeigt dieses Projekt, wann Ökobilanzen an ihre Grenzen stoßen: Wenn man Umweltauswirkungen gegen direkte Kosten abwägen muss. Denn eines macht diese Art der Berechnung sichtbar: „Wenn man ein Produkt ökonomisch optimiert, hat man nicht unbedingt die besten Sozialstandards und Umweltbedingungen eingehalten“, wie es Matthias Fischer formuliert.

Die Bilanzierung kann in einem solchen Fall aber helfen, politische Entscheidungen zu treffen, beispielsweise Wasserstoff-Busse zu fördern. Das Beispiel zeigt außerdem, dass die Studien nur so gut sein können, wie die Daten sind, die man hineingibt. „Natürlich hängt man von der Qualität der Daten, der Messungen und Informationen ab“, sagt Fischer. Deshalb bezieht das GaBi-Team beispielsweise die Verbrauchswerte von Kraftfahrzeugen von Forschungsinstituten, nicht von den Herstellern. Grundsätzlich sei es bei einer Ökobilanz wichtig, transparent zu dokumentieren, mit welchen Faktoren unter welchen Randbedingungen die Berechnungen durchgeführt wurden, so Fischer. „Je stärker man davon abweicht, desto weniger treffen die Aussagen auch zu.“ Die Forscher rechnen

zudem mit Werten, die die Industrie zur Verfügung stellt. Hinzu kommen zahlreiche Statistiken und Erhebungen.

Zu allen denkbaren Rohstoffen und Materialien verfügen sie so über Werte zu den einzelnen Kategorien der Öko- oder Lebenszyklus-Bilanz. „Es kann sein, es gibt für ein Vorprodukt fünf verschiedene Hersteller, die wiederum in 20 Rohstoffländern einkaufen. Das hat einerseits den Vorteil, dass sich vieles ausnivelliert, andererseits macht es das Ganze sehr komplex“, schildert der Ingenieur die Datenproblematik. Die über mehr als 25 Jahre gesammelten Datensätze sind daher der ganze Schatz der Abteilung. Man dürfe die Wissenschaft der Ökobilanz aber ohnehin nicht mit Mathematik oder Physik vergleichen, sagt Fischer. „Unsere Daten liegen zum Teil mehrere Jahre zurück. Deshalb ist die Ökobilanz eigentlich eine Retrospektive.“ Aller Erfahrung nach wirke sich das bei vielen Berechnungen kaum aus. Aktuell bereite beispielsweise der niedrige Ölpreis den Forschern gewisse Probleme. „Für uns wird es schwierig, zu propagieren, dass man mittelfristig vom Öl wegkommen muss, weil es irgendwann zur Neige geht und teuer wird.“

Batteriematerialien und Elektroautos

Betrachtet man die Umweltauswirkungen, spielt der Ölpreis aber kaum eine Rolle, wie ein weiteres Projekt der Arbeitsgruppe Energie und Mobilität der Abteilung GaBi zeigt: das deutsch-französisch-österreichische Projekt Electric Vehicle with Range Extender as a Sustainable Technology (EVREST). Darin untersuchten die Forscher, ob Elektrofahrzeuge mit einem kleinen Motor zur Verlängerung der Reichweite (Range Extender – RE) einen Nutzen für die Umwelt haben. Auf Grundlage europäischer

Verkehrsstatistiken ermittelten sie, dass Kleinwagen im Schnitt 50 Kilometer am Tag bewegt werden, Autos der Kompaktklasse 90 Kilometer. Deshalb errechneten sie, ob es günstiger und ökologischer wäre, wenn man Batterien von genau dieser Reichweite einbaut und mit dem Hilfsmotor eine Reichweite von bis zu 300 Kilometern ermöglicht. Denn die Produktion der Batterie trübt derzeit die Ökobilanz der Elektrofahrzeuge. In Vergleichen mit den am Markt erhältlichen konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor konnten die Forscher ein differenziertes Bild zeichnen: Beim Beitrag zum Treibhauseffekt erzielten die RE-Fahrzeuge einen Vorteil, selbst wenn sie mit konventionell erzeugtem Strom geladen würden. In diesem Fall wären sie sogar dem batterieelektrischen Auto überlegen. Nutzt man Ökostrom, wäre das E-Auto ohne Hilfsmotor umweltfreundlicher. Anders sieht es beim Beitrag zur Versauerung aus: Um die Rohstoffe für die Batteriezellen abzubauen und aufzubereiten, sind etwa für das Kathoden-Material Kobalt in den vor allem afrikanischen Abbauländern vergleichsweise energieintensive Prozesse nötig. „Deshalb entstehen dort mit steigender Batteriegröße höhere Umweltauswirkungen. Diese wirken sich so stark auf das Versauerungspotenzial aus, dass sie bisher nicht über die Nutzungsdauer hereingeholt werden können“, erklärt der an diesem Projekt beteiligte GaBi-Mitarbeiter Michael Baumann. Empfohlen wird daher, den Energiemix im Abbauland sauber zu gestalten und Verfahren zu entwickeln, diese Materialien mit weniger Energie aus dem Erz zu gewinnen oder in Europa zu recyceln.

Nutzen für die Industrie

Noch konkreter als bei derartigen Forschungsstudien zeigt sich in Projekten direkt mit der Industrie, wie man durch Lebenszyklus-Analysen Effizienzgewinne erzielen kann. „Effizienz bedeutet nach meiner Definition Nutzen geteilt durch Aufwand,

beziehungsweise Nutzen im Verhältnis zu Ressourceneinsatz“, sagt Fischer. Steigern könne man Effizienz also, indem man bei gleichem Einsatz einen höheren Nutzen erziele oder bei gleichem Nutzen weniger Ressourcen einsetze. Vor allem bei der Analyse ganzer Prozessketten lassen sich mögliche Effizienzgewinne aufzeigen, macht Jan Paul Lindner von der AG Werkstoffe und Produktsysteme am Beispiel des Projekts NanoMembrane deutlich. „Wenn ich herausfinde, an welchem Schritt ich wie viel Umweltwirkung generiere, kann ich gezielter optimieren“, sagt der Umweltschutztechniker. Bei NanoMembrane wollten die Forscher ermitteln, ob man durch Nanofiltration verschmutzter Flüssigkeiten Umweltverbesserungen erzielen kann. Zum Einsatz kamen beschichtete poröse Keramikrohre mit dünnen Kanälen. Der zu filternde Stoff wird hindurchgeleitet, das Filtrat sickert durch die Keramik. Untersucht wurde unter anderem ein organisches Lösungsmittel, das ein Pharmahersteller als Medium für die Synthese eines seiner Produkte verwendet. „Eine Möglichkeit ist, das Lösungsmittel in die Entsorgung zu geben, wo es verbrannt wird. Die nächste Möglichkeit wäre, das Lösungsmittel zu destillieren“, erklärt Lindner. Dabei müsste nur der Abfall verbrannt werden. Schaltet man die Nanofiltration vor, erhält man ein vorgereinigtes Lösungsmittel und ein konzentriertes Abfallprodukt. „Die Destillation ist wesentlich weniger aufwändig, wenn man vorher filtriert. Die Frage ist, was lohnt sich wie stark?“ Denn beispielsweise produziert auch eine Sondermüllverbrennungsanlage mit dem Abfall noch Strom und Wärme. Dennoch konnten die Wissenschaftler zeigen: „In diesem Fall ist jede Wiederverwendung besser als die Verbrennung“, und: Die Destillation alleine erzeugt höhere Umweltlasten als die mit vorgeschalteter Nanofiltration.

Die zentrale Stelle zur grundlegenden Verbesserung der Ressourceneffizienz liegt aber ohnehin nicht im



Robotische Vorfertigung von Holzsegmenten eines Pavillons in Leichtbauweise.

Wertstoffstrom selbst, sondern schon beim Design eines Produktes, resümiert Fischer die Erkenntnisse aus zahlreichen Ganzheitlichen Bilanzierungen. „Das Design muss den Nutzen definieren und hat gleichzeitig den größten Einfluss auf die Prozesskette: Wie viele und welche Materialien werden verwendet? Wie werden diese verbunden? Wenn man wirklich zu mehr Ressourceneffizienz beitragen will, muss ein intelligenter Mensch dort sitzen, wo designt wird.“

Ein Computer konstruiert die ökologisch sinnvollsten Holzbauten

Wie man Design auf Ressourceneffizienz hin optimieren kann, soll ein letztes Beispiel aus der Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen zeigen: das Projekt Holz R3 – ressourcenschonend, regional, robotisch gefertigt. Zusammen mit Wissenschaftlern des Instituts für computerbasiertes Entwerfen (ICD) und des

Instituts für Tragkonstruktion und konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart entwickeln die GaBi-Mitarbeiter neuartige Planungs- und Fertigungsprozesse für Holz. „Wenn wir Produkte optimieren wollen, ist es wichtig, dass wir eingreifen, bevor das Produkt existiert. Das heißt, dass wir Parameter in die Produktentwicklung einbringen“, sagt Rafael Horn, der Holz R3 gemeinsam mit Michael Jäger betreut. Ausgangspunkt der Überlegungen war, dass eine Verdichtung des Wohnraumes in Städten nur möglich ist, indem man Gebäude aufstockt. Dies muss in Leichtbauweise erfolgen. „Hierzu eignet sich der Werkstoff Holz“, sagt der Umweltschutztechniker Horn. Die Bauformen werden dabei Vorbildern aus der Biologie nachempfunden, in diesem Fall dem Panzer eines Seesterns. Wie so etwas aussehen kann, zeigte bereits der Forstpavillon auf der Landesgartenschau in Schwäbisch Gmünd, der von den Projektpartnern ICD und



Wussten Sie, dass wir mit unseren intelligenten Produkten den Maschinen- und Anlagenbau digitalisieren?

www.voith.com/karriere

VOITH
Engineered Reliability

ITKE entwickelt wurde. Das Gebäude besteht aus zahlreichen Einzelsegmenten. „Die Module werden vollautomatisch und robotisch gefertigt“, erklärt der Wirtschaftswissenschaftler Jäger. Schon heute konstruiert ein Computer die Geometrie der Platten selbstständig. Man muss lediglich die Auflagepunkte der Konstruktion eingeben. Ein Roboter sägt und fräst die Teile aus. „Das zentrale Element von Holz R3 ist, in diese Optimierung Nachhaltigkeitskriterien zu implementieren“, erklärt Jäger. „Wir bekommen durch diesen computergestützten Planungsprozess dann die ökologisch sinnvollste Variante.“ Horn verdeutlicht: „Aus technischer Sicht ist es interessant, mehr kleinere Platten zu machen. Aber dann hat man eine größere Bearbeitungsstrecke und damit mehr Energieaufwand. Das beeinflusst die Gesamtbilanz sehr stark.“ In ihrer Lebenszyklus-Analyse berücksichtigen die Forscher von Holz R3 zudem nicht nur die Frage, wo man Prozesse optimieren kann, sondern auch soziale Aspekte. Dazu können etwa die Wirkung des Materials Holz auf die späteren Bewohner zählen

oder die Auswirkungen dieser Fertigungsweise auf Wertschöpfungsketten in der Region, zum Beispiel auf Arbeitsplätze.

Soziale Faktoren berücksichtigen

Für Matthias Fischer liegt der große Vorteil der Ganzheitlichen Bilanzierung genau darin, dass auch soziale Faktoren – wie etwa Arbeitsbedingungen – einbezogen werden. „Das ist sicher ein Thema, das stark ausgebaut werden wird und werden muss. Wir sind bemüht, die soziale Dimension mit der ökonomischen und ökologischen Betrachtung zusammenzuführen.“ Denn beispielsweise arbeiten die erwähnten Kobaltminen im Kongo nicht nur mit einem sehr schmutzig erzeugten Strom, das Erz wird dort unter anderem auch von Kindern abgebaut. Dieses ganze Ausmaß wird aber nur dann sichtbar, wenn man die Ökobilanz zu einer Ganzheitlichen Bilanzierung erweitert – dem Spezialgebiet der Stuttgarter Forscher. „Damit hoffen wir, ein bisschen dazu beitragen zu können, die Welt zu verbessern.“

Daniel Völpel

Rechnender Freigeist

Johannes Kästner erforscht, wie chemische Reaktionen im Detail ablaufen

Zunächst Juniorprofessur, inzwischen W3-Professor: Johannes Kästners Interesse gilt den quantenphysikalischen Vorgängen, die Reaktionen in Biochemie, Chemie und Astrochemie überhaupt erst ermöglichen. Sein Arbeitsmittel ist der Computer. Der Wissenschaftler hat einen Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats bewilligt bekommen, um die Rolle des Tunneleffekts bei Reaktionsmechanismen mit Hilfe von Simulationen zu untersuchen.

Chemie geht auch ohne Labor, zumindest wenn man den Fragen nachgeht, mit denen sich Johannes Kästner befasst. Denn Kästner will gemeinsam mit seiner Arbeitsgruppe ergründen, warum chemische Reaktionen genau so ablaufen, wie sie ablaufen. Er will die Mechanismen nicht anhand von makroskopischen Größen wie Temperatur oder Druck erklären können, sondern verstehen, was da im Innersten passiert. Die Antworten sucht Kästner, der Professor am Institut für Theoretische Chemie der Universität Stuttgart ist, im Regime der Quantenwelt. „Wenn man als Forscher wirklich verstehen will, warum etwas so oder so ist, dann landet man letztlich in der Theorie“, sagt er. Besonders angetan hat es ihm die Rolle des Tunneleffekts bei chemischen Reaktionen. Atome und andere Teilchen unterliegen aufgrund ihrer geringen Dimensionen den Gesetzen der Quantenphysik – und dann kommt es zu solchen Phänomenen wie dem Tunneleffekt: Während im Alltag jeder Ball, der gegen eine Wand geworfen wird, von dieser abprallt, gibt es in der Welt der Atome eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Ball durch die Wand hindurchgeht, er „tunnelt“. Die Masse der einzelnen Atome bestimmt dabei maßgeblich, wie leicht sich die „Wand“ – mikroskopisch ist es eine Energiebarriere – durchdringen lässt. Das ist nicht nur graue Theorie, sondern in den makroskopischen

Konsequenzen beobachtbar und technisch nutzbar. Ohne den Tunneleffekt gäbe es zum Beispiel keine modernen Festplatten und keine Speicherkarten in Smartphones – nicht mal die Sonne würde leuchten. Anfang vergangenen Jahres hat Kästner für die Erforschung des Tunneleffekts bei chemischen Reaktionen einen sogenannten Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats bewilligt bekommen. Diese Form der Förderung richtet sich an Wissenschaftler, deren Promotion sieben bis zwölf Jahre zurückliegt und die sich bereits einen Ruf in der europäischen Forschung erarbeitet haben. Auf fünf Jahre verteilt stehen Kästner dadurch knapp zwei Millionen Euro zur Verfügung. „Bei einem theoretischen Chemiker fließen die Geldmittel naturgemäß in zusätzliche Personalstellen und in Rechenzeit, die man an Hochleistungsrechnern einkaufen muss“, erklärt er. Denn Kästners Arbeitsmittel ist der Computer, sein „molekulares Mikroskop“, wie er es formuliert. „Experimentell lässt sich der Tunneleffekt bei chemischen Reaktionen nur schwer erforschen, weshalb man auf Simulationen angewiesen ist“, so Kästner.

Ein Kindheitstraum

Der 38-Jährige gehört zu den Menschen, die schon als Kind Forscher werden wollten. „Meine Eltern haben mein Interesse für die Naturwissenschaften geweckt“, erzählt er, „dass man Dinge beobachten und daraus dann Schlüsse ziehen kann.“ Biologie, Chemie, Physik – den jungen Österreicher interessierte während seiner Schulzeit alles. Der berufliche Schwenk zur Chemie hat seine Wurzeln in Kästners Teilnahmen an dem Schülerwettbewerb „Chemie-Olympiade“ – auf Landes- und Bundesebene, schließlich international. „Dabei lernte ich viele engagierte Schüler und Lehrer kennen, was meinen Berufswunsch weiter verfestigte“, sagt er. 1996 begann Kästner sein Chemiestudium an der TU Wien, parallel schrieb er sich ein Jahr später auch noch in Physik ein. Das Chemiestudium schloss er mit dem

“

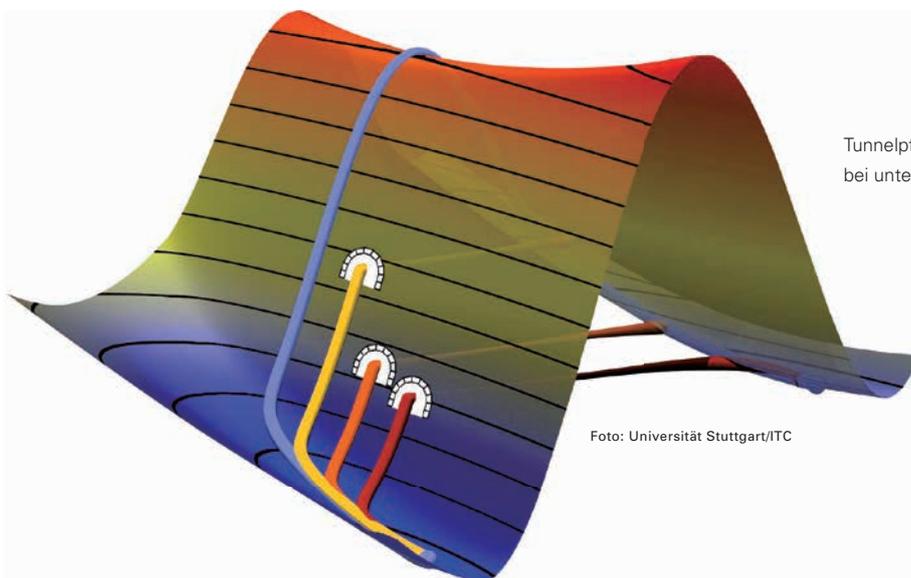
„Wenn man als Forscher wirklich verstehen will, warum etwas so oder so ist, dann landet man letztlich in der Theorie.“

Prof. Johannes Kästner

”



Foto: Ulf Regenscheit



Tunnelpfade einer chemischen Reaktion bei unterschiedlichen Temperaturen.

Foto: Universität Stuttgart/ITC

Master ab, in Physik machte er keinen Abschluss, da er ohnehin eine Promotionsstelle in Physik in Aussicht hatte. „Für die Statistiker gehöre ich aber zu den 50 Prozent Studienabbrechern in der Physik.“

Nun begannen Kästners Lehr- und Wanderjahre. Für die besagte Promotion in theoretischer Physik ging er an die TU Clausthal, danach als Postdoc ans Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr zu dem theoretischen Chemiker Walter Thiel, den Kästner als „meinen Mentor und Förderer“ bezeichnet. „Ich war nur eineinhalb Jahre am MPI, aber das war eine sehr intensive Zeit, die mich fachlich weiterbrachte“, sagt er. Als ihm eine Postdoc-Stelle mit der Aussicht auf eine permanente Beschäftigung in Großbritannien angeboten wurde, ging der Chemiker 2006 ans Scientific Computing Department des Science and Technology Facilities Council (STFC). „Allerdings hatte ich dort wenige wissenschaftliche Freiheiten, ich hatte keine eigene Arbeitsgruppe und es gab keine Doktoranden.“ Und so fiel es Kästner relativ leicht, 2008 den Ruf auf eine Juniorprofessur an der Universität Stuttgart anzunehmen. „Zwar war die Stelle befristet, aber ich hatte viele wissenschaftliche Freiheiten“, sagt er. „Zudem bestand die Aussicht auf einen Tenure-Track, also die Übernahme in eine Professur auf Lebenszeit.“

Damals war er 30. Es sollte innerhalb von sieben Jahren der vierte und vorerst letzte Stellen- und Ortswechsel sein. „Die jungen Forscherjahre sind schwierig für das familiäre Umfeld. Zum Glück hat meine Frau, die ebenfalls Österreicherin ist, alle Umzüge mitgemacht.“ Kästners Kinder, die inzwischen sieben und neun sind, kamen beide in Großbritannien zur Welt. „Beruflich lernt man als junger

Wissenschaftler durch diese Wechsel der Arbeitsgruppen und Länder aber sehr viel Neues kennen, was einem nützt.“ So konnte Kästner zum Beispiel die in der Physik gängigen Rechenansätze, mit denen er sich während seiner Promotion beschäftigte, anschließend in der Chemie anwenden.

Herausforderung Juniorprofessur

Der Forscher ist begeistert von der Juniorprofessur. „Es sollten viel mehr neu zu besetzende Professorenstellen als Juniorprofessuren mit Tenure-Track ausgeschrieben werden“, findet er. „Das gäbe jungen Wissenschaftlern eine echte Perspektive.“ Drei Jahre dauerte es bei Kästner, bevor klar war, dass es mit dem Tenure-Track klappen würde. „In dieser Phase war alles in der Schwebelage und sie war schon mit viel Druck verbunden“, gibt er unumwunden zu. „Als Juniorprofessor muss man rasch publizierbare Ergebnisse liefern. Für Forschungsprojekte, deren Ausgang ungewiss ist oder die viel Zeit erfordern, ist da kein Platz.“ Seit 2014 ist der Chemiker nun W3-Professor für Computational Chemistry, im selben Jahr hat er sich auch habilitiert. „Das wäre zwar formal nicht zwingend gewesen angesichts der Juniorprofessur, aber ich wollte mir ja auch die Option offen halten, weltweit einem Ruf folgen zu können. Und dafür ist eine Habilitation nach wie vor von Vorteil.“ Zu Kästners Arbeitsgruppe gehören inzwischen fünf Postdocs, drei Doktorandinnen und Doktoranden sowie fünf Studierende („die ich als vollwertige Mitarbeiter behandle“). Das Team ist durch den Consolidator Grant deutlich gewachsen. „Dadurch hat man als Gruppenleiter auch mehr mit Personalführung zu tun und einen größeren Abstand

zu den wissenschaftlichen Inhalten der Projekte“, sagt Kästner. „Und die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind in ihrem Tun stärker auf sich allein gestellt – was aber für eine gute Nachwuchskraft von Vorteil ist.“ Dank dem Consolidator Grant konnte Kästner seine Forschungsaktivitäten auch auf das Gebiet der Astrochemie ausweiten, also die Erforschung von chemischen Reaktionen in den Tiefen des Alls. Dort, in extrem kalten Staub- und Gaswolken, spielt der Tunneleffekt eine wesentliche Rolle, weil typische „Reaktionsbeschleuniger“ wie Wärme oder hoher Druck für gewöhnlich fehlen. „Von den beiden neuen Teammitgliedern lerne ich viel über Astrochemie und sie lernen von mir viel über Quantenchemie.“ Dieses

gegenseitige Befruchten durch die Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus verschiedenen Disziplinen schätzt Kästner sehr. Seine Stelle ist inhaltlich in den Exzellenz-Cluster Simulation Technology (SimTech) eingebettet. „Bei den Veranstaltungen des Clusters erfährt man, wie Mathematiker, Informatiker, Ingenieure, Physiker und Chemiker Problemstellungen in der Simulation bearbeiten“, so Kästner. Jeder habe aufgrund seiner Ausbildung eine andere Herangehensweise, was häufig in neuen Lösungsansätzen münde. „SimTech“, sagt der Wissenschaftler, „ist ein wesentlicher Grund, warum es mir hier an der Universität gut gefällt.“

Michael Vogel

Mehr Praxis im Studium, mehr Chancen für mich

Ich will es wissen. Nicht nur theoretisch, auch in der Praxis. Mein Anspruch: Hightech mit Zukunft. Das Unternehmen, in dem ich mein Praktikum und meine Abschlussarbeit für den Bachelor oder Master mache, muss zu mir passen. CeramTec überzeugt mich. Über 3.600 Mitarbeiter sind hier weltweit gemeinsam aktiv. Ich kann in unterschiedlichsten Fachbereichen meine Ideen in spannende Projekte einbringen. Dabei werde ich individuell betreut und habe beste berufliche Einstiegschancen.

Wenn Du in eine erfolgreiche Zukunft durchstarten willst, dann spring! Und bewirb Dich bei CeramTec, dem führenden Hersteller von Hochleistungskeramik.

www.ceramtec.de/karriere



CeramTec GmbH
Service Center Personal
CeramTec-Platz 1-9
73207 Plochingen

Sina Kalmbach
Telefon 07153.611-387
praktikum.plochingen@ceramtec.de

CeramTec
THE CERAMIC EXPERTS



Tragfähige Leichtigkeit

„Viel hilft viel.“ Dass diese Weisheit nicht immer zutrifft, merkt, wer sich das Dach des Olympiastadions in München ansieht. Mit meterdicken Mauern wie bei römischen Basiliken ließe sich vielleicht eine ähnlich sakrale Raumwirkung schaffen. Das gigantische Fassungsvermögen, die Wetterfestigkeit und die Illusion des Schwebens gelang dem Team um die Stuttgarter Professoren Frei Otto und Jörg Schlaich jedoch nur mit Leichtbau-Techniken.

Leichtbau ist tragfähige Ressourceneffizienz. In unterschiedlichen Formen, Farben und Facetten begegnet heute das Konstruktionsprinzip. An der Universität Stuttgart ist die Leichtbau-Tradition längst auch ein Schwerpunkt im Flugzeug- und Fahrzeugbau. Im Forschungscampus ARENA 2036 tüfteln Forscherinnen und Forscher am Auto der Zukunft. Das Augenmerk richten sie auf Faserverbund-Werkstoffe in der Serienfertigung von Fahrzeugen. Reduziertes Gewicht bedeutet weniger Kraftstoffverbrauch, stabile Karosserien gewährleisten Sicherheit.

Die Konstruktion findet überwiegend an Computern statt. Was die Rechner umsetzen und in Prototypen gefertigt wird, erinnert nicht selten in Ästhetik und Form an Bilder aus der Natur. Feinste Faserstrukturen wirken wie Spinnennetze, Platten sehen aus wie Bienenwaben. Dabei ist nicht immer Bionik im Spiel. Oft ergeben sich die Ähnlichkeiten bereits aus dem Konstruktionsprinzip – möglichst leicht, möglichst ressourcenschonend, möglichst stabil. Bevor die Entwicklungen auch in Verwendung kommen sollen, werden alle Prototypen ausgiebig geprüft. Leichtbau wird keineswegs zu leicht genommen.

Ulrich Fries

Was verhält sich wie? Am Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre werden diese und andere Polymer-Leichtbaustrukturen aus dem 3D-Drucker auf ihre Stabilität getestet.



Die Wasserspinne *Agyroneta aquatica* errichtet ein von innen mit Fasern verstärktes Netz, unter dem eine Blase für die Atemluft platziert werden kann. Das stabile Konstrukt inspirierte die Institute für Computerbasiertes Entwerfen (ICD) und für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart zu einem Forschungspavillon.



Statt der Spinne hat hier ein Roboter eine zunächst weiche Folienhülle durch von innen aufgeklebte Carbonfasern schrittweise ausgesteift. Die extrem leichte Faserverbundschale ist besonders materialeffizient und erschließt neue Entwurfsmöglichkeiten.

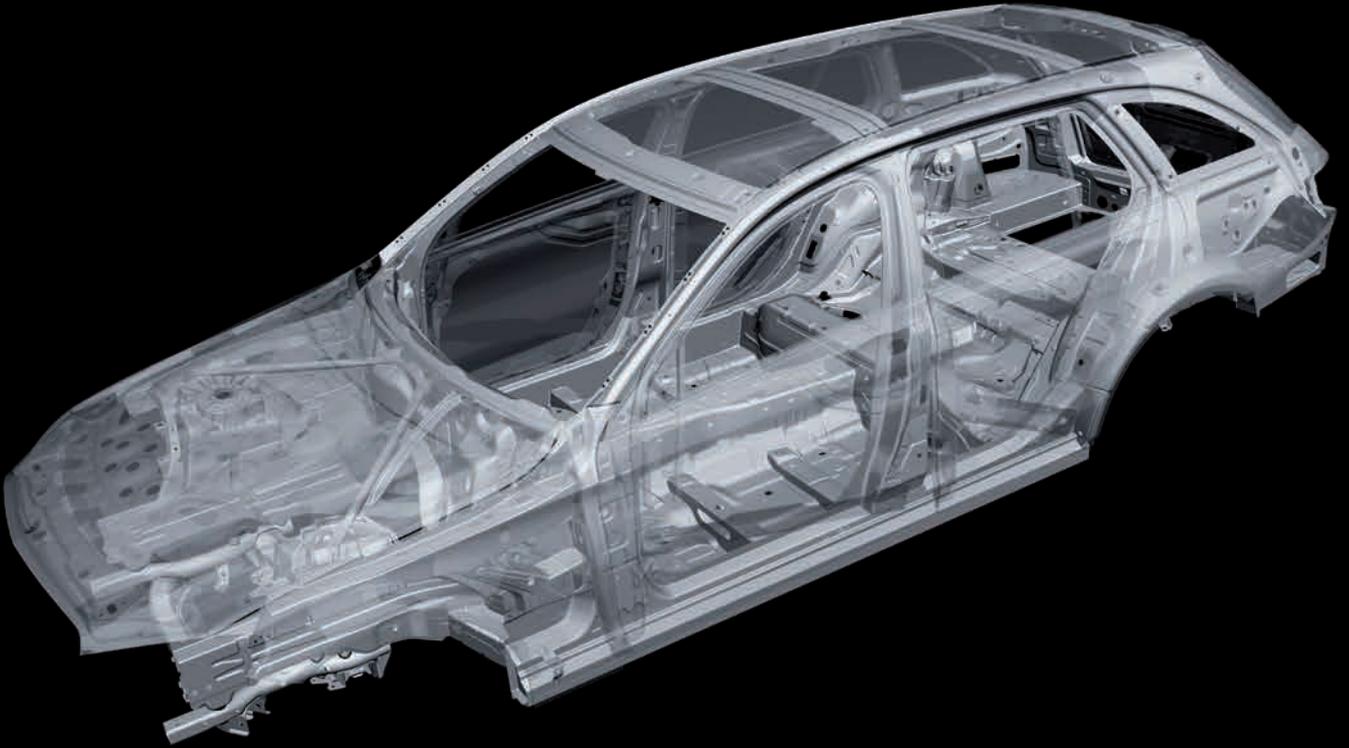
Über den Wolken: Das Solarflugzeug icaré 2 (links) und das Batterie-Flugzeug e-Genius fliegen CO₂-sparend und energieeffizient von Rekord zu Rekord. Dank einer Kohlefaser-Sandwich-Bauweise haben die Flieger ein so geringes Fluggewicht, dass sie auch kleinste Aufwinde nutzen können. Dabei weisen sie die gleiche Strukturfestigkeit auf wie ein konventionelles Segelflugzeug.





Flechtwerk: Das Flechtrad im Rücken von Prof. Peter Middendorf am Institut für Flugzeugbau verzwirbelt Fäden aus verschiedenen Fasern zu einem Gewebe, das mit Harz versetzt und getrocknet wird. Aus den Strukturen lassen sich Bauteile für Flugzeuge und Autos herstellen, die nicht nur leicht sind, sondern auch eine optimale Steifigkeit aufweisen. Künftig sollen zusätzliche Funktionen integriert werden. Erforscht wird dies unter anderem im Forschungscampus ARENA2036 an der Universität Stuttgart.





Ausgeklügelt: Aluminium-Gussteile, ultrahochfeste Stähle und gestufte Materialstärken gehören zum Leichtbau-Konzept für eine Mercedes-Benz C-Klasse des ARENA2036-Partners Daimler.

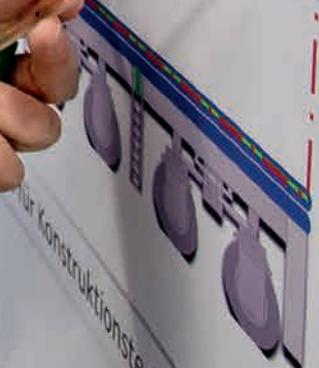
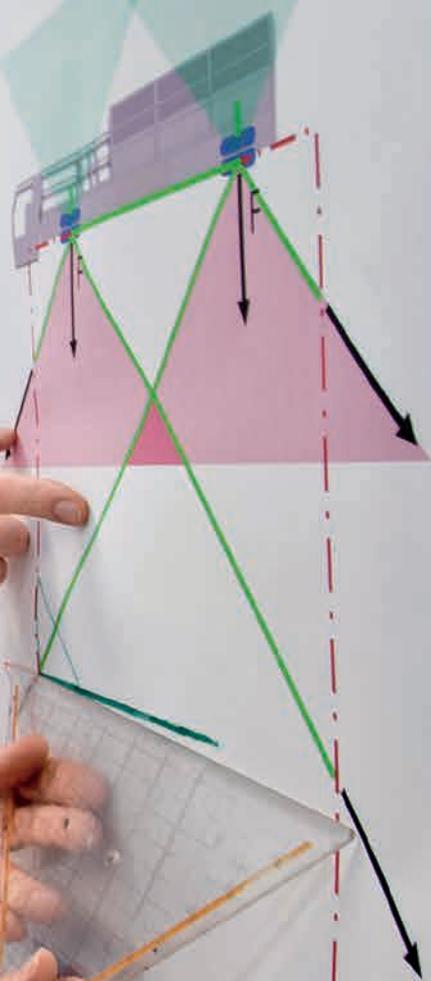
Doppelter Leichtbau: Der vom Fraunhofer IPA und Partnern entwickelte Bohr- und Nietendeffektor dient nicht nur der Bearbeitung von Leichtbauwerkstoffen, sondern ist auch in Leichtbauweise ausgeführt. Im Bild wird das Werkzeug zum Bohren dünner Stapel (Stacks) aus carbonfaser-verstärktem Kunststoff, Aluminium und Titan eingesetzt, die später in der Außenhaut eines Flugzeuges verbaut werden.

A photograph showing two men in a meeting. The man in the foreground is wearing a blue button-down shirt and is looking towards the right, smiling slightly. The man in the background is wearing a light-colored checkered shirt and is looking down at something out of frame. They appear to be in a professional setting with vertical blinds in the background.

Leichtbau beginnt bereits in der Planungsphase: Clemens Honold und Thorsten Herrmann (v. l.), Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Methodische Produktentwicklung des Instituts für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD), diskutieren am Institut entwickelte Methoden zur Unterstützung des leichtbaugerechten Konstruierens. Ein wichtiger Schritt in dieser frühen Phase der Produktentwicklung ist die Analyse bestehender Strukturen in Hinblick auf leichtbaugerechte Optimierungsmöglichkeiten.

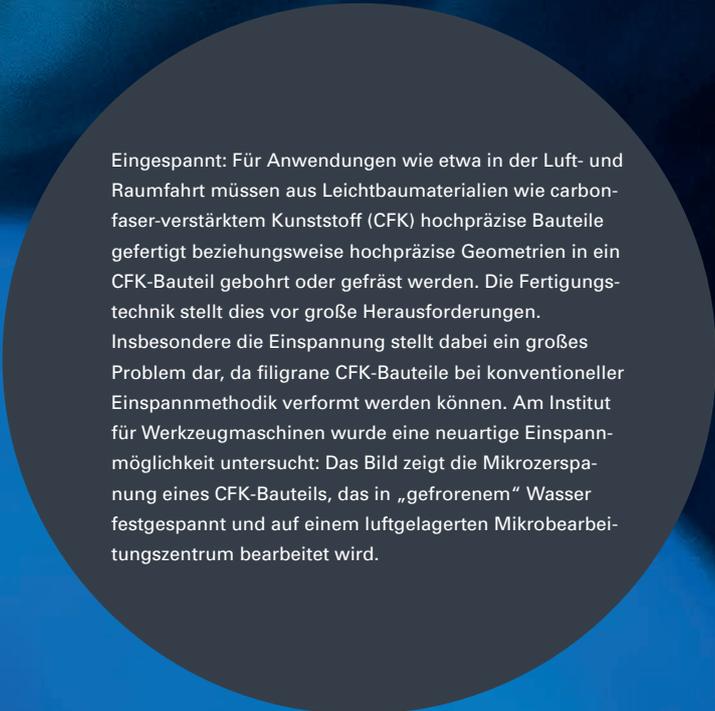


Portalhubwagen
Strukturanalyse



Zugkegel

für Konstruktionstechnik und T



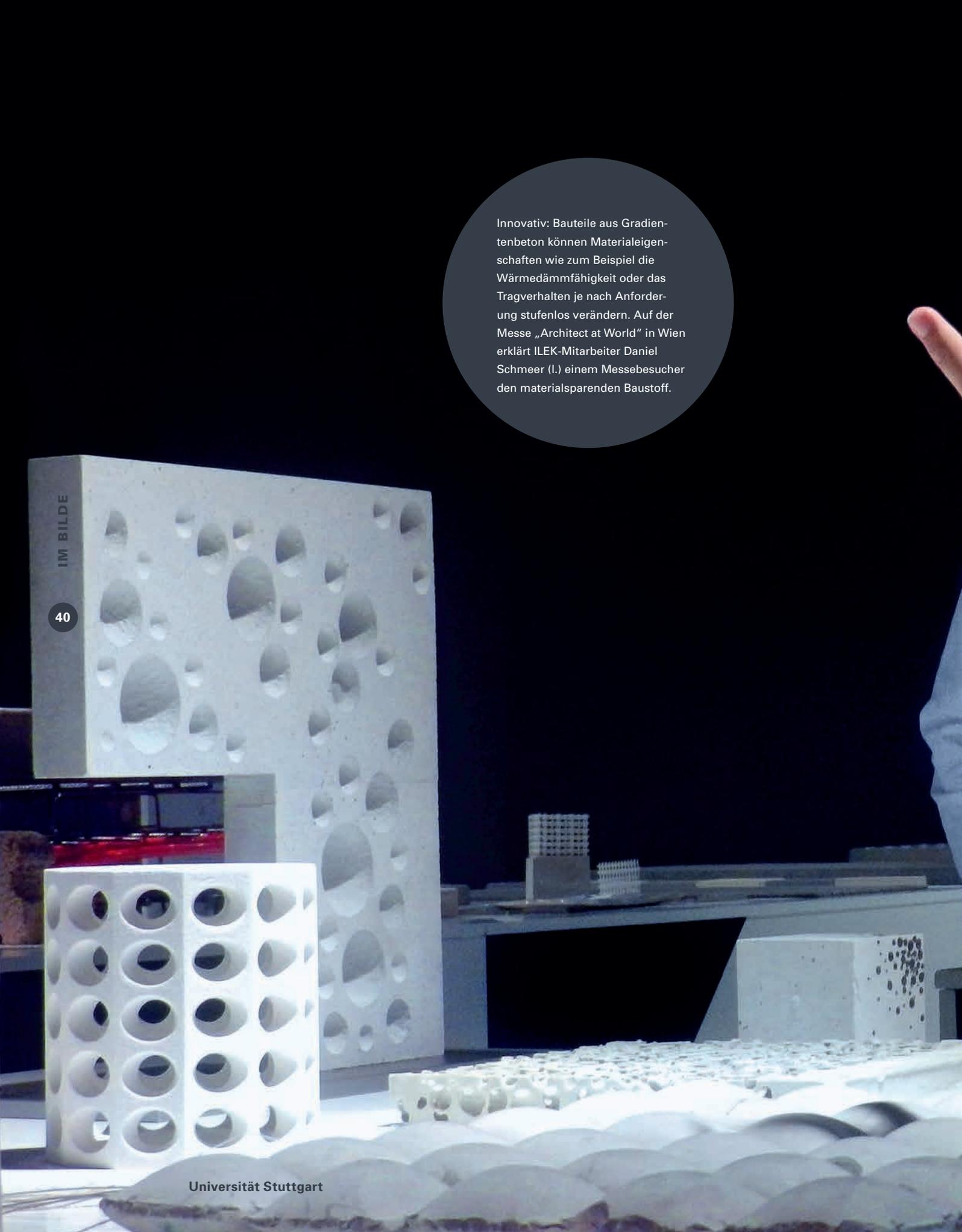
Eingespannt: Für Anwendungen wie etwa in der Luft- und Raumfahrt müssen aus Leichtbaumaterialien wie carbonfaser-verstärktem Kunststoff (CFK) hochpräzise Bauteile gefertigt beziehungsweise hochpräzise Geometrien in ein CFK-Bauteil gebohrt oder gefräst werden. Die Fertigungstechnik stellt dies vor große Herausforderungen. Insbesondere die Einspannung stellt dabei ein großes Problem dar, da filigrane CFK-Bauteile bei konventioneller Einspannmethodik verformt werden können. Am Institut für Werkzeugmaschinen wurde eine neuartige Einspannmöglichkeit untersucht: Das Bild zeigt die Mikrozerspannung eines CFK-Bauteils, das in „gefrorenem“ Wasser festgespannt und auf einem luftgelagerten Mikrobearbeitungszentrum bearbeitet wird.



Die im Leichtbau weitverbreiteten carbonfaser-verstärkten Kunststoffe sind extrem schwierig zu bearbeiten. Am Institut für Strahlwerkzeuge werden sie durch Schäften (Anschrägen und Strukturieren) mittels Laser für eine Reparatur vorbereitet.



Design zählt, gerade auch beim Leichtbau: Bei einer Ausstellung des Design Center im Stuttgarter Haus der Wirtschaft baut Evelina Zapala vom Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) eine textile Faltstruktur für die Präsentation auf.

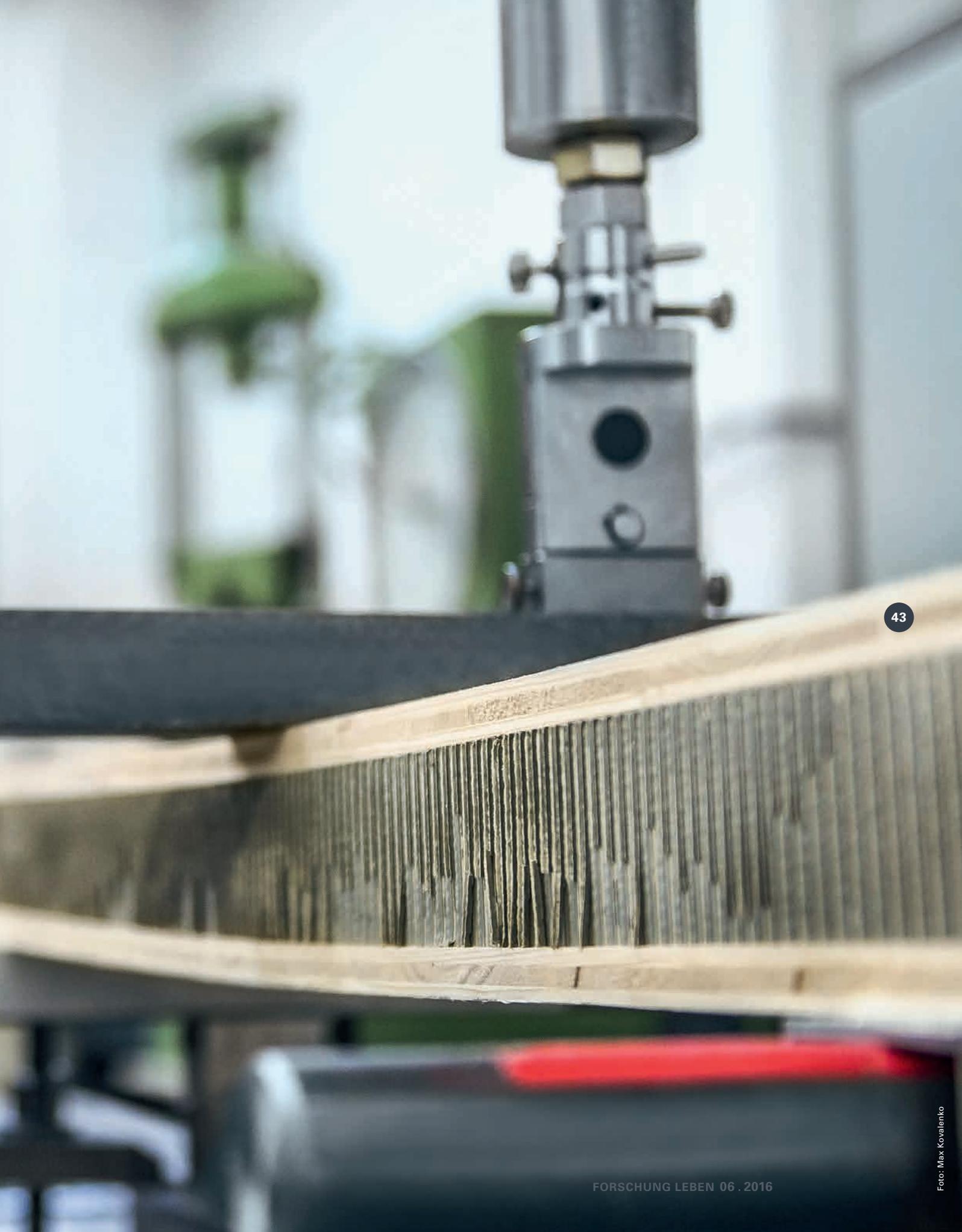


Innovativ: Bauteile aus Gradientenbeton können Materialeigenschaften wie zum Beispiel die Wärmedämmfähigkeit oder das Tragverhalten je nach Anforderung stufenlos verändern. Auf der Messe „Architect at World“ in Wien erklärt ILEK-Mitarbeiter Daniel Schmeer (l.) einem Messebesucher den materialsparenden Baustoff.



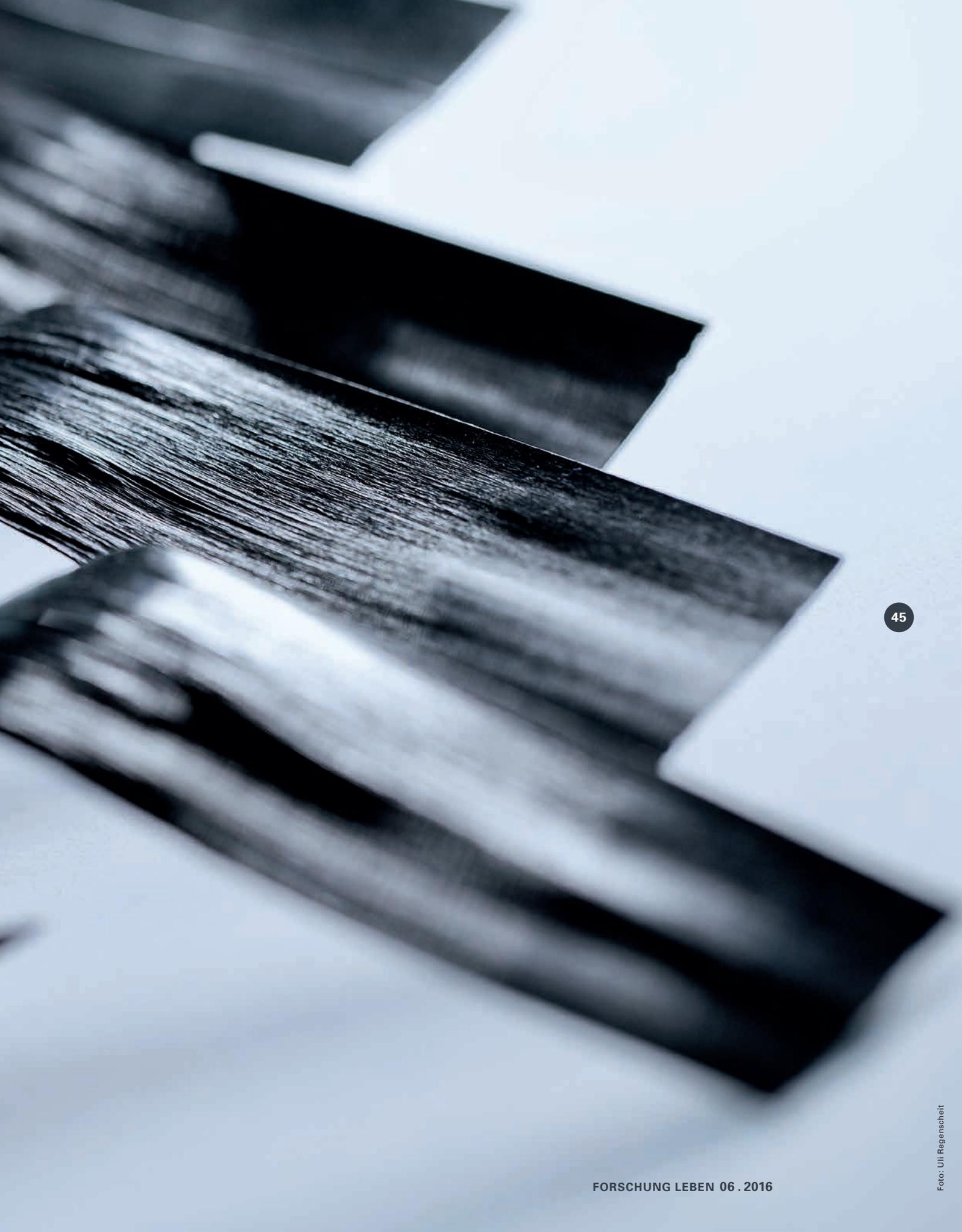
Adnan Güneş
Architekt
gup architecten

Hält sie oder hält sie nicht?
Steffen Keller von der Material-
prüfungsanstalt Universität
Stuttgart beim Belastungstest
einer Leichtbauplatte.



A close-up, artistic photograph of carbon fiber strands. The strands are dark, almost black, and have a fibrous, woven texture. They are arranged in a complex, overlapping pattern, creating a sense of depth and movement. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows, emphasizing the texture and strength of the material. A semi-transparent dark circle is overlaid on the image, containing text.

Extrem zugfest, geringe Dichte: Noch sind Hochleistungs-Leichtbauteile wie Carbonfaserlaminat aufgrund des recht hohen Preises vor allem in der Luft- und Raumfahrt sowie in Spezialanwendungen zu finden, zum Beispiel in Rennwagen. Künftig sollen sie auch im Automobilbereich oder beim Bauen auf breiterer Front eingesetzt werden.





Bürgerdialog in 3D

Reallabor kombiniert Beteiligungsformen in der Stadtplanung mit interaktiven Werkzeugen

Ein Stadtquartier ohne frühzeitige Einbeziehung der Bürger zu planen, kann teure Irrtümer und die Unzufriedenheit der Betroffenen nach sich ziehen. Doch mit welchen – auch digitalen – Werkzeugen kann man die Bürger optimal einbinden? Dieser Frage geht ein Forschungsteam aus den Bereichen Architektur, Ingenieur- und Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart in den kommenden drei Jahren nach. Zwei Städte in der Region Stuttgart profitieren unmittelbar von dem Projekt Reallabor Stadt:quartiere 4.0.

Wenn eine Stadt die Frage aufwirft, wie ein bestimmtes Quartier in Zukunft aussehen soll, treffen unterschiedlichste Interessen aufeinander: die der Anwohner, der Bürgerschaft allgemein, die von Investoren, Politik und Verwaltung. Gleichzeitig verfügt jede Gruppe über höchst unterschiedliches, spezifisches Wissen zu diesem Quartier: zu dessen Geschichte, der Beschaffenheit, seiner Lage und möglichen Funktion im Ort, seinem Marktwert oder zu klimatischen Bedingungen. Wenn es gelingt, einen möglichst großen Teil dieses Wissens in den Planungsprozess einzubeziehen und die Interessen in offener Kommunikation und mit fairen Kompromissen abzuwägen, könnte man Stadtplanungsprozesse gegenüber dem heute Üblichen deutlich verbessern. Wie dies gelingen kann, wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Stuttgart interdisziplinär und direkt vor Ort in den beiden Städten Stuttgart und Herrenberg herausfinden. Konkret wollen sie dabei erforschen, wie solche Beteiligungsprozesse zu organisieren sind. Zudem soll das vom Land mit knapp 1,2 Millionen Euro unterstützte Projekt „Reallabor Stadt:quartiere 4.0 – Frühzeitige gestaltende Bürgerbeteiligung für eine nachhaltige Entwicklung Baden-Württembergs“ Wege finden, wie man diesen Prozess mit digitalen

Visualisierungen unterstützen kann. „Im Frühjahr 2016 legen die Städte Stuttgart und Herrenberg fest, welche Quartiere im Rahmen des Projektes entwickelt werden sollen“, sagt Mike Letzgas, Mitarbeiter im Competence Team Urban Systems Engineering am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) und Projektleiter des Reallabors. Anschließend sollen die Beteiligungsprozesse definiert, die Akteure ausgewählt und angesprochen werden. „Dann wird es in beiden Städten parallel darum gehen, Szenarien für die Zukunft der Stadtteile zu entwickeln. Eine der zentralen Fragen des Projektes ist: Wie können wir heute etwas vermitteln, das erst in 10-20 Jahren Realität sein wird? Und damit verbunden die Frage: Wie kann man den Umsetzungsprozess mit allen Beteiligten vorbereiten?“, so Letzgas. Am Ende des Projekts erhoffen sich die Forscherinnen und Forscher Erkenntnisse darüber, welche der erprobten Werkzeuge und Prozesse sinnvoll sind und wie sie sich auf andere Projekte übertragen lassen. Die Beschäftigten am IAT forschen seit Jahren schwerpunktmäßig an der Zukunftsstadt. Das IAT hat daher auch die Gesamtkonzeption des Reallabors erarbeitet und vernetzt die Akteure untereinander. Zudem entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die neuen, digitalen Formate, die in Beteiligungsprozessen eingesetzt werden sollen.

Um diese digitalen Modelle zu erstellen, ist zusätzlich das Höchstleistungsrechenzentrum (HLRS) der Universität Stuttgart am Projekt beteiligt. In einer Cave im Rechenzentrum auf dem Campus Vaihingen, also einem Raum, in dem man eine virtuelle, dreidimensionale Welt simulieren kann, sollen die Visualisierungen entstehen. Untersuchungen mit der Bevölkerung vor Ort könne man auch mit mobilen Anlagen oder in einer Art 3D-Kino organisieren, erklärt Dr. Uwe Wössner, Leiter der Abteilung Visualisierung am HLRS. Zusätzlich verfügt das Zentrum über einen digitalen Planungstisch. Darauf



Bei der Übergabe des Förderbescheids für das Reallabor betätigte sich auch Forschungsministerin Theresia Bauer als virtuelle Stadtplanerin.

Foto: Max Kovalenko

lassen sich kleine Gebäudemodelle gruppieren und verschieben, in der Cave sieht man sofort in 3D, wie die Bebauung im Gebiet dann aussehen würde. „Die Idee ist, dass man im Projekt interaktiv Änderungen ermöglicht“, so Wössner. Damit lassen sich während des Diskussionsprozesses direkt verschiedene Varianten plastisch durchspielen. „Wir können auf Knopfdruck Luftströmungssimulationen erzeugen“, erklärt Wössner eine weitere Option mit der Cave. Schließlich könne man die verschiedenen Varianten besser diskutieren, wenn man sie sich besser vorstellen könne. „Oft wird etwas angenommen, wenn man sieht, dass es funktioniert“, sagt Wössner. Dass man derartige Werkzeuge in Zukunft auch unter Effizienzgesichtspunkten gut brauchen kann, macht der Ingenieur Prof. Wilhelm Bauer, Leiter des IAT der Universität Stuttgart und des Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation IAIO, an zwei Beispielen deutlich: „Bei der Verkehrsinfrastruktur und der Energie stehen uns große Transformationsprozesse bevor. Die Erfahrungen etwa mit Stuttgart 21 oder den Stromtrassen zeigen, dass hier neue Beteiligungsformen auch zu mehr Effizienz in der Planung und Umsetzung führen können.“ Zudem gehe es darum, das Vorhandene effizient zu nutzen: „Nach wie vor gibt es einen Be-

darf an zusätzlichem Wohnraum. Die grüne Wiese gibt es ja aber zumindest in Stuttgart gar nicht mehr. Also muss man mit den Innenbereichen effizient umgehen“, so Bauer.

Gestaltungsoptionen für die Städte

Ebenfalls in das Projekt eingebunden ist das Institut für Sozialwissenschaften. „Wir aus den Sozialwissenschaften interessieren uns vor allem für die Frage: Wie reagieren die Menschen auf die Veränderungen in ihrem städtischen Umfeld? Welche Präferenzen haben sie? Wie kann man auf diese Präferenzen eingehen?“, erklärt Prof. Ortwin Renn, emeritierter Inhaber des Lehrstuhls für Technik- und Umweltsoziologie. Der große Vorteil des Reallabors ist aus Sicht des Soziologen die Kombination des wissenschaftlichen Wissens mit dem Kontextwissen der Akteure vor Ort: So weiß zum Beispiel die eine Seite, wie man Verkehrsflüsse organisiert, und die andere, welche Wege die Schulkinder vor Ort nehmen. Wichtig ist Renn, herauszufinden, wie man die virtuellen und realen Planungsmöglichkeiten nebeneinander ausführt. „Wir haben früher viel mit Bauklötzchen gearbeitet“, erzählt der Soziologe. „Idealerweise visualisiert man das nun und die Leute können sagen: So habe ich mir das vorgestellt.“ Mit dieser „parti-

Interaktive Stadtplanung in der Cave am Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart.

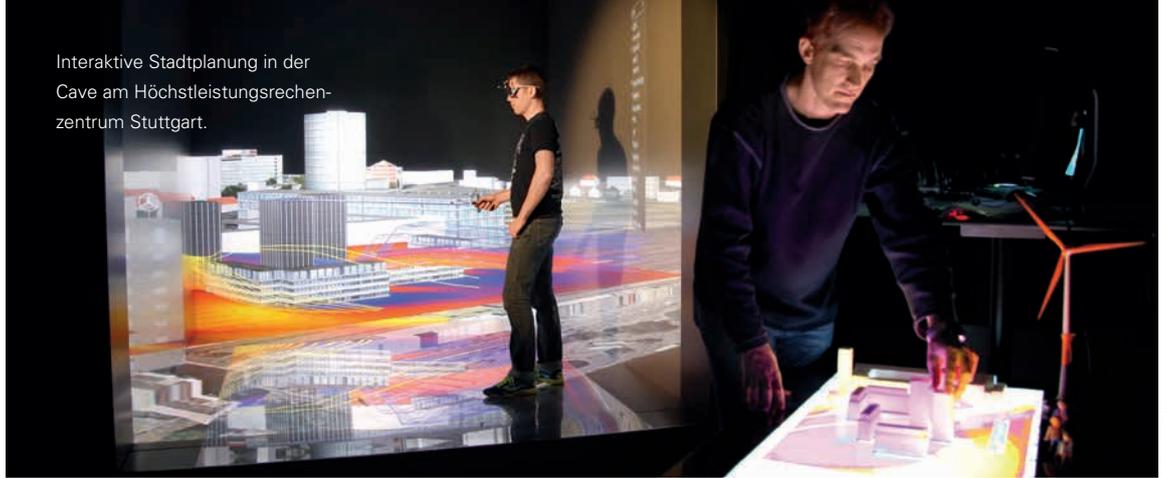


Foto: HLRS

zipativen Modellierung“ betrete man ein Stück weit Neuland. „So eine Cave kostet ja auch zigtausend Euro“, sagt Renn in Anspielung auf die 3D-Visualisierungen. „Man will ja auch nicht einen endlosen Marathon von digitalen Welten schaffen.“ Ressourceneffizienz sieht er aber noch unter einem ganz anderen Blickwinkel: Bei dem Begriff denke man meist an Material und Energie. „Aber natürlich ist auch Zeit eine Ressource, Vertrauen ist eine Ressource, die effizient genutzt werden sollte.“ Schließlich sei Stadtplanung im Hinblick auf alle Ressourcen ein Abwägungsprozess: „Wenn die Aussicht ist, Energie und Material durch Partizipation einzusparen, muss ich dagegenstellen, wie viel Zeit und zusätzliche Kosten ich einsetzen muss. Ist es diesen Effizienzgewinn wert? Das können wir nicht beantworten, das müssen die Entscheidungsträger tun.“ Denn am Ende sei ohnehin die Politik gefragt: „Man kann den Städten nicht vorschreiben, was sie tun sollen, aber man kann ihnen Gestaltungsoptionen vorlegen – was eher den Investoren zugutekommt oder den Anwohnerinnen und Anwohnern oder der städtischen Kultur“, so Renn. „Die eierlegende Wollmilchsau wird man nicht bekommen. Also muss man entscheiden, legt man eher Wert auf Eier oder auf Wolle – ohne dass die anderen Leistungen völlig auf null gefahren werden.“

Virtuelle Realität soll die Fantasie anregen

Um genau diese Gestaltungsoptionen und Varianten kümmert sich der vierte Projektpartner, das Städtebau-Institut (SI). Dort werden drei Mitarbeiter aus den Ideen der Bürgerveranstaltungen eine städtebauliche Planung entwickeln. „Diese werden wir dann den Akteuren spiegeln, beispielsweise durch Visualisierungen in der Cave, und das Feedback dazu verarbeiten“, erklärt Dr. Martina Baum, Professorin für Stadtplanung und Entwerfen am SI. „Das Ziel ist es, gute Grundlagen zu schaffen, um vor Ort in

die Bauplanung einsteigen zu können. Das Baurecht schaffen müssen dann die Städte.“ Über die Arbeit der Architekten und Stadtplaner im Reallabor sagt Baum: „Wir brauchen die Komplexität des Stadtraums und sind es gewohnt, in dieser Komplexität zu arbeiten, weil es verschiedenste Abhängigkeiten gibt und die Veränderung an einer Stelle massive Veränderungen anderswo nach sich zieht: baulich, sozial, atmosphärisch.“ Die neuen Technologien könnten dabei helfen, abstrakte Pläne begreiflich zu machen. Die Identität einer Stadt oder eines Quartiers ergebe sich aber aus dem Erleben mit allen Sinnen. Ob und wie die Technik es schaffen könne, dieses Erleben zu simulieren, bleibe herauszufinden. „Gleichzeitig darf es auch kein zu fertiges Bild sein, wie etwas in der Zukunft aussehen wird“, sagt Baum „Konkret wird eine Frage sein: Wie detailgetreu dürfen die Simulationen sein, um die Fantasie der Beteiligten nicht zu zerstören? Es wäre ein Fehler, wenn der Eindruck entsteht, es gehe nur darum, einen Plan abzunicken. Im Idealfall soll die Cave dazu dienen, die Fantasie anzuregen.“

Bei der Frage nach einem möglichen Effizienzgewinn der digital unterstützten Beteiligungsverfahren weist Baum darauf hin, dass sich der Blickwinkel auf die Stadt derzeit verschiebe: „Bislang wurde die Stadt nur als Verbraucher wahrgenommen: von Land, Rohstoffen, Energie, Nahrungsmitteln. Aber mit ihrem wahnsinnigen Innovationspotenzial ist die Stadt auch Ressource. Sie kann ein Nährboden sein, auf dem Innovation entsteht.“ Schließlich entspringen bahnbrechende Neuerungen – vor allem auch im politischen und sozialen Bereich – meist einem städtischen Umfeld. Vielleicht entspringt eine der nächsten dem Reallabor Stadt:quartiere 4.0.

Daniel Völpel

Intelligent Material sparen

Federn, Stäbe, Seile und ähnliche Konstruktionselemente wurden lange Zeit so konzipiert, dass sie zuverlässig Kräfte von A nach B übertragen. Künftig sollen intelligente „HIKE“ auch Spannungen detektieren, Kräfte erzeugen und somit zum Beispiel Überlastungen des umgebenden Systems aktiv gegensteuern. Damit kann man überdimensionierte Auslegungen im Maschinen-, Fahrzeug- und Flugzeugbau oder im Bauwesen vermeiden und Material sparen.

Das Kürzel HIKE steht für „Hybride Intelligente Konstruktionselemente“ und meint mechatronische Konstruktionselemente, in die zusätzlich zu den mechanischen Komponenten Sensoren, Aktoren, Anzeigen und Regelungstechnik integriert sind und die somit vielfältige Aufgaben übernehmen können. Gleichzeitig ist HIKE der Name einer Forschergruppe an der Universität Stuttgart, der sieben Institute aus den Fachbereichen Bauingenieurwesen, Luft- und Raumfahrttechnik, Konstruktions-, Produktions-, Fahrzeug- sowie Textil- und Verfahrenstechnik angehören.

Sechs Jahre lang untersuchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), wie aus den mechanischen Konstruktionselementen HIKE werden können. Dabei wurden zunächst die Elemente entwickelt und die Grundlagen für eine neuartige Konstruktionsmethodik sowie die Einbindung der Sensorik erarbeitet. Verfügt die neuen HIKE zunächst nur über Sensoren, so kamen in der zweiten Förderphase auch aktorische Funktionen hinzu, sodass die HIKE nun auch selbst Kräfte und Bewegungen erzeugen können. Darauf aufbauend wurden die Dynamik beziehungsweise die sich daraus ergebenden Möglichkeiten wie eine aktive Schwingungs-

dämpfung untersucht. Die Erkenntnisse aus den Teilprojekten oder verschiedenen Untersuchungen flossen schließlich in dem Demonstrator zusammen.

Das filigrane, an ein Zeltdach erinnernde Schalentragwerk ist unter anderem durch die intelligenten Konstruktionselemente in der Lage, unterschiedliche Lastfälle (zum Beispiel durch Windlasten) zu identifizieren. Zudem ermittelt das System geeignete Maßnahmen für eine Homogenisierung und Reduzierung der Spannungen und setzt diese auch gleich um. Solche neuartigen, adaptiven Tragwerke erlauben es, ein Gebäude weniger massiv zu errichten, da die beispielsweise durch Stürme auf das Tragwerk wirkenden Kräfte durch weitere, durch die HIKE erzeugte Kräfte ausgeglichen werden. Erste grundlegende Untersuchungen für die zu erweiternden Sicherheitskonzepte im Bauingenieurwesen wurden bereits durchgeführt.

Doch die Einsatzgebiete von HIKE reichen weiter. „Ähnliche Ansätze können wir uns künftig auch im Maschinenbau, in der Produktionstechnik und in der Logistik vorstellen“, sagt Prof. Hansgeorg Binz, der Sprecher der zweiten Förderphase der Forschungsgruppe HIKE und Leiter des Instituts für Konstruktionstechnik und Technisches Design der Universität Stuttgart.

Darüber hinaus untersuchte die Forschungsgruppe, wie sich mehrere HIKE in einer Art Netzwerk selbst organisieren. Um die neuartigen Konstruktionselemente auch in Serie herstellen zu können, wurden verschiedene Produktionstechnologien untersucht. Dabei entstanden auch zusätzliche, neuartige Elemente wie zum Beispiel ein nachspannendes Hebelement.

red

Das mit Sensoren und Aktoren bestückte HIKE unterstützt bei der Ermittlung der Spannungen im Tragwerk und homogenisiert sie im Verbund mit weiteren HIKE.



Foto: Universität Stuttgart/ILEK

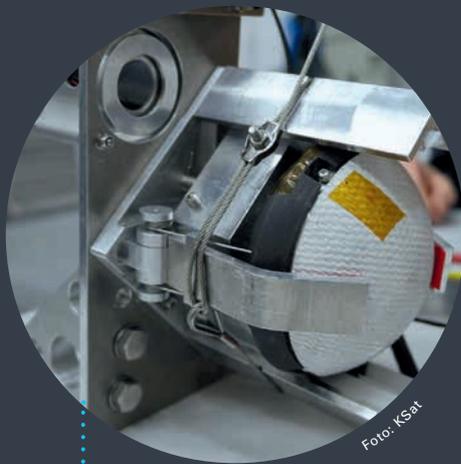


Foto: K&Sat

Studentische Wiedereintrittskapsel

Am 17. März startete im schwedischen Kiruna eine Höhenforschungsrakete. Mit an Bord war eine Mikrowiedereintrittskapsel, die von raumfahrtbegeisterten Studierenden der Universität Stuttgart entwickelt wurde. Bei dem Experiment „MIRKA2-RX“, dessen kryptische Bezeichnung für „Mikrorückkehrkapsel 2 REXUS“ steht, wird eine kleine Rückkehrkapsel aus der Höhenforschungsrakete ausgeworfen. Ziel des Projekts ist es, kostengünstig neuartige Hitzeschilde unter realen Wiedereintrittsbedingungen zu testen.

Moose gegen Feinstaub

Feinstaub hat eine Vielzahl von negativen Auswirkungen auf die Atemwege und das Herz-Kreislaufsystem des Menschen. Eine Möglichkeit, um die Feinstaubbelastung zu reduzieren, bieten Moose. Deren aufgrund der speziellen Strukturierung extrem große Oberfläche hält den Feinstaub elektrostatisch fest. Ammoniumnitrate, die am Feinstaub einen Anteil von bis zu 50 Prozent haben, werden von den Moosen aufgenommen und in Pflanzenmasse umgewandelt. So können bis zu 75 Prozent des Feinstaubes beseitigt werden. Das Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart hat daher einen Modellversuch am Neckartor, der Straße mit der höchsten Feinstaubbelastung in Deutschland, beauftragt. Initiiert wurde das Projekt durch das Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart. Weitere Partner sind das Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik sowie das Staatliche Museum für Naturkunde Stuttgart.



Foto: Martin Nebel

e-Mobilität für Sonderfahrzeuge

Das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart, der Flughafen Stuttgart sowie die Firma Volk Fahrzeugbau haben sich zusammengetan, um kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) des Sonderfahrzeugbaus beim Strukturwandel durch die Elektrifizierung zu unterstützen und zu begleiten. In dem Projekt mit dem Namen Li-Fleet erstellt das IAT einen Leitfaden. Dieser soll KMU befähigen, ihre bestehenden Kompetenzen an die neuen Herausforderungen anzupassen sowie weitere Potenziale durch die Beherrschung innovativer Technologien zu entfalten. Der Leitfaden wird im Rahmen eines Pilotprojekts mit repräsentativen Partnern unter realen Bedingungen umgesetzt. Als Testumfeld wurde der Flughafen Stuttgart ausgewählt, da dort Sonderfahrzeuge in Form von Vorfeldfahrzeugen unter sehr anspruchsvollen Bedingungen in Gebrauch sind.



Foto: Universität Stuttgart / PI5

Neuer Materiezustand entdeckt

Wissenschaftlern um Prof. Tilman Pfau vom 5. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart ist es im Rahmen des Zentrums für Integrierte Quantenwissenschaft und -technologie IQST gelungen, die Eigenschaften von Gasen, Kristallen und Supraflüssigkeiten zu einem einzigen neuen Materiezustand zu verschmelzen.

Weit unten auf der Längenskala bei wenigen Nanometern sind klassische Vorstellungen von Materie nicht mehr möglich. In diesem Bereich sind die Bausteine der Materie halb Welle, halb Teilchen und haben nur noch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, an einem bestimmten Ort zu sein. Diese Effekte lassen sich in ultrakalten verdünnten Gasen beobachten. Bei eisigen Temperaturen Nullpunkt auf etwa -273,15 Grad Celsius sind Atome einzeln nicht mehr unterscheidbar, sondern vereinen sich zu einer riesigen kollektiven Materiewelle. Dieser seltsame Zustand des so genannten Bose-Einstein-Kondensats verleiht dem Atomkollektiv erstaunliche Eigenschaften. Diese Materiewelle fließt als Quantenflüssigkeit praktisch ohne innere Reibung und wird deshalb Supraflüssigkeit genannt.

Den Forschern des IQST ist es gelungen, eine solche Supraflüssigkeit aus Dysprosium-Atomen zu erzeugen. Sie nennen es „Quanten-Ferrofluid“, denn die neu entdeckte Materie ist nicht nur suprafluid, sondern zeigt ähnlich wie das in der klassischen Welt bekannte Ferrofluid erstaunliche magnetische Eigenschaften.

Energieeffiziente Elektrochemie

46 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen gingen 2012 auf das Konto der chemisch-pharmazeutischen Industrie in Deutschland. Das Institut für Technische Chemie (ITC) der Universität Stuttgart, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie die Firma Plinke (Bad Homburg) wollen das Treibhausgas im Rahmen des Projekts „Energieeffiziente Elektrochemie im Mikroreaktor 2.0“ (EnEIMi 2.0) mit Hilfe erneuerbarer Energien in Ameisensäure verwandeln. Diese wird zum Beispiel in der Herstellung von Textilien und Lederwaren eingesetzt. Ihre Produktion bietet aber auch die Möglichkeit, überschüssigen elektrischen Strom chemisch zu speichern. Sobald wiederum ein Bedarf an Strom besteht, kann die Ameisensäure in Wasserstoff und CO₂ zersetzt und der Wasserstoff in einer Brennstoffzelle rückverstromt werden. „Damit leistet das Projekt einen kleinen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele wie auch zur Umsetzung der Energiewende, die auf neue Speichertechnologien dringend angewiesen ist“, sagt Projektkoordinator Prof. Elias Klemm vom ITC.

Extreme Miniaturisierung

Datenspeicherung bildet den Eckstein der technologisch fortgeschrittenen Welt. Noch werden die Daten auf makroskopischer Längenskala gespeichert. Künftig sollen sie in einzelnen Molekülen gespeichert werden. Die Gruppen um Prof. Biprajit Sarkar (Freie Universität Berlin), Prof. Joris van Slageren (Universität Stuttgart) sowie Prof. Frank Neese und Prof. Mihail Atanasov (Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion Mühlheim) haben nun einen Durchbruch erreicht: Sie entdeckten den ersten einkernigen Übergangsmetallkomplex mit stabiler Magnetisierung. Dies ist ein essenziell wichtiger Schritt hin zu einer Speicherung von Daten in Molekülen und einer tausendfachen Verkleinerung von Daten gegenüber denen auf herkömmlichen Festplatten.



Foto: Universität Stuttgart / ITC

Beziehungssache

Dirk Schwede bewertet die Wiederverwendbarkeit von Materialgruppen beim Bauen

Beim Recycling von Baustoffen kommt es nicht nur auf die einzelnen Materialien an, sondern auch auf die Technik, wie diese miteinander verbunden sind. Am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren entsteht ein Verfahren, das es Planern bereits bei der Konstruktion erlaubt, ihre Entwürfe im Hinblick auf die Wiederverwendbarkeit der Baustoffe zu beurteilen.

Fast drei Viertel aller Gebäude und Wohnungen in Deutschland sind laut Statistischem Bundesamt nach 1950 entstanden, wobei die Sechziger und Siebziger die stärksten Bauphasen waren. Gebäude haben wie andere Dinge einen Lebenszyklus – auf Bau folgt Nutzung folgt Abriss. Und spätestens beim Abriss müssen sich die Baufirmen mit der Frage herumschlagen, was wertvoll und wiederverwendbar ist, und was entsorgt werden muss. Laut den offiziellen Statistiken weist das Bauwesen in Deutschland eine Recyclingquote von mehr als 90 Gewichtsprozent auf. Dirk Schwede, Juniorprofessor am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart, bezweifelt jedoch die Aussagekraft dieser Zahl: „Schwere Baustoffe wie Stahl oder Asphalt verbleiben tatsächlich nach dem Abbruch fast vollständig im Baukreislauf, aber Beton dient nur noch als Verfüllmaterial oder Straßenschotter – das ist ein Down-, kein Recycling.“ Hinzu kommen gerade in jüngerer Zeit zum Beispiel Dämmstoffe. In einer Mengenstatistik, die das Gewicht als Maßstab hat, spielen diese zwar keine große Rolle, weil sie leicht sind. Die Umwelt belasten sie dennoch: „Polystyrol enthielt bis vor Kurzem Flammschutzmittel. Sie verhindern aber, dass sich der Stoff in den Kreislauf rückführen lässt“, erklärt Schwede. „Sehr eingeschränkt recycelt werden auch Mineral- und Steinwolle, die ebenfalls als Dämmstoffe dienen. Nach einer Rückgewinnung aus einem Abbruch ist ihre Qualität nicht definiert. Das

macht ihr Recycling wirtschaftlich uninteressant.“ So kommt es, dass bislang oft nur der beim Bau des Gebäudes anfallende Verschnitt an Mineral- und Steinwolle recycelt wird. Schwede sieht daher bei der Wiederverwendung von Baustoffen noch ein großes Potenzial. „Das wird eine immer wichtigere gesellschaftliche Aufgabe, wenn wir nachhaltig wirtschaften wollen“, ist er überzeugt.

Eine Frage der Fügetechnik

Meistens hängt die Recycelfähigkeit von Baukonstruktionen nicht nur von der Wahl des Materials ab, sondern auch von der Art und Weise, wie die Bauteile und Schichten miteinander verbunden werden. Der Fachmann spricht von „fügen“. Fügen, das kann zum Beispiel Schrauben oder Kleben bedeuten. Und während das Schrauben unter dem Gesichtspunkt der Wiederverwendbarkeit einen zwar möglicherweise zeitaufwändigen, aber problemlosen Weg eröffnet, können sich durch Kleben die Eigenschaften der miteinander gefügten Baustoffe so stark verändern, dass sie nicht mehr zu recyceln sind. „Im heutigen Konstruktionsprozess spielt allerdings der Einfluss der Fügetechnik bei der Bewertung der Recyclingfähigkeit überhaupt keine Rolle“, sagt Schwede. „Man beurteilt nur isoliert die Wiederverwendbarkeit der einzelnen Materialien.“ Das will der Bauingenieur mit seinem Team ändern.

Abhilfe soll eine Software schaffen, mit der sich die Recyclingfähigkeit von gefügten Baustoffen im Hochbau beurteilen lässt. Für das Prinzip der Software machen Schwede und sein Team Anleihen beim Produktdesign, wo sich grafische Darstellungen zur Visualisierung der Wiederverwendbarkeit von Bauteilen bewährt haben. Was das heißt, veranschaulicht die Bewertung einer Außenwandkonstruktion: Auf einen Blick ist dann erkennbar, welche Materialien zum Einsatz kommen, ob ihre Oberflächen beschichtet sind und welche Füge-



Wertvolle Rohstoffe
und Sondermüll sind
im Bauschutt oft
schwer zu trennen.

Foto: Fotolia

technik verwendet wird. Die möglichen Verunreinigungen eines Baustoffs durch einen anderen wie zum Beispiel Farbe, Kleber, Mörtel oder Putz ist bei jeder Materialverbindung aus der Visualisierung grafisch ersichtlich und einer von drei Kategorien zugeordnet: Stoff verunreinigt Nachbarstoff, Stoff wird von Nachbarstoff verunreinigt, keine Verunreinigung. Diese Art der Beurteilung soll sich dann auf sämtliche Baugruppen im Gebäude erstrecken, hierarchisch gegliedert in Anlehnung an die konstruktiven Elemente bei der Planung.

Anbindung an Gebäudedatenmodellierung

„Wir haben inzwischen 200 Materialien für vier unterschiedliche Wandaufbauten erfasst und können sie auf die beschriebene Weise darstellen“, sagt Schwede. „Es ist also erst ein Anfang gemacht.“ Für jede Materialpaarung und jede Füge-technik müssen die Forschenden dazu beurteilen, inwieweit sie demontierbar sind, ob sich prozesstechnische Lösungen eignen und was am wirtschaftlichsten ist. Es gibt online verfügbare Datenbanken, in denen die Eigenschaften von Baumaterialien zum Beispiel mit Blick auf ihren Umwelteinfluss beurteilt werden. Sie umfassen teils mehrere tausend Materialien. Prinzipiell können der Wissenschaftler und sein Team ihre Methode

also noch auf deutlich mehr Stoffe erweitern. Allerdings geht es ihnen derzeit mehr um die prinzipielle Machbarkeit des Ansatzes und inwiefern er sich als Hilfsmittel bei der Analyse von Bauteilen praktisch einsetzen lässt. „So wollen wir das Tool zum Beispiel den Studierenden im Rahmen von Seminaren zur Verfügung stellen, damit sie die Recyclingfähigkeit ihrer Konstruktionsentwürfe beurteilen können“, sagt Schwede. Auch für Zertifizierungen, wie sie etwa von der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen oder dem U.S. Green Building Council durchgeführt werden, könnte das Tool in seinen Augen interessant sein.

„Unser Ziel ist es nun, unser Verfahren mit dem Building Information Modeling zu verknüpfen“, verrät Schwede. Diese Gebäudedatenmodellierung ist eine Methode, um Gebäude optimal zu planen, zu bauen und zu bewirtschaften. Sie gilt inzwischen als beste Vorgehensweise im Bauwesen und Facility Management. Dazu sind alle relevanten Gebäudedaten digital erfasst, kombiniert und vernetzt, so dass das Bauwerk als Computermodell vorliegt. Durch eine Anknüpfung an das Stuttgarter Tool wäre dann auch gleich ersichtlich, inwieweit die Wiederverwendbarkeit der Materialien nach einem Abriss gegeben ist.

Michael Vogel

Faserplatten aus Stroh

Ästhetisch - funktional - umweltverträglich

Sie begegnen einem auf Schritt und Tritt: Zu Platten verpresste Holzspäne oder -fasern stecken in furnierten Möbeln oder Türen, in Laminatfußböden oder Verlegeplatten für Innentrennwände. Dr. Hanaa Dahy vom Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart hat hingegen Platten aus Stroh entwickelt. Anders als viele gängige Span- und Faserplatten aus Holz dünnen sie keine Schadstoffe aus, sie sind kompostierbar und lassen sich zu neuartigen Möbelformen biegen.

Hanaa Dahy hat sich mit jeder Menge Stroh eingedeckt. Nicht etwa, weil sie daraus Gold spinnen will wie in Grimms berühmten Märchen vom Rumpelstilzchen. Die Ägypterin, die für die Doktorarbeit vor sechs Jahren mit Mann und 3-jährigem Kind aus ihrer Heimat nach Stuttgart gezogen ist, nutzt Stroh als billige Alternative für Holz in der Innenarchitektur. Denn die Verwendung von Holz als Werkstoff oder Brennmaterial kann für das Klima problematisch werden, wenn dafür immer mehr Wälder abgeholzt werden. Sie wieder aufzuforsten dauert Jahre.

Stroh hingegen ist ein jährlich anfallendes Abfallprodukt. Auf jede Tonne Getreide, das die Bauern ernten, kommen weitere 1,5 Tonnen Pflanzenabfälle wie Stroh. „Es gibt weltweit extrem viel Stroh, das in vielen Ländern oft direkt auf den Feldern verbrannt oder wie in Deutschland meist in Müllverbrennungsanlagen zur Stromgewinnung verfeuert wird“, klagt Dahy. „Das ist schade: Es wäre ressourceneffizienter, es zunächst industriell zu nutzen. Verbrennen kann ich es danach immer noch“, sagt die 35-Jährige. Doch Dahy wäre keine Architektin, wenn sie bei der Werkstoffentwicklung nicht gleichzeitig das Design des zukünftigen Produktes im Blickfeld hätte. Bisher stoßen Architekten an

ihre Grenzen, wenn sie aus Spanplatten oder Holzfaserverplatten frei geformte Möbelstücke entwerfen wollen, etwa eine S-förmig geschwungene Platte als Tischbein. „Das lässt sich, wenn überhaupt, nur mit aufwendigen und teuren Verfahren erreichen, zum Beispiel indem die Platten in Wasser getränkt werden“, erklärt Dahy.

Holzfaserverplatten sind Sondermüll

Herkömmliche Faserplatten bestehen aus Holzspänen oder zerkleinerten Holzabfällen, die mit Holzleim vermischt zu Platten gepresst werden. Nach dem Aushärten sind sie in der Regel nicht mehr biegsam. „Außerdem gibt es damit zu viele Umweltprobleme“, betont Dahy. Einige der Holzleime enthalten krebserregende Isocyanate, andere gesundheitsbedenkliches Formaldehyd, das aus den Platten in die Umgebungsluft entweicht. Ausgediente Holzfaserverplatten gelten daher als Sondermüll und dürfen nicht in heimischen Öfen verfeuert werden.

Dahy nutzt dagegen einen umweltverträglichen Klebstoff auf Polyvinylacetat-Basis, ähnlich dem Weißleim, und etablierte Verfahren der Kunststoffproduktion, um flexible Strohfaserplatten herzustellen. Wie bei der Spritzgebäck-Herstellung wird zum Beispiel ein „Teig“ aus Stroh und aufgeschmolzenem Kleber in einem sogenannten Extruder mit Hilfe einer Schnecke vorwärtsbewegt und durch eine Schablone gedrückt. Da es sich bei dem Klebstoff um ein Elastomer handelt, bleiben die Platten, die zu 80 bis 90 Prozent aus Stroh bestehen, auch nach dem Aushärten des Klebers noch flexibel. „Wir können die Platten zum Beispiel für Möbel und Trennwände in die gewünschte Form biegen und mit Furnierschichten fixieren oder als rutschfeste und dämpfende Yogamatten verwenden“, erzählt Dahy. Mit dem Spritzguss-Verfahren aus der Kunststoffindustrie ließen sich auch Skulpturen erzeugen, indem das Stroh-Klebstoff-Gemisch in die passende Form gespritzt wird.



Am Ende ihres Lebenszyklus lassen sich die stroh-basierten Gegenstände – anders als die Holzfaserplatten – dank des thermoplastischen Klebstoffes wieder zermahlen, aufschmelzen und in neue Formen umwandeln. „Wir haben hier eine zweifache Wiederverwertung, einmal indem wir landwirtschaftliche Reststoffe verwerten und ein zweites Mal durch das Recycling der Strohfaserplatten“, sagt Dahy. Auch kompostierbar seien die neuen Platten, schwärmt die Architektin. Dafür hat sie Plattenproben auf dem Universitätscampus unter der Erde verbuddelt und nach 15 Monaten beobachtet, dass sie von Bodenorganismen zersetzt und von Wurzeln durchdrungen waren. Auch die neueren Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe sind recyclingfähig und lassen sich mit den Kunststoff-Verfahren zu Freiformen gestalten. Ein Trend seit Anfang der 90er Jahren sind sogenannte WPC-Terrassendielen, die normalerweise aus Holzmehl und Kunststoffen wie PP, PE oder PVC bestehen. „Sie sind aber nicht kompostierbar und enthalten oft gesundheitlich und ökologisch bedenkliche halogenhaltige Brandhemmer wegen der leicht entzündbaren Kunststoffe“, entgegnet Dahy. „Wenn wir unsere Platten aus Reisstroh herstellen, das unter den Stroharten einen besonders hohen Silikatanteil hat, erhalten sie dadurch einen natürlichen

Flammschutz“, erklärt Dahy. Für ihre Entwicklung hat Dahy den Materialica Design + Technology Preis 2015 in der Kategorie CO₂-Effizienz erhalten, die neuartigen Strohfaserplatten sind zum Patent angemeldet.

Die Wissenschaftlerin selbst arbeitet inzwischen als Postdoc am ITKE. Auf einem Tisch hat sie verschiedene Materialien ausgebreitet – alle auf Strohbasis. Einige sehen aus, als lägen sie wie ein Tuch in Falten, andere gleichen den für die Häuserdämmung bekannten Polyurethan-Schäumen. Furnierte Platten in Holzoptik sind dabei, zu einem Bogen geformt oder gerade, aber auch eingefärbte Platten. Aktuell entwickelt Dahy in einem Projekt zusammen mit Industriepartnern „grüne“ Trennwände für Innenräume mit akustischen und wärmedämmenden Eigenschaften. Den Kern bildet eine Schaumplatte aus Stroh, in der die erdölbasierten Polyurethane und Polystyrole durch Bioplastik ersetzt sind. Sie wird von zwei umweltfreundlichen Strohfaserplatten zu einem Sandwich umschlossen. Mit ihrer Begeisterung für Stroh hat Dahy bereits ihre ganze Familie angesteckt. Den „Doktorhut“ aus Stroh, den Kollegen ihr schenkte, tragen jetzt stolz die beiden Kinder spazieren.

Helmine Braitmaier

Schätze aus dem Schrott Kritische Rohstoffe effizient wiedergewinnen

Neodym, Tantal, Indium – so exotisch die Namen dieser chemischen Elemente für den Laien klingen, so wichtig sind sie für moderne Industrien. Weil sie als Rohstoffe nur mit riesigem Aufwand gewonnen werden können, sollen sie künftig immer mehr durch Recycling zur Verfügung gestellt werden – ressourcenschonend, kostengünstig und versorgungssicher.

Der glänzende Metallzylinder, den Prof. Michael Buchmeiser vom Institut für Polymerchemie (IPOC) der Universität Stuttgart auf den Tisch legt, ist nicht nur etliche Kilogramm schwer. Er könnte auch ein wichtiger Baustein in einem Verfahren zur Rückgewinnung der Seltenen Erden Neodym und Dysprosium sein. Die beiden Metalle finden vor allem bei der Produktion von Elektrogeräten und -motoren Verwendung, landen heute meist noch im Schrott und enden bei der Wiederaufbereitung von Stahl praktisch unwiederbringlich in der Schlacke. In einem Forschungsprojekt der Innovationsallianz Baden-Württemberg arbeiten seit Oktober 2015 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IPOC, des Forschungsinstituts Edelmetalle (FEM) in Schwäbisch Gmünd und der Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung (DITF) Denkendorf daran, ein wirtschaftliches Recyclingverfahren für Neodym und Dysprosium zu entwickeln.

Dass es technisch möglich ist, die begehrten Metalle aus dem Elektroschrott herauszulösen, ist für Buchmeiser gar keine Frage, sondern schlicht angewandte Technik: „Der Schrott wird geschreddert, der Kunststoff abgetrennt, danach wird die Metallfraktion in Säure aufgelöst“, erklärt er. Anschließend könnten die in der Lösung enthaltenen Seltenerdmetalle über eine so genannte Gruppenfällung angereichert werden. Allerdings sind sie dann noch verunreinigt.

„Spätestens an diesem Punkt setzt unser Projekt an:

Wir wollen die gesamte Kette abbilden – von der Schrottsammlung bis zur sauberen Auftrennung der wiedergewonnenen Elemente“, sagt Buchmeiser. Sein Team arbeitet vor allem an den notwendigen Sorbentien. „Das sind Extraktionsmaterialien, die es erlauben, die Seltenerdmetalle selektiv auf spezielle Harze zu binden, von dem sie später gelöst und sauber getrennt werden können.“

Dafür braucht es allerdings einen Kreislauf, der sich auch rechnet. Wesentliche Schritte dieser anvisierten Prozesskette sind technisch einfach und erprobt. „Die Sorbentien, die wir nun entwickeln, müssen billig und im Großmaßstab herzustellen sein“, erklärt Buchmeiser. In Kartuschen, wie eine

Der schwere Metallzylinder in den Händen von Prof. Michael Buchmeiser könnte für die Wiedergewinnung seltener Erden eine Schlüsselrolle spielen.

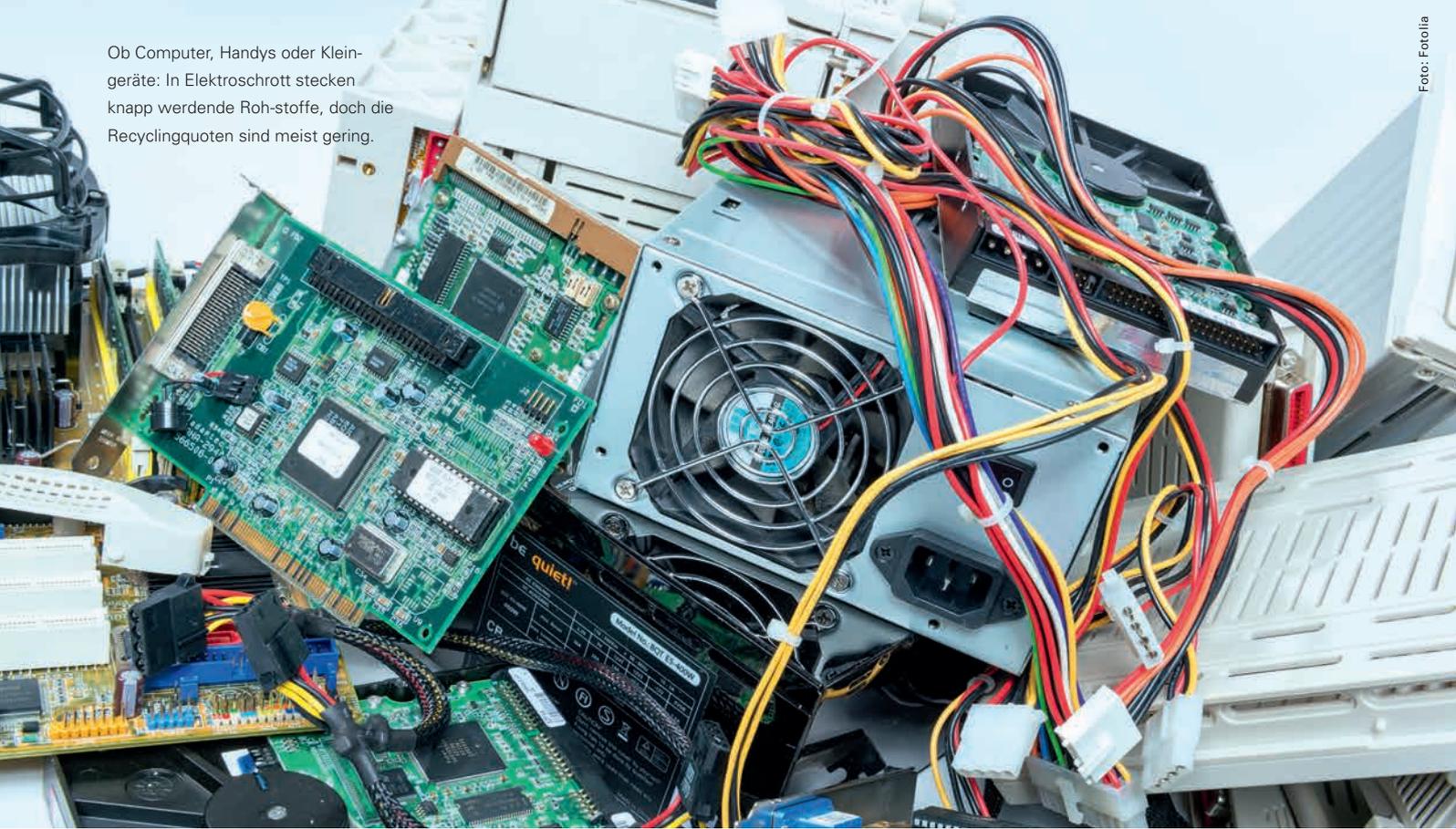


Foto: Jens Eber

auf Buchmeisers Schreibtisch liegt, sollen schließlich die Metalle „aufgefangen“ werden. „Am Ende des Verfahrens haben wir Salze, aus denen Metallurgen wieder Metall herstellen.“

Nach Ablauf der zweijährigen Projektlaufzeit soll auch klar sein, wie groß eine zentrale Fabrik sein müsste, um in wirtschaftlich sinnvollem Maßstab

Ob Computer, Handys oder Klein-
geräte: In Elektroschrott stecken
knapp werdende Rohstoffe, doch die
Recyclingquoten sind meist gering.



Neodym und Dysprosium aus Elektroschrott zu lösen. Angenommen wird dabei, dass pro Jahr allein aus alten Festplatten und Computern mehr als 100 Tonnen der magnetischen Metalle wiedergewonnen werden könnten. „Im Idealfall bauen wir einen Kreislauf mit Kostenvorteilen und gesicherter Rohstoffverfügbarkeit für die Industrie auf“, sagt Buchmeiser.

Welche Rohstoffe sind kritisch?

Ein wirtschaftlich tragfähiges, industrielles Verfahren zur Rückgewinnung dieser Seltenen Erden zu entwickeln, ist sicherlich ein Meilenstein, immerhin zählen sie zu den kritischen Rohstoffen in Baden-Württemberg. Doch sie sind nicht die einzigen. Welche Rohstoffe für die Industrie im Südwesten besonders wichtig und zugleich versorgungskritisch sind, haben unter anderem Forscher am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart untersucht. Für den Industriestandort sind solche Analysen existentiell. Während nämlich die Unternehmen etwa beim Bezug von Stahl, Kunststoffen oder Energie vor allem Preisschwankungen einkalkulieren müssen, drohen bei den kritischen Rohstoffen Lieferengpässe oder gar politisch-strategische Verschiebungen. Im

Rahmen der Landesstrategie Ressourceneffizienz haben daher ISWA-Mitarbeiter gemeinsam mit Kollegen weiterer Universitäten eine „Top Ten“ kritischer Rohstoffe erstellt. Gesichtspunkte waren dabei neben der Marktverfügbarkeit auch der Preis oder die Frage, wie dringend die Industrie den Rohstoff benötigt. Fast allen der so identifizierten Rohstoffe ist gemein, dass sie schwer zu gewinnen sind oder auf dem Weltmarkt limitiert werden können. Auch mögliche Umweltschäden bei der Rohstoffgewinnung wurden berücksichtigt. Ein Großteil der Seltenen Erde wird etwa in China in riesigen Minen aus dem Boden geschürft – bislang mit wenig Fokus auf Umweltverträglichkeit. Zu Hochzeiten des chinesischen Wirtschaftsbooms verknappte die Regierung in Peking zudem den Export dieser Rohstoffe. Kein Wunder also, dass intensiv an Wegen für mehr Unabhängigkeit von Rohstoffimporten gesucht wird.

„In der hiesigen Industrie liegt der Fokus stark auf dem Automobilbau“, sagt Detlef Clauß, Arbeitsbereichsleiter für Systeme der Kreislauf- und Abfallwirtschaft am ISWA. Entsprechend hoch stiegen im nun erarbeiteten „Ranking“ Rohstoffe, die in der Bordelektronik oder in den zahllosen Elektromotoren stecken, die in modernen Autos verbaut



Foto: Jens Eber

sind. Neben verschiedenen Seltenerdmetallen zählen zu den „Top Ten“ der kritischen Rohstoffe zum Beispiel Tantal, Kobalt, die Platingruppenmetalle, Wolfram und Molybdän.

Der naheliegende Schritt, der drohenden Knappheit zu entgehen, ist das Recycling. Theoretisch. Die Praxis sieht anders aus. „Wir haben hier bis auf die Platinmetalle aktuell Recyclingquoten gegen Null“, erklärt Prof. Martin Kranert, Inhaber des Lehrstuhls für Abfallwirtschaft und Abluft am ISWA. Um dieses Recycling in Gang zu bringen, braucht es wirtschaftlich tragfähige Verfahren, vor allem aber auch funktionierende Prozessketten. Nach Kranerts Einschätzung wandern zahlreiche Elektrokleingeräte am Ende ihrer Nutzung in die Restmülltonne oder werden in Schubladen vergessen. Dazu kommt, dass manche der kritischen Rohstoffen nur in Größenordnungen von wenigen Milligramm in den Geräten enthalten sind, relevante Rohstoffmengen sind im Umkehrschluss extrem verdünnt über das ganze Land verteilt.

Zum Forschungsprojekt gehören daher auch ein Think-Tank für Ressourcenpolitik, der seit Jahresbeginn auf dem Weg zur Konkretisierung ist, die Entwicklung einer Demontagefabrik sowie ein Konzept für die „effizienteste Rohstoffmine der Welt“

(Kranert), in der mit Fokus auf Nachhaltigkeit gearbeitet werden soll. In Voruntersuchungen wurde am ISWA auch der Versuch unternommen, Indium rückzugewinnen. Das Metall findet sich vor allem als transparenter Leiter in Form von Indiumzinnoxid in Flachbildschirmen und Touchscreens wieder. Indium wird überwiegend in China gewonnen und gehört zu den knappsten Rohstoffen weltweit. Am ISWA wurde an einer Möglichkeit zum mechanischen Aufbereitung der Altgeräte gearbeitet. „Wir haben die Beschichtung abgeschliffen, um ein recyclingfähiges Pulver zu gewinnen. Technisch ist das machbar. Um es wirtschaftlich wiederverwerten zu können, müssten die einzelnen Arbeitsschritte – Herausnehmen der Bildschirme, schleifen – automatisiert werden. „Die Sensorik ist dabei das Hauptproblem“, sagt Kranert.

Zudem musste zunächst grundsätzlich analysiert werden, in welchem Umfang der Rohstoff im gewonnenen Staub enthalten ist. „Die Prozesskette bei der Herstellung ist unübersichtlich, niemand weiß genau, welche Stoffe in welchen Mengen enthalten sind“, erklärt Mitarbeiter Matthias Rapf.

Ähnliche Grundlagenarbeit leisteten die ISWA-Forscher bei der Untersuchung von Rost- und Kesselaschen aus Müllverbrennungsanlagen. Gefunden

wurden zwar zahlreiche Verbindungen, allerdings „sehr wenig davon in großer Menge“, erklärt Bereichsleiter Detlef Clauß. Rohstoffe aus diesen Aschen wiederzugewinnen sei zwar technisch möglich, aber ineffizient. Sinnvoller sei es, den Bürgern noch klarer als bisher zu vermitteln, dass etwa Elektrogeräte nicht in den Restmüll gehören. „In Deutschland ist die Mülltrennung zwar ausreichend differenziert, aber die Erfassungsquoten, vor allem von Elektrokleingeräten, müssten noch gesteigert werden“, fügt Prof. Kranert hinzu.

Sonderfall Phosphor

Phosphor ist in der „Top Ten“ der kritischen Rohstoffe überhaupt nicht enthalten – weil er jede Statistik sprengen würde. „Das ist per se eine kritische Ressource“, sagt Prof. Kranert. Matthias Rapf fügt hinzu: „Phosphor unterscheidet von anderen kritischen Rohstoffen, dass er nicht ersetzt werden kann.“ Phosphor wird überwiegend als Dünger in der Landwirtschaft benötigt, es ist wichtig für den Knochenbau, die DNA und die Atmungskette der Zellen. Zwar ist nach jüngsten Funden von Lagerstätten in Nordwestafrika rein rechnerisch noch Phosphor für mehrere hundert Jahre vorhanden. Doch die Gewinnung ist zunehmend umweltschädlich. Bisläng wurde im Phosphorrecycling vor allem Phosphat für Düngemittel gewonnen. „Wir gehen in unserem mit mehreren Partnern entwickelten Verfahren als einzige weltweit den Weg, elementaren Phosphor zu gewinnen, wie er für einige Industriezweige unverzichtbar ist“, erklärt Rapf. Ein besonders großer Anteil des Rohstoffs findet sich in der Asche aus der Klärschlammverbrennung. In einem

thermochemischen Verfahren werden die Phosphate der Asche zu Phosphor umgewandelt, verdampft und aufgefangen. Phosphor in elementarer Form habe weit höheren Wert als Dünger, zudem gebe es in Europa seit einigen Jahren keinen Hersteller mehr. „Mit diesem Verfahren könnten wir die Produktion von weißem Phosphor wieder nach Europa holen“, sagt Rapf.

„Phosphorrecycling ist absolut sinnvoll, weil man den Rohstoff in elementarer Form rückgewinnen kann“, sagt Kranert. Daher sei es wichtig, jetzt die Technik dafür zu entwickeln.

Jens Eber



InduCarb-Reaktor, das Herzstück des RecoPhos-Verfahrens zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm-Asche

Saubere Luft und warme Gebäude Abluft reinigen mit Mikroben und Elektronen

Ob gesundheitsschädliches Styrol oder der Gestank einer Schweinemastanlage: Was Betriebe in die Luft blasen, wird von der Öffentlichkeit zunehmend kritisiert und vom Gesetzgeber immer strenger kontrolliert. Am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart werden Verfahren entwickelt, mit denen Abluft ressourcenschonend gereinigt werden kann. Das Ziel, Betriebskosten und Energieeinsatz gering zu halten, wurde erreicht.

Zahllose Alltagsgegenstände bestehen aus styrolhaltigem Kunststoff, sogar die riesigen Rotorblätter von Windkraftanlagen werden aus glasfaserverstärkten Kunstharzen gefertigt. Diese Kunststoffe sind haltbar und im Alltag unbedenklich. Bei der Verarbeitung und beim Aushärten der zunächst zähflüssigen Masse dampft das Styrol jedoch aus – und das ist bei dauerhaftem Kontakt gesundheitsschädlich.

Daher muss die Raumluft in Styrol verarbeitenden Betrieben ab einer bestimmten Größe gereinigt werden. „Das ist technisch auch machbar“, sagt Dr. Daniel Dobslaw, Laborleiter in der Abteilung Biologische Abluftreinigung am ISWA. In größeren Betrieben werde die Abluft zum Beispiel thermisch behandelt, also verbrannt.

Allerdings ist der Ressourcenverbrauch solcher Verfahren hoch – auch deshalb, weil die gereinigte Luft nach Außen abgeführt wird. Gerade im Winter muss wiederum die zugeführte Frischluft mit viel Energieeinsatz wieder auf Raumtemperatur erwärmt werden. „Bei Wasser oder etwa Metallen haben wir schon länger eine Kreislaufwirtschaft im Blick, bei Luft bislang nicht“, sagt Dobslaw, schließlich koste Luft nichts. Der entscheidende Faktor ist aber die Energie, die zum Austausch und Temperieren der Luft benötigt wird. Am ISWA ar-

beitete man daher an einer anderen Idee: „Wir schicken die Luft, vereinfacht gesagt, durch einen Filter und leiten sie wieder in die Halle“, erklärt Dobslaw. Aktivkohlefilter schlossen die Forscher bald aus ihren Überlegungen aus. Das Styrol verbinde sich mit dem Kohlenstoff, der dann als Sondermüll entsorgt werden müsse. Auch einfach konstruierte Biofilter aus Holzchips oder anderen Pflanzenfasern führten zu diesem Nachteil. „Wir suchten ein Verfahren, das über einen langen Zeitraum flüchtige organische Verbindungen aus der Luft filtert, aber auf einem nichtreaktiven Träger basiert. So kamen wir auf den Biotricklingfilter“, erzählt Daniel Dobslaw.

Biotricklingfilter und Kaltplasmatechnik

Im ISWA-Labor am Rand des kleinen Stuttgarter Stadtteils Binsau brummen und gluckern etliche Versuchsanlagen. Steffen Helbich führt zu einem Geflecht aus einem dicken Zylinder, einem Stahlkubus, langen Rohren und Kabeln. Im Biotricklingfilter, der die Ausmaße mehrerer übereinandergestapelte Regentonnen hat, lagern Plastikkörper, die ein wenig an kurze Lockenwickler erinnern. „Auf diesen Körpern wachsen Bakterien, die das Styrol aus der Luft in Wasser, Kohlendioxid und Biomasse umsetzen“, sagt Dobslaw.

Damit die Bakterien im Filtergehäuse gut gedeihen, müssen sie befeuchtet werden. Während der Befeuchtungsphase können allerdings auch Bakterien in kleinen Wassertropfen mitgerissen werden. Die Stuttgarter Forscher fahndeten daher nach einem weiteren Weg, diese Keime abzutöten und die bereits erzielten ressourcenschonenden Effekte des Biotricklingfilters nicht gleich wieder aufzufressen. „Wir kamen auf die Kaltplasmatechnik“, berichtet Dobslaw. Dabei werden in einem elektrischen Feld Elektronen emittiert, die im Luftstrom unter anderem Sauerstoff- und Hydroxidradikale erzeugen. Diese wiederum zerstören sehr effizient die Zellmembranen der Bakterien.

Das Forschungsprojekt wird im Sommer 2016 abgeschlossen sein. Seit Jahresbeginn arbeiten die Forscher an letzten Details. „Wir können die Eliminationsleistung der Kaltplasmaanlage gegenüber Keimen deutlich erhöhen, wenn der vorgeschaltete Tröpfchenabscheider richtig dimensioniert ist“, erklärt Helbich. Entsprechend müsse die Plasmastufe nur zu bestimmten Zeiten zugeschaltet werden. Dass das Verfahren, an dessen Entwicklung auch ein Industriepartner beteiligt war, ein wirtschaftlicher Erfolg werden kann, bezweifelt Dobslaw nicht. „Die Betriebskosten unserer Anlage sind sehr interessant, es sind große Einsparungen bei Strom und Heizenergie möglich.“ Im Vergleich zur thermischen Behandlung styrolhaltiger Luft sei das Verfahren um den Faktor zehn günstiger. „Und da gibt es noch Luft nach oben“, so Dobslaw.

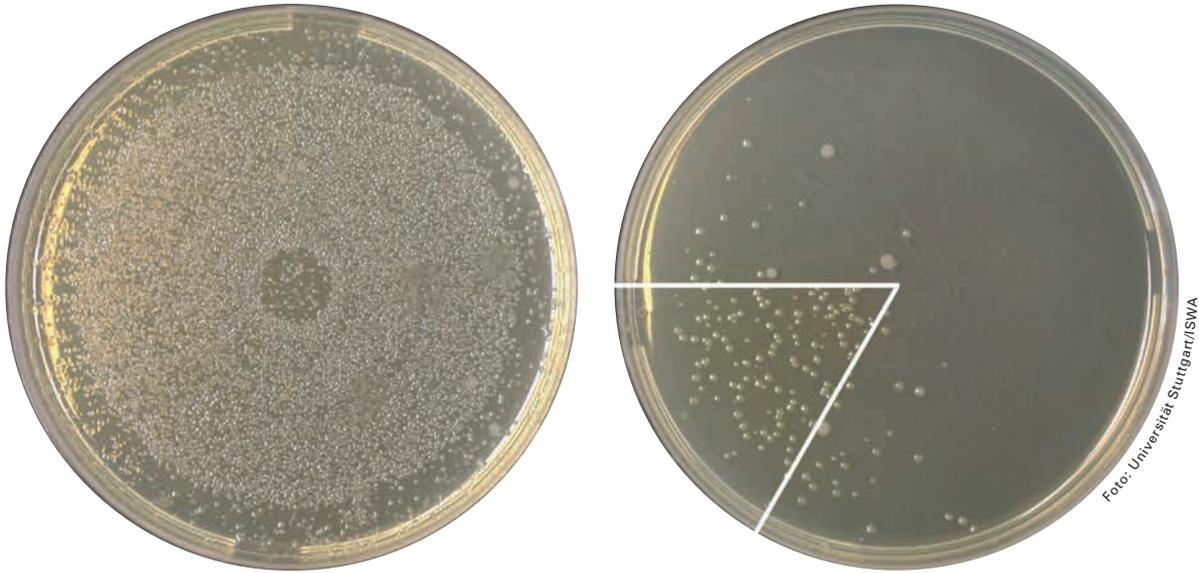
Klärschlamm-trocknung ohne Gestank

Mit einer ganz ähnlichen Fragestellung befasste sich auch ein gerade abgeschlossenes Projekt, in dem das ISWA mit der Firma PlasmaAir in Weil der Stadt zusammenarbeitete. „Ein Problem vieler Abluftströme ist die starke Geruchsbelastung“, erklärt Dobslaw. Ein Beispiel ist die Klärschlamm-trocknung. In Baden-Württemberg darf Klärschlamm nicht mehr auf Äckern ausgebracht werden, sondern wird getrocknet und verbrannt. Während der Trocknung dampft nicht nur Wasser aus, sondern auch viele andere flüchtige Stoffe, erklärt der Forscher auf dem Weg zur Vergärungsanlage Leonberg, wo seine Abteilung eine Pilotanlage betrieb. In der Vergärungsanlage wird aus den Bioabfällen der Region Strom gewonnen, der übrig bleibende Gärrest wird getrocknet und als Kompost wiederverwertet. In der Anlage wird die Trocknungsabluft in einem mit Hackschnitzeln gefüllten Filter vom Geruch befreit. Einen Teil der Abluft zweigte das ISWA-Team in die Pilotanlage ab, in der ebenfalls per Kaltplasma der Geruch eliminiert wurde. Die erzeugten Radi-

Dr. Daniel Dobslaw (links) und Steffen Helbich überprüfen das Betriebs-Log-Buch des Biotricklingfilters.



Foto: Jens Eber



Agarplatten nach dem Kontakt mit der Abluft aus dem Biotrickingfilter vor der Plasma-Stufe (links) und danach. Während der Kontaktzeit war die Beregnungsanlage an. Rechts ist im gekennzeichneten Bereich vermehrt Wachstum zu erkennen, links ist nichts zu unterscheiden.

Foto: Universität Stuttgart/ISWA

kalen machten auch enthaltene flüchtige organische Verbindungen wasserlöslich, sodass sie in einer Wäscherstufe herausgefiltert werden konnten. Stabilere Gase wie Methan oder Lachgas sollen in einem Katalysator unschädlich gemacht werden.

Über 90 Prozent Geruchsminderung

„In der Vergärungsanlage haben wir einen Geruchsminderung von über 90 Prozent erreicht“, berichtet Dobslaw. Im Labor testeten sie die Anlage sogar erfolgreich mit Superbenzin. „Das Verfahren weist eine hohe Energieeffizienz auf und ist sehr kompakt“, sagt Dobslaw. Bei der Entwicklung hatte das ISWA vor allem Betriebe in der Massentierhaltung im Blick, für die eine leicht zu steuernde, kompakte und effiziente Anlage interessant sei.

Jens Eber



Fassaden für die Architektur der Zukunft

Werden Sie Teil eines Teams, das seit 1868 Innovationen schafft!

Wen wir suchen? Motivierte Ingenieure, die mit uns die Skyline von morgen gestalten.

Praktika und Abschlussarbeiten -
Gewinnen Sie Einblicke in ein global agierendes Unternehmen, entdecken Sie Ihre Stärken und was alles hinter unseren maßgefertigten Gebäudehüllen steckt!

Trainee-Programm in Konstruktion oder Projektmanagement - Lernen Sie im flexiblen 18-monatigen Programm das Unternehmen von Grund auf kennen! Sie starten mit uns Ihre Karriere und arbeiten an architektonischen Highlights im Fassadenbau.

Mit rund 1.300 Mitarbeitern entwickelt und fertigt Gartner Fassaden, die Unikate sind und meist an die Grenzen des technisch Machbaren gehen. Von Frankfurt über London bis New York und Hong Kong. Gartner-Fassaden prägen die Skyline von Metropolen weltweit. Wenn Sie Interesse an einem harmonischen betrieblichen Miteinander, einer breit gefächerten Tätigkeit in einem internationalen Umfeld und einer leistungsgerechten Vergütung haben, bewerben Sie sich gern auch initiativ unter Angabe Ihres frühesten Eintrittstermins an bewerbung@josef-gartner.de.



Mehr Informationen und interessante Jobs:
josef-gartner.permasteelisagroup.com/jobs



Josef Gartner GmbH
Gartnerstraße 20
89423 Gundelfingen
www.josef-gartner.de

Hybrid Heizen

Während im Strommarkt erneuerbare Energien bereits ein Drittel des Verbrauchs decken, wird Wärme heute überwiegend mit Erdgas und Heizöl erzeugt. Dabei birgt die Verknüpfung von Strom- und Wärmemarkt – Stichwort Sektorenkopplung – die Chance, die wetterabhängigen Schwankungen im Bereich der Erneuerbaren Energien abzufedern und zum Beispiel Stromüberschüsse bei viel Wind und Sonne sinnvoll zu verwenden. Welchen Beitrag der Erdgassektor zum Zusammenwachsen von Strom- und Wärmemarkt leisten kann, hat das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart (IER) im Auftrag des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) analysiert. Dabei lag der Fokus auf dem bisher nur wenig untersuchten Verbrauchssektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung, in den beispielsweise Bäckereien, Hotels und Gaststätten, Supermärkte, Bürogebäude oder

öffentliche Einrichtungen wie Universitäten oder Behörden fallen. Die Studie zeigte, dass der Wärmemarkt in diesem Segment ein sehr hohes Potential für ein flexibles Strom- und Wärmemanagement bietet. Zu dessen Erschließung stehen heute marktreife und vergleichsweise preiswerte Technologien wie ein hybrides Wärmesystem mit Heizstab zur Verfügung, die noch mit geeigneten Steuerungsalgorithmen zu versehen sind.

In der Praxis kann das zum Beispiel so aussehen: Steht viel günstiger Strom zur Verfügung, kann der Wärmebedarf durch elektrisches Heizen gedeckt und damit der Brennstoffverbrauch reduziert werden. Ist der Strom dagegen knapp und teuer, wird die Wärme wie bisher durch Feuerung fossiler Brennstoffe, zum Beispiel mit einem Gas-Brennwertkessel erzeugt. Ebenso kann umgekehrt der für den Einsatz von Elektrowärmepumpen erforderliche Strom temporär durch Gaseinsatz substituiert werden. *red*

So gut wie echt Die Chemikerin Svenja Hinderer hat die menschliche Herzklappe im Labor nachgebaut

„Mensch, du bist ja schon wieder gewachsen!“ Wenn Kinder schubweise größer werden, ist das oft Anlass zur Freude. Für ein Kind mit künstlicher Herzklappe bedeutet das aber die nächste Operation am offenen Herzen. Das könnte die Erfindung von Dr. Svenja Hinderer ändern.

Die besten Herzklappen trägt ein Mensch von Geburt an. Unterschiedliche Ursachen können dazu führen, dass sie schwache oder keine Leistung bringen. Dann muss ein Ersatz her. Auch im Erwachsenenalter ist das nicht unkompliziert. Wer künstliche Herzklappen hat, muss gerinnungshemmende Medikamente nehmen – lebenslang.

Gute biologische Alternativen gibt es nicht. Schweine-Herzklappen halten nur etwa 15 Jahre, weshalb sie nur bei älteren Menschen eingesetzt werden. Künstliche Herzklappen halten etwa dreißig Jahre. Doch sie wachsen nicht mit. Kinder müssen also etwa alle zwei bis drei Jahre in den Operationssaal.

Die Hoffnung kommt aus dem Labor. Im Rahmen einer Promotion am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie (IGVP) der Universität Stuttgart hat Dr. Svenja Hinderer eine künstliche Herzklappe entwickelt, die einer biologischen ähnelt (Betreuung: Prof. Katja Schenke-Layland). Dafür bekam die Forscherin am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) 2015 den Deutschen Studienpreis der Körber-Stiftung.

Das Trägersubstrat, das Hinderer in drei Jahren entwickelt und getestet hat, besteht aus mehreren Molekülketten. Alles sind Proteine und andere abbaubare Polymere – zum Beispiel Polymilchsäuren. Mittels Elektrosponning werden sie zu einer dreidimensionalen Struktur verwoben. Diese Methode verwendet eine Spritze mit Injektionsnadel, ein elektrisches Feld und einen Kollektor – in dem Fall eine Kupferplatte. Aus der Spritze kommt das Polymergemisch, gelöst in einem Lösungsmittel.

Anmutung wie ein Papiertaschentuch

Zunächst bildet sich ein Tropfen. Im elektrischen Feld streckt er sich zu einem Faden, verwirbelt zu Spiralen. Immer dünner wird er dadurch, feiner als Spinnenfäden. Gleichzeitig verdampft das Lösungsmittel. Das Ergebnis sieht aus wie ein Papiertaschentuch. Die erzeugten Fasern kommen in dieser Größe auch in menschlichem Gewebe vor.

Genau das ist die Absicht: Hinderers künstliche Herzklappe soll ein möglichst exakter Nachbau der natürlichen sein. Dafür musste die Chemikerin medizinisch arbeiten: „Ich bin zum Schlachthof gefahren, habe Schweineherzen geholt und die Herzklappen herausgeschnitten. Das war schon eine blutige Angelegenheit.“ Ab und an untersuchte sie auch Gewebeproben von Biopsien aus dem Krankenhaus. Bald war die nötige Polymer-Struktur bekannt. Doch was würde sie leisten? In Bio-Reaktoren können Organ- und Körperfunktionen nachgestellt werden. Die Funktion und Stabilität des künstlichen Gewebes prüft ein etwa 30 Zentimeter hoher Glaszylinder mit Flüssigkeitskreislauf, regelbaren Druck-, Kohlendioxid- und Temperaturparametern. Ein Stück Aorta, bei dem eine Tasche der Herzklappe durch das künstliche Gewebe ersetzt wurde, spannte Hinderer in den Bio-Reaktor ein und testete es. Tatsächlich hielt das Textil dem physiologischen Druck Stand.

Der Hauptvorteil ist jedoch, dass die Herzklappe später nicht mehr ausgetauscht werden soll. Das künstliche Fasergewebe selbst kann nicht wachsen. Darum muss es vom Körper übernommen und auf Dauer ersetzt werden. Die Bedingungen sind klar: Das Material muss komplett abbaubar sein. Die Oberfläche soll so beschaffen sein, dass sich Zellen auf der Struktur ansiedeln und sie Stück für Stück ersetzen.

Ein zweiter Bioreaktor kam zum Einsatz, um mögliches Zellwachstum zu testen. Dieser hat eine Kammer in der Größe eines Zuckerwürfels,



Foto: Fotolia



Foto: Fraunhofer IGB

Dr. Svenja Hinderer bei einer chemischen Analyse.



Foto: Fraunhofer IGB

Eine künstliche Herzklappe ist in eine Schweineaorta eingesetzt. Im Bioreaktor zeigt sich, wie druckbeständig sie ist.

sowie ebenfalls Pumpe und Flüssigkeitskreislauf. Mit Vorläuferzellen – Zellen, die ihre Funktion noch herausbilden – wurde das Textil getestet. Mit Erfolg: Die Zellen ließen sich wie erhofft auf der Matrix nieder.

Ins Herz soll die künstliche Herzklappe ohne Zellen eingesetzt werden. Der Körper sollte dann keine Abwehrmechanismen auslösen. Derzeit geht die Forscherin davon aus, dass ihr Kunstgewebe innerhalb von zwei bis drei Jahren im Körper abgebaut wird.

Hohe rechtliche und ethische Hürden

Ausprobiert hat es noch niemand, zu riskant ist der Einsatz am Herzen. Selbst Tierversuche haben hohe rechtliche und ethische Hürden. Anträge auf Tests mit Schweinen sollen im Herbst gestellt werden.

Dann sollen die Bioreaktoren zeigen, dass das verbesserte Material nochmals stabiler ist. Und wann haben die bislang regelmäßigen Operationen für Herzklappen-Patienten ihr Ende?

„Ich bin froh, wenn ich das noch erlebe“, sagt die junge Forscherin. Über 15 Jahre könne es dauern, eingerechnet sind erfolgreiche Studien und Versuche mit menschlichen Testpatienten. Für die Zulassung eines Medizinprodukts für das Herz muss die Forscherin mit ihrem Team nachweisen, dass es garantiert keine Blutverklumpungen gebe und das Gewebe dem hohen Blutdruck standhält.

Die künstliche Herzklappe, die, einmal eingesetzt, vom Körper übernommen und mit Zellen ersetzt wird, ist also noch Zukunftstechnik.

Ulrich Fries

Kunststoff hilft beim Klimaschutz

Neue Werkstoffe, Maschinen und Verfahren schonen Ressourcen

Kunststoffe geraten derzeit wieder vermehrt in die öffentliche Diskussion, wenn von der Vermüllung der Weltmeere berichtet wird. Doch Kunststoffe sind viel besser als ihr Ruf, denn ohne sie können die Klimaziele von Paris nicht erreicht werden, meint Prof. Dr. Christian Bonten, der Leiter des Instituts für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart. Er und sein Team arbeiten daran, die Werkstoffe, deren Verarbeitung etwa in Autos und deren Einsatzmöglichkeiten stetig weiter zu verbessern.

Frägt man Christian Bonten, wie das IKT mit seiner Forschung denn helfe, Ressourcen zu schonen, antwortet er mit einer Gegenfrage: „Was ist das knappste Gut auf der Welt?“ Und er beantwortet sie gleich selbst: „Es ist die Energie! Wir haben beispielsweise kein Wasserproblem, denn es kostet nur zu viel Energie, um Meerwasser trinkfähig zu machen und in wasserarme Gegenden zu fördern. Wir haben auch kein Ernährungsproblem, denn die Erde gibt genügend Nahrungsmittel für alle Bewohner her, die nur ungenügend gekühlt und verteilt werden.“

Schon heute wäre es möglich, Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Luft abzuscheiden und beispielsweise zu Kunststoffen zu verarbeiten – nur sei das zu energieintensiv beziehungsweise zu teuer. Daher ist sich die Weltgemeinschaft nahezu einig, dass das Treibhausgas gar nicht erst in die Atmosphäre gelangen soll, Energie also zu sparen und aus regenerativen Energieträgern zu produzieren ist. Dies umzusetzen sei einer der wichtigsten Faktoren, um unseren Wohlstand halten und mehren zu können, sagt Bonten. „Die größten Hebel Deutschlands, Energie zu sparen, sind Gebäude, der Verkehr und die Produktion.“ In allen drei Gebieten geht es nach Überzeugung des Forschers nicht ohne Kunststoffe.

Um zu zeigen, wie, greift Bonten zu einer silbrig-schillernden Leiste, ähnlich einem Lineal. Es ist das Musterstück eines extrem festen, faserverstärkten Polyamids. Das Verfahren zu dessen Herstellung haben IKT-Mitarbeiter entwickelt. „Mit wenigen Prozessschritten können wir enorm hochfeste Teile herstellen, die noch leichter sind als Aluminium und fester als Stahl. Sie werden im sogenannten Spritzgießverfahren eingelegt und mit heißer Kunststoffschmelze umspritzt. „Das liebt die Autoindustrie“, sagt Bonten. Seinem Mitarbeiter Stefan Epple ist es gelungen, das Ziehen der Glasfasern und gleichzeitige Benetzen mit geschmolzenem Kunststoff, die sogenannte Pultrusion, mit einer chemischen Reaktion zu verknüpfen. Statt dickflüssigem Polyamid wird dabei dessen Ausgangschemikalie auf die Fasern gesprüht. Sie ist dünnflüssig wie Wasser und sorgt für die bislang unmögliche Tiefeninfiltration. Kurz danach wird die Chemikalie dann zu Polyamid synthetisiert und dadurch fest. „Das nennen wir reaktive Verarbeitung“, sagt Bonten.

Nur auf diese Weise können derart hochfeste und hochsteife Endlosprofile aus Polyamid entstehen. Zu mehr als 70 Prozent bestehen sie aus Glasfasern, die bis in den feinsten Spalt von Polyamid umgeben sind. Die Automobilindustrie fordert Polyamid, weil die Stoffe durch diese Kombination trenn- und damit recycelbar bleiben.

Die bei allen anderen Vorzügen auch noch leichten Profile dienen dazu, größere Kunststoffteile an bestimmten Stellen zu verstärken. Ein solches komplexes Bauteil aus Kunststoff kann dann millionenfach als Seitenaufprallschutz in der Tür eines Autos verbaut werden, wo es ein schweres Stahlteil ersetzt. Dadurch hat nicht nur das Fahrzeug weniger Gewicht und verbraucht weniger Kraftstoff. Das neuartige Verfahren spart auch zahlreiche Arbeitsschritte ein und arbeitet mit wesentlich geringerem Energieaufwand, als die Produktion und Verarbeitung von Stahl.

Professor Christian Bonten (l.) und Stefan Epple mit einem am IKT entwickelten hochfesten Kunststoffprofil für Leichtbauautos.



Energie in Gebäuden und Haushalt sparen

In Mittel- und Nordeuropa wird viel Energie zum Beheizen, in heißen Regionen zur Kühlung von Gebäuden aufgewendet. Wärmedämmende Kunststoffelemente leisten in beiden Fällen einen wesentlichen Beitrag, um Energie einzusparen. Untersuchungen zeigen, dass in der Ökobilanz Systeme aus geschäumtem Kunststoff am besten abschneiden und die Naturprodukte Steinwolle und Kork am schlechtesten. Auch Haushaltsgeräte werden immer effizienter: Kühlschränke verbrauchen mit einer wirksamen Schaumstoffdämmung weniger Strom. Spül- und Waschmaschinen arbeiten dank moderner Sensorik, effizienter Pumpen und Wärmetauscher aus Kunststoff mit immer weniger Energie und Wasser. Auch die stromsparende LED-Beleuchtung wäre ohne Kunststoffe undenkbar.

Auch hier gilt: „Die Kunststoffproduktion gilt als energieschwache Branche, vor allem gegenüber der Stahl- oder Glaserzeugung, die wesentlich höhere Schmelztemperaturen benötigen. Deshalb gibt es immer mehr Kunststoff- statt Metallteile“, sagt Bonten. „Nicht, weil der Werkstoff billiger wäre. Ein Kilogramm Polyamid kostet mehr als ein Kilogramm Baustahl. Aber in der Serienfertigung wirkt sich die Energieersparnis so stark aus, dass das

Produkt trotz teurerem Kunststoff günstiger ist.“ Komplexe Formen und Oberflächen für technische Teile, aber auch von Designbauteilen sind mit geringem Energieaufwand und mit wesentlich weniger Montageschritten herzustellen, als bei Metallen.

Effizienzgewinne in Produktion, Verkehr und Transport

Das IKT macht auch die Produktionstechnologie effizienter. So gelang es dem Mitarbeiter Tristan Koslowski in einem Prozess zur Herstellung eines faserverstärkten Kunststoffteils, intelligent zwei Arbeitsschritte einzusparen: Während ein Roboter Kohlenstofffasern in die Maschine führt, werden sie unter Strom gesetzt und selbst aufgeheizt. Dies erspart das separate Aufheizen in einem Ofen und erneute Umsetzen durch einen weiteren Roboter – und zudem wieder Energie. In einem anderen Projekt untersucht Oliver Kast die Wärmeströme an den schweren Extruder- und Spritzgießmaschinen, um Wärmeenergie der Förderschnecke für die Trocknung des Kunststoffgranulats zu verwenden und damit den Gesamtenergiebedarf zu senken. Zum Bereich Verkehr hat Bonten ein eindrucksvolles Rechenbeispiel parat: Pro 100 Kilogramm eingesparter Masse verbraucht ein Personenwagen

Svenja Göttermann erforscht Biokunststoffe, die geschäumt in Lebensmittelverpackungen oder zur Wärmedämmung eingesetzt werden können.

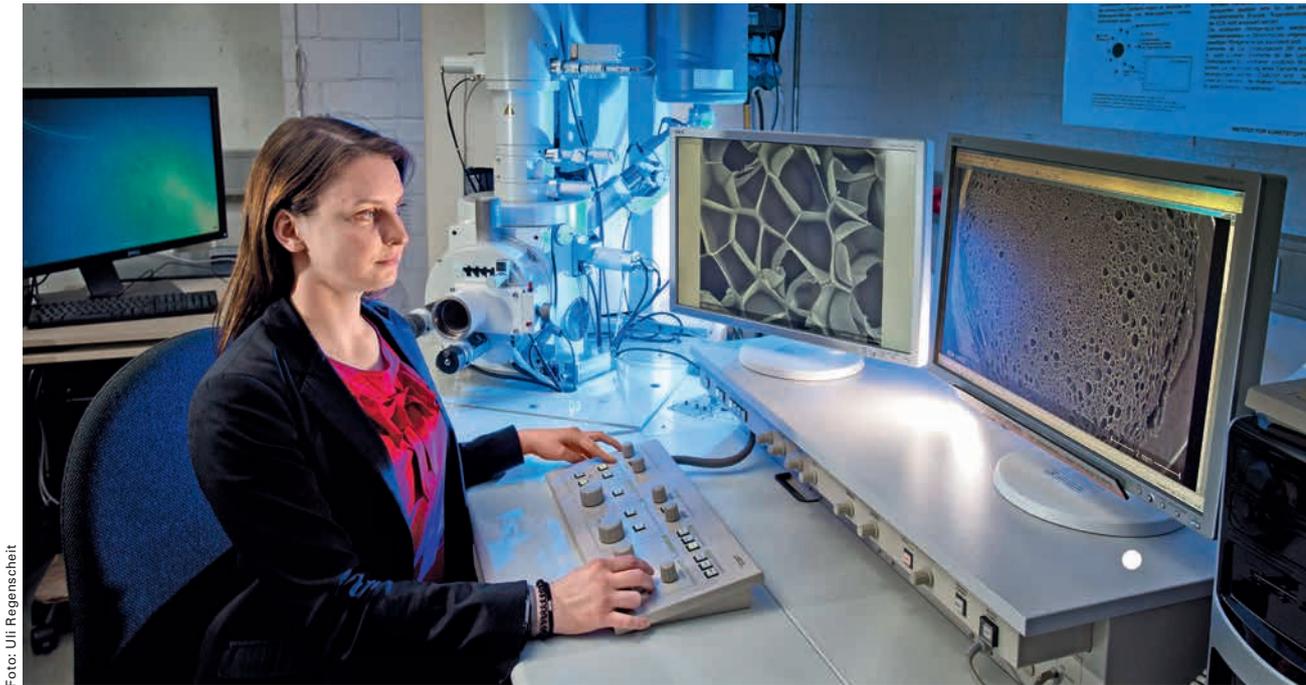


Foto: Uli Regenscheit

auf 100 Kilometer zwischen 0,15 und 0,4 Liter Benzin weniger. Bei einer Fahrleistung von 150.000 Kilometern über die gesamte Lebensdauer hinweg sind das bis zu 60.000 Liter. „Man muss immer überlegen, wo Massen bewegt werden“, sagt Bonten. Überall dort könne man Energie sparen, indem man schwere Werkstoffe durch leichte Kunststoffe ersetze – wie bei dem oben erwähnten Seitenaufprallschutz.

Diese Betrachtung gilt auch für die Kraftwerke der Zukunft. Die regenerative Energieerzeugung benötigt zwingend Kunststoffe. „Die Flügel von Windkraftanlagen können in dieser Größe nicht mehr aus Metallen hergestellt werden, sie würden abreißen.“ Sie müssen leicht und zugleich fest sein und werden daher aus Faserkunststoff-Verbunden gefertigt. „Auch in neuen flexiblen Solarpaneelen sowie in Brennstoffzellen finden Kunststoffe Verwendung“, sagt der Forscher.

Nachwachsende Rohstoffe statt Erdöl

Mit ihrer Forschung leisten die Wissenschaftler am IKT auch einen Beitrag, um vom Erdöl als Ausgangsstoff der meisten Kunststoffe wegzukommen und damit auch diese Ressource zu schonen. „Die Energieerzeugung der Welt basiert auf fos-

silen Rohstoffen wie Erdöl, Erdgas und Kohle“, so Bonten, „Nur 2,6 Prozent des in Deutschland verbrauchten Rohöls werden zu Kunststoffen verarbeitet. Ganze 70 Prozent aber werden in Form von Heizöl, Diesel und Benzenen relativ rasch nach der Förderung verbrannt. Leider können wir also mit Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen den Ölverbrauch der Welt kaum mindern. Wir können jedoch die Kunststoffbranche unabhängig machen und für die Zukunft nach dem Öl wappnen.“

Erfolge können die Wissenschaftler, die Grundlagenforschung und zusätzlich industrielle Auftragsentwicklung betreiben, beispielsweise bei dem Biokunststoff Polylactid (PLA) vorweisen, welcher aus Milchsäure entsteht. „Er eignet sich gut, um Tragetaschen zu blasen. Aber PLA galt bislang als nicht schäumbar“, erklärt Bonten. Jetzt hat die Chemikerin Svenja Göttermann den Biokunststoff so verändert, dass er geschäumt in Lebensmittelverpackungen und in der Wärmedämmung eingesetzt werden kann. In einem anderen Projekt forscht die Ingenieurin Linda Goebel an Biokunststoffen in 3D-Druckern, um diese Entwicklern zur Verfügung zu stellen, die mit 3D-Druckern arbeiten.

„Biokunststoffe sollen aber nicht dazu verleiten, Verpackungsmüll einfach in die Umwelt zu entsorgen,

das wäre der falsche Weg“, warnt Bonten. Insbesondere in Deutschland, Österreich und der Schweiz besteht nach Überzeugung des Wissenschaftlers ohnehin kein Grund, Kunststoffe derart negativ zu bewerten: „98,6 Prozent des Kunststoffes werden nach seiner Nutzung erfasst und verwertet.“ Knapp die Hälfte davon wird recycelt. Die andere Hälfte lässt sich nicht mehr sortenrein trennen, ist zu stark verschmutzt oder dient der Energie- und Wärmege-
winnung. An Möglichkeiten, die Recycling-Quote zu erhöhen, forschen die IKT-Mitarbeiter ebenfalls intensiv. Etwa daran, wie man gebrauchte, mit Kohlenstofffasern versetzte Kunststoffe für das Spritzgießen wiederverwenden kann. Und was den Müll in

den Weltmeeren angeht, berichtet der Forscher von den Untersuchungsergebnissen, von denen er auf einer UN-Konferenz in Afrika im vergangenen Jahr erfuhr, auf der er einen Vortrag über Biokunststoffe hielt: Der Plastikmüll, den man an Afrikas Küsten fand, war durchweg mit asiatischen Schriftzeichen bedruckt. „Kunststoff ist ja nicht selbst ‚böse‘, sondern der Mensch, der ihn hat fallen lassen“, sagt Bonten, „jedes Stück Abfall hatte einen Besitzer.“ Doch bis alle Länder Kunststoff in ähnlicher Weise als Wert- und Ressourcen-Schonstoff erkennen wie Deutschland, Österreich und die Schweiz, sei es noch ein weiter Weg.

Daniel Völpel

Agosi

Glänzende Aussichten im internationalen Umfeld

Agosi: Ein modernes Unternehmen für die Edelmetallbranche am Standort Pforzheim.

Agosi als attraktiver Arbeitgeber: Interessante Karrierechancen mit internationaler Projektarbeit bieten wir u. a. im chemischen Bereich wie Engineering, Edelmetallanalytik, Fertigungstechnologie und Qualitätsmanagement.

Agosi im Speziellen: Wir gewinnen Edelmetalle aus Scheidgut und stellen Produkte aus Gold, Silber und Platin her.

Agosi, ein internationaler Partner: Agosi ist ein weltweit tätiges Unternehmen innerhalb des Umicore Konzerns mit Standorten u. a. in Kanada, Thailand, Brasilien, Niederlande und Österreich.

Weitere Infos erhalten Sie im Internet unter www.agosi.de oder gerne auch in einem persönlichen Gespräch.



Allgemeine Gold- und Silberscheideanstalt AG
Kanzlerstraße 17 | 75175 Pforzheim | Germany
Phone +49 7231 960-0 | Fax +49 7231 68740
info@agosi.de | www.agosi.de
Part of the Umicore Group

Die Suche nach den Einsparpotenzialen Energiemanagement in der Industrie

Fast 30 Prozent der verbrauchten Endenergie in Deutschland gehen laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auf das Konto der Industrie. Dieser Wert ist zwar im Langzeitvergleich leicht gesunken, aber um die ambitionierten Energieziele Deutschlands und der EU zu erreichen, genügt das noch nicht. An der Universität Stuttgart werden daher die Potenziale durch Einsparungen und Flexibilisierungen für konkrete Branchen und Anwendungen genauer erforscht. Zwei Beispiele.

Was nützt und was letztlich wenig bringt, ist im Energiemanagement häufig erst nach einer genauen Analyse abschätzbar. Deshalb befasst sich die Forschung sehr intensiv mit solchen Fragen. Einer dieser Wissenschaftler ist Martin Steuerer, der als Mitglied der Graduierten- und Forschungsschule „Effiziente Energienutzung“ (GREET) am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieversorgung (IER) der Universität Stuttgart promoviert. Wenn Steuerer von weiterem Optimierungspotenzial in der Industrie spricht, dann ist sein Ausgangspunkt die Problematik vieler erneuerbaren Energien: Windkraft, Fotovoltaik und Laufwasser-Kraftwerke erzeugen nicht immer dann die maximal mögliche Energie, wenn diese auch gebraucht wird, sondern dann, wenn die Witterungsverhältnisse entsprechend sind. „Deshalb muss die Energiebereitstellung heute sehr viel stärker gemanagt werden als früher“, sagt Steuerer. „Mit einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien gewinnt diese Aufgabe an Dringlichkeit.“ Das ist sozusagen die Sicht des gesamten Energiesystems. Man kann es aber auch anders betrachten: Es gibt Tages- und Jahreszeiten, in denen Energie deutlich billiger verfügbar ist als zu anderen Zeiten, weil die Erzeuger sie loswerden müssen. „Davon können produzierende Unternehmen profitieren“, sagt der

Diplom-Ingenieur der Umweltschutztechnik. Das wäre dann die Sicht der Wirtschaft. Gerade in energieintensiven Branchen wie Gießereien, Stahl-, Aluminium-, Glas-, Zement- oder Papierfabriken lassen sich solche finanziell günstigen Zeitfenster zum eigenen Vorteil – und letztlich auch zum Vorteil des Gesamtsystems und damit der Gesellschaft – ausnutzen. Bezogen auf die Spitzenlastnachfrage in Deutschland, die bei 80 Gigawatt elektrischer Leistung liegt, haben verschiedene Studien gezeigt, dass eine Flexibilisierung auf Verbraucherseite einen Spielraum in der Größenordnung von 5 bis 15 Gigawatt bietet. Im Fachjargon ist bei dieser Flexibilisierung von „Demand Side Integration“ die Rede: Die Unternehmen steuern ihre Produktion so, dass sie möglichst viel der billigen Energie abnehmen oder bei einer allgemeinen Nachfragespitze Teile der eigenen Produktion vorübergehend vom Netz nehmen können. „Allerdings haben bislang die meisten Studien dieses Potenzial nur auf einer abstrakten Ebene untersucht“, weiß Steuerer. Ausnahmen gebe es lediglich bei der Aluminium-, Chlor- und Stahlerzeugung, weil dort die Zahl der deutschen Standorte überschaubar sei.

Die bislang detaillierteste Analyse ihrer Art

Daher haben Steuerer und seine Kollegen nun die mögliche Flexibilisierung der Verbraucherseite für mehr als 200 Industriestandorte in der Bundesrepublik detailliert untersucht – und nicht nur das technisch Mögliche, sondern auch das finanziell und organisatorisch Machbare hinterfragt. Mit im Boot bei der Studie war die Stadtwerke-Kooperation Trianel mit Sitz in Aachen. „Die Rückmeldungen der Befragten fielen sehr heterogen aus“, so Steuerer. „Einerseits lag das daran, dass manche Unternehmen in punkto Demand Side Integration schon recht weit sind“ – etwa in der Papierindustrie. „Andererseits waren die Themen Energieeffizienz und Energiema-



Foto: Fotolia

Würden energieintensive Branchen wie die Stahlindustrie verstärkt dann produzieren, wenn viel Strom aus erneuerbaren Quellen auf dem Markt verfügbar ist, käme dies der Energiewende ebenso zugute wie den Firmenbilanzen.

nagement auch unterschiedlich stark in den Köpfen verankert.“ Das Fazit der IER-Studie fiel jedenfalls eindeutig aus: An 70 Prozent der deutschen Industriestandorte bleiben die enormen Potenziale der Laststeuerung bislang ungenutzt. Das Stuttgarter Team hält diese Abschätzung sogar für eher konservativ, weil sich die befragten Betriebsleiter in der Sache mehrheitlich sicher relativ vorsichtig geäußert hätten.

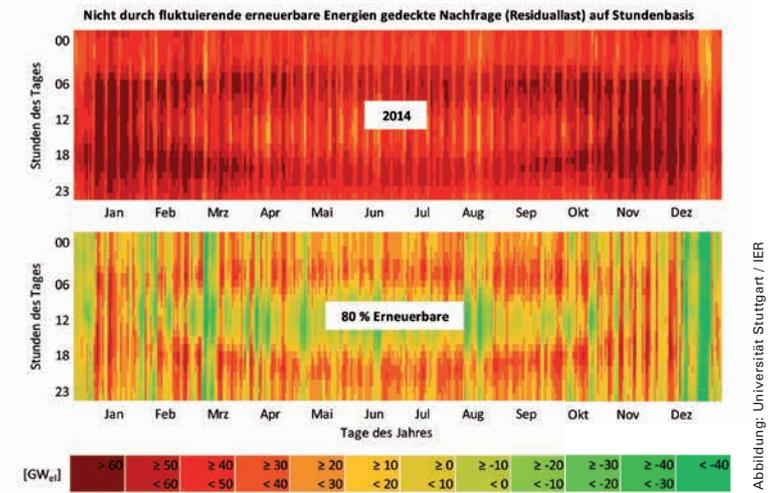
Wie eine Laststeuerung konkret aussehen kann, lässt sich am Beispiel der Behälterglasfertigung verdeutlichen. Glas wird aus einer Schmelze erzeugt, die weit über 1.000 °C heiß ist. Hierfür muss der Hersteller entsprechende Wannen erwärmen. „Gewöhnlich nutzen die Unternehmen Öl und Gas als Energieträger, da sie billiger sind als Strom“, erklärt Steuerer. „Aber für manche Prozessschritte eignet sich aus Gründen der Qualität eine Stromheizung besser, sodass diese als Zusatzheizung eingesetzt wird.“ Die richtige Balance zwischen den Energiearten zu finden, hängt also von mehreren Faktoren ab. Und die Nutzung billigen Stroms könnte für die Werke so interessant sein, dass dann in solchen Zeiten mehr Strom als Öl oder Gas eingesetzt wird. Ein anderes Beispiel zur Demand Side Integration liefert die Papierherstellung. Dort zerlegen sogenannte Schleifer

das Holz in feine Fasern, was ebenfalls ein stromintensiver Prozess ist. „Da die Fasern aber in Silos zwischengelagert werden und die Schleifer nicht rund um die Uhr laufen, lassen sich diese Maschinen zu den Zeiten betreiben, in denen die Energie günstiger zu haben ist“, verdeutlicht Steuerer. Das werde in der Branche bereits so gehandhabt.

Technisch wäre das Potenzial sofort ausschöpfbar

„Wohlbemerkt haben wir bei unserer Untersuchung nicht das Potenzial untersucht, das mit künftigen Entwicklungen möglich wird, sondern was mit Technologien geht, die heute schon vorhanden sind“, betont der Wissenschaftler. Die produzierende Industrie verfüge bereits über eine gute Infrastruktur für das Energiemanagement und habe die erforderliche Ausstattung an Steuerungstechnik. Die reinen Erschließungskosten seien also gering. „Daher geht es bei einer Ausweitung der Demand Side Integration in den Unternehmen eher um wirtschaftliche und organisatorische Fragen“, so Steuerer. Laut der Studie hat die Papierindustrie das höchste Potenzial zur Flexibilisierung ihres Energieverbrauchs. Danach folgen Zementmühlen, Elektrolyse- und Lichtbogenprozesse in der Metallerzeugung sowie Indukti-

Noch decken erneuerbare Energien den Strombedarf nicht rund um die Uhr, doch künftig gibt es zunehmend auch Überschüsse. Daher wird intelligentes Strommanagement immer wichtiger.



onsöfen in Gießereien. Regional betrachtet gibt es das größte Potenzial natürlich in den Bundesländern mit den meisten Industriestandorten: also in Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg. Aber: niedrige Energiepreise bremsen die Demand Side Integration zumindest kurzfristig aus.

Doch das Thema Energiemanagement in produzierenden Unternehmen ist ein vielfältiges. Man kann sich ihm nicht nur über die Demand Side Integration nähern. So haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Stuttgart und der TU Darmstadt gemeinsam untersucht, wie sich durch Automatisierung in der Fertigung Energieverbrauch und -effizienz weiter verbessern lassen. Das auf sechs Jahre angelegte, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Projekt endete im Herbst 2015 und trug den Titel „Ecomation“. Beteiligt waren seitens der Universität Stuttgart die Institute für Werkzeugmaschinen (IfW), für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) sowie für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF). „Die Unternehmen greifen das Thema Energieeffizienz bislang eher mit isolierten Optimierungen an Maschinen auf; sie haben also nicht die gesamte Fertigung im Blick“, erklärt Diplom-Wirtschaftsingenieurin Sylvia Wahren, die in der Forschungsgruppe mitgearbeitet hat. Dabei ist eine Fertigung eine komplexe Sache: Es gibt die Werkzeugmaschinen sowie deren Komponenten, es gibt die Produktionsperipherie – Anlagen wie Kühl- und Schmiermittelaufbereitung, Druckluftbereitstellung und Beleuchtung – und es gibt die Ebenen der Maschinen-, Produktions- und Fabriksteuerung.

„Wenn zum Beispiel eine Werkzeugmaschine oder ihr Bediener wüsste, dass aufgrund der Produktionsplanung die nächste Bauteilfertigung erst in einer Stunde stattfindet, ließe sich die Maschine in einen Energiesparmodus versetzen“, illustriert Wahren die Möglichkeiten an einem einfachen Beispiel. Bezogen auf die Lebenszykluskosten von Werkzeugmaschinen können knapp 20 Prozent auf die Energiekosten entfallen. So können spanende Werkzeugmaschinen, wie sie etwa zum Drehen oder Fräsen verwendet werden, einen Jahresenergieverbrauch von bis zu 150.000 Kilowattstunden haben.

Selbstverständlich gebe es bereits Steuerungen bei einzelnen Maschinen, die bei längeren Phasen des Leerlaufs automatisch in einen Schlafmodus wechselten, aber eine Steuerung gekoppelter Systeme in Abhängigkeit von der Maschinenbelegung sei bislang nicht käuflich zu erwerben. Bei solchen Szenarien setzte Ecomation an. „Natürlich sind die wichtigsten Kriterien einer Fertigung die gleichmäßige Auslastung der Maschinen, die Termintreue, die Qualität und die Kostendeckung“, betont Wahren. „Vor diesem Hintergrund ist klar, dass ein Energiemanagement sich darauf nicht nachteilig auswirken darf.“

Alle Ebenen einer Fertigung in die Betrachtung miteinbezogen

Die Ecomation-Projektpartner haben zunächst den Energieverbrauch auf der Ebene von Komponenten, Maschinen, Prozessen und des gesamten Unternehmens erfasst. Bei typischen Maschinen und Komponenten geschah dies experimentell in

Abhängigkeit von verschiedenen Nutzungsarten. Anschließend ging es um die Frage, inwieweit sich der Energieverbrauch bei variierender Nutzung einer Maschine vorhersagen lässt und inwiefern er durch Stand-by-Phasen steuerbar ist. Dies geschah sowohl über maschinennahe als auch über maschinenferne Regelkreise. „Mit einer Simulation haben wir exemplarisch zwei parallele Prozessketten untersucht, die jeweils aus mehreren Dreh- und Fräsmaschinen inklusive deren Peripherietechnik bestanden“, erläutert die Wirtschaftsingenieurin.

Fertigungsprozesse wie in diesem Bearbeitungszentrum sind Teil der Produktionskette, die im Rahmen des Projekts Ecomation betrachtet werden.



Foto: Fraunhofer IPA

„Ecomation war Grundlagenforschung“, stellt die Wissenschaftlerin klar. Die Ergebnisse lassen sich daher nicht einfach eins zu eins in die betriebliche Praxis übertragen. „Nach allem, was wir inzwi-

schen wissen, beträgt zum Beispiel das isolierte Energieeinsparpotenzial auf der Ebene der Produktionssteuerungssysteme bis zu 15 Prozent, auf der Ebene der Maschinensteuerungen bis zu fünf Prozent“, sagt die Wissenschaftlerin. „In einem vernetzten, automatisierten Gesamtszenario können diese Effekte aber einander zuwiderlaufen, so dass sich mit einiger Sicherheit sagen lässt, dass das Optimierungspotenzial für die Fertigungsindustrie in der Gesamtbetrachtung häufig im einstelligen Prozentbereich verbleiben dürfte.“ Das macht die Umsetzung nicht einfacher, wenn ein Unternehmen energieeffizienter werden will, aber die Einmaleffekte – etwa durch gut gewartete Druckluftsysteme – bereits ausgeschöpft hat.

Sparen mit Hindernissen

Es ist vielmehr ein bisschen wie bei der Debatte um das Einsparpotenzial von elektrischen Geräten im Stand-by-Modus, die vor einigen Jahren hohe Wogen geschlagen hat: Würden sie in jedem Haushalt bei Nichtnutzung konsequent durch eine schaltbare Steckerleiste vom Stromnetz getrennt, ließe sich viel einsparen. In der Summe kommt da in Deutschland oder gar weltweit pro Jahr eine gewaltige Energiemenge zusammen. Aber der Effekt für den Einzelnen bleibt – gerade in finanzieller Hinsicht – überschaubar, weshalb viele Geräte weiterhin im Stand-by-Modus vor sich hindämmern. Im übertragenen Sinne könnte das bei der energetischen Optimierung einer Fertigung ähnlich laufen.

Um das Potenzial für produzierende Unternehmen zu vergrößern, will das Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart nun auf den Ergebnissen von Ecomation aufbauen und im Rahmen eines erweiterten Konzepts untersuchen, wie sich die Wechselwirkungen mit der Gebäudetechnik und ein flexibleres Energieangebot besser einbinden lassen.

Michael Vogel

Effizienz im Verborgenen Dichtungen sind mehr als ein Stück Gummi

In der Technik hängt die ökonomische und ökologische Effizienz oft an kleinen Dingen. Ein Beispiel sind Dichtungen. Das Institut für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart arbeitet an Dichtungstechnologien von morgen.

Sie sind allgegenwärtig, aber oft unsichtbar in Bauteilen versteckt: Dichtungen. Egal ob Bierflasche, Wasserhahn oder Auto – solange die Dichtung unversehrt ist, schmeckt das Bier nach dem Öffnen frisch, der Wasserhahn tropft nicht und das Auto verliert kein Öl. „Dichtungen bemerkt man im Alltag daher erst, wenn sie – teils mit fatalen Folgen – negativ in Erscheinung treten“, sagt Prof. Werner Haas. Der promovierte Maschinenbau-Ingenieur nennt zwei prominente Beispiele: die Explosion der US-Raumfähre „Challenger“ im Jahr 1986 und die Explosion auf der Ölbohrplattform „Deepwater Horizon“ 2010 im Golf von Mexiko. Bei der Challenger hatte ein O-Ring, also eine Dichtung, ihre Elastizität aufgrund der am Starttag herrschenden niedrigen Temperaturen verloren. Bei der Deepwater Horizon wiederum arbeitete der Blowout-Preventer – ein 15 Meter langes und 450 Tonnen schweres Bauteil, das im Notfall das unkontrollierte Ausströmen von Öl und Gas unterbinden soll – nicht ordnungsgemäß.

Schuld war unter anderem eine beschädigte Dichtung. Doch Dichtungen können nicht nur sicherheitsrelevant sein, sondern spielen auch eine wichtige Rolle für den möglichst ökonomischen und ökologischen Betrieb von Maschinen.

„Ihre Aufgabe besteht gerade bei beweglichen Teilen oft darin, ein Schmiermittel in einem bestimmten Areal zu halten, damit die Reibung gering ist und kein – häufig umweltbelastendes – Öl austreten kann“, erklärt Haas. Im Idealfall nützt eine Dichtung, ohne zu stören. Zum Beispiel die Kurbelwelle im Auto: Sie hat mehrere Zentimeter Durchmesser und rotiert mit einigen tausend Umdrehungen pro Minute. Auf ihr sitzt eine Dichtung, die Kontakt zur Oberfläche der Welle hat. An der Kontaktstelle entsteht Reibung. „Im Verlauf von 75 Jahren konnten Wissenschaft und Industrie die dabei nutzlos verschenkte Reibleistung um den Faktor 100 verringern“, sagt Haas. „Gerade den letzten Schritt, der nochmals eine Verbesserung um den Faktor zwölf brachte, haben wir mit unserer Forschung am IMA intensiv begleitet.“

Einsparpotential: 440.000 Tonnen CO₂

Solche modernen Dichtungen, die im Lauf der nächsten zwei Jahre an den Kurbelwellen von Serienfahrzeugen Verwendung finden werden, bestehen im Prinzip aus zwei Ringen, von denen einer mit der Kurbelwelle und der andere mit dem Kurbelgehäuse verbunden ist. In der Oberfläche des einen Rings sind wenige Mikrometer tiefe Nuten eingearbeitet. Fängt die Kurbelwelle an, sich zu drehen, pumpt der sich mitdrehende Ring Luft zwischen die beiden Ringe, die nicht entweichen kann. Dadurch bildet sich ein Luftpolster aus, das einerseits die beiden Ringe auf Distanz hält, so dass die Reibung gering bleibt, und andererseits dafür sorgt, dass kein Schmiermittel austritt. Ein Hersteller solcher gasgeschmierten Gleitringdichtungen wirbt damit, dass sich in Deutschland jährlich 440.000 Tonnen CO₂ einsparen ließen, wenn alle Pkw mit der neuen Technologie ausgestattet wären.

„Bei anderen Dichtungstechnologien wiederum geht es um exzellente Dichtheit bei gleichzeitiger Verschleißfreiheit“, sagt Haas. Denn es gibt immer

Moderne Gleitringdichtung, wie sie künftig an Kurbelwellen von Fahrzeugen zum Einsatz kommen soll.

Prof. Uli Ragnerscheit



Prof. Werner Haas an einem der Dichtungs-Prüfstände am Institut für Maschinenelemente.

Foto: Uli Regenscheit

wieder Anwendungen, in denen sich Dichtungen kaum nachträglich auswechseln lassen oder in denen der Betreiber einen geringen Wartungsaufwand fordert. Das geht nur mit Dichtungen, die sowohl im Stillstand als auch bei Bewegung berührungsfrei bleiben. So genannte Fangrinnenlabyrinth sind ein Beispiel dafür. In ihnen sind die Bereiche, wo Wasserspritzer eindringen könnten, so gekonnt ineinander „verschlungen“ ausgeführt, dass die Feuchtigkeit keine Chance hat. Verwendung finden solche Dichtsysteme zum Beispiel bei den Getrieben von Schienenfahrzeugen und -motoren, um möglichst lange Wartungsintervalle zu ermöglichen. Oder in den Spindeln von Werkzeugmaschinen, weil diese sonst leicht verschmutzen und sich durch die schnelle Rotation erwärmen würden. Auch die Rotoren moderner Windräder profitieren von der Technologie, weil etwa bei Anlagen auf hoher See nachträglich keine Dichtungen gewechselt werden sollen. Es wäre zu teuer und zu aufwändig.

Weltweit einmalige Forschungstiefe

Das für den Bereich „Dichtungstechnik“ zuständige 15-köpfige Team am IMA forscht unter der Leitung von Haas zu allen Fragen des vielschichtigen Themas. „In Deutschland gibt es drei weitere akademi-

sche Forschungsinstitute in diesem Feld, aber nur wir decken sämtliche Themen ab, egal ob es um Dichtsysteme für Pneumatik, Hydraulik oder drehende Teile geht. Das ist weltweit ziemlich einmalig.“ Zur Ausstattung des IMA gehören auch Prüfstände, die die Industrie als Dienstleistung nutzen kann. Das IMA-Team forscht sowohl an der Verträglichkeit von Dichtungsmaterialien und Schmiermitteln als auch an der Wechselwirkung zwischen Dichtung und Gegenfläche.

Die Tücke steckt da oft im Detail, wie Haas an einem Beispiel erläutert. Sitzt eine Dichtung auf einer rotierenden Welle, so kommt es durch die Rotation der Welle zu geringen Druckunterschieden im System aus Dichtung und Welle. Das ist im Prinzip erwünscht, aber netto darf das System natürlich nicht den Schmierfilm nach außen befördern. „Genau das passiert aber, wenn die Oberfläche der Welle nicht die optimale Kontur in ihrer Rauigkeit hat“, sagt Haas. Schuld sind die Toleranzen der Verfahren, mit denen Wellen bei der Fertigung bearbeitet werden. „Bis heute gibt es kein zuverlässiges und bedienerfreundliches Messverfahren, um eine entsprechende Qualitätssicherung zu etablieren“, so Haas. „Das wollen wir ändern.“

Michael Vogel

Auf dem Weg zur Alltagstauglichkeit Wie die Elektromobilität vorankommt

Seit Januar 2016 löst die Stadt Stuttgart regelmäßig Feinstaubalarm aus und empfiehlt unter anderem, auf ein Elektroauto umzusteigen. Doch nur die wenigsten Menschen besitzen eines. Damit sich das ändert, haben Bund, Länder und Städte Projekte initiiert, in denen Elektromobilität im Alltag getestet wird. Die Universität Stuttgart beteiligt sich an einigen und erforscht darüber hinaus, wie elektrische Fahrzeuge energieeffizienter und das Laden der Batterie komfortabler wird.

Nach dem Willen der Bundesregierung sollen bis 2020 eine Million Elektroautos auf deutschen Straßen fahren. Doch laut Kraftfahrtbundesamt waren zum 1. Januar 2016 lediglich 25.502 rein elektrisch betriebene und 130.365 Hybrid-Pkw in Deutschland zugelassen. Auf jeden reinen „Stromer“ kamen 1.767 herkömmliche Autos mit Verbrennungsmotor, die als Hauptverursacher für Feinstaub und Stickstoffdioxid gelten. „Stuttgart gehört in Deutschland mit zu den Spitzenreitern bei den Emissionen. Wir müssen uns darüber Gedanken machen“, sagt Dr. Rüdiger Goldschmidt vom Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung der Universität Stuttgart (ZIRIUS). Zumal sich die Schadstoffe in der Landeshauptstadt wegen der Kessellage bei ungünstiger Wetterlage konzentrieren. Gerade weil Elektroautos lokal keine Emissionen ausstoßen und fast geräuschlos daherkommen, scheinen sie das ideale Auto für die Stadt zu sein. Bei Taxen mit ihrer hohen jährlichen Fahrleistung könnte sich der Umstieg auf Elektroautos besonders lohnen. Doch können Elektrotaxen sich gegen herkömmliche Taxen behaupten? Das wollten Forscher in einem der 34 Gemeinschaftsprojekte im baden-württembergischen „Schaufenster Elektromobilität“ wissen. Goldschmidt hat das Projekt koordiniert, in dem fünf Elektrotaxen der Marke

Mercedes (B-Klasse und ein Vito) im Stuttgarter Alltag erforscht wurden. Taxikunden konnten sie zwischen September 2014 und Dezember 2015 über die Taxiautozentrale anfordern.

„E-Taxis müssen rentabel sein“

„Die Beschleunigung der Elektrotaxen und dass nur das Rollgeräusch der Reifen zu hören war, hat die Taxifahrer begeistert“, erzählt Goldschmidt, der die Akzeptanz unter Fahrgästen, Taxifahrern und Unternehmern analysierte. Allerdings mussten sich die vier teilnehmenden Taxiunternehmer darauf einstellen, dass sie im Alltag mit den eingesetzten Vorserienfahrzeugen bei voller Batterie höchstens 120 Kilometer weit kamen und bis zu sechs Stunden brauchten, bis eine leere Batterie wieder vollgeladen war. „Unternehmer mit mehreren Fahrzeugen und Fahrern, die mit einem Taxi bis zu 500 Kilometer pro Schicht fahren wollen, stoßen häufig noch auf technische Grenzen“, sagt der Soziologe. Unternehmer, die eher Kurzfahrten unternehmen, kämen mit 150 Kilometern aus.

„Die Taxiunternehmer in dem Projekt sind sich der Abgasproblematik in Stuttgart und ihrer Verantwortung bewusst. Sie setzten sich engagiert dafür ein, dass sich die Situation verbessert. Aber es ist immer noch ein Geschäft, das rentabel sein muss“, erklärt Goldschmidt. „Ein großer Anteil von Betrieben wird Elektrotaxen wirtschaftlich nutzen können“, ist der ZIRIUS-Mitarbeiter überzeugt. „Um Elektrotaxen in Städten und Regionen zu etablieren, müssen aber alle an einen Tisch und gemeinsam Lösungen finden: Kommunen, Hersteller von Elektrofahrzeugen, Stromversorger und Verkehrsunternehmen.“

Doch Elektromobilität ist nicht nur in der Stadt ein Thema. In ländlichen Regionen, wo der nächste Supermarkt oder die Arztpraxis in der Regel weiter weg sind und öffentliche Busse nur selten fahren, sind viele Menschen auf ein Auto angewiesen. In dem 7.000-Einwohner-Städtchen Boxberg fährt



der Bus beispielsweise nur vereinzelt morgens, zur Mittags- und Feierabendzeit, aber am Wochenende oft gar nicht. Um die Lücken zu schließen und gleichzeitig auch auf dem Land die Emissionen zu senken, betreibt ein Bürgerverein seit April 2014 einen ehrenamtlichen Elektro-Fahrdienst. Das Projekt ist eines von 20 Siegerprojekten aus dem landesweiten Ideenwettbewerb „Elektromobilität Ländlicher Raum“. In der Kategorie „Mensch und Umwelt“ des Landes-Ehrenamts Wettbewerbs „ECHT GUT“ errang es den 1. Platz.

Tür zu Tür-Service auf dem Land

„Die Bürger rufen eine Hotline im Rathaus an. Dort nimmt eine Person die Fahrtwünsche für den kommenden Tag entgegen und plant die Route, die das Elektroauto, ein weißer Renault Kangoo Typ maxi ZE, nimmt“, sagt Benedikt Krams. Der Fahrer fährt dann die Fahrgäste montags bis freitags zwischen 8 und 18 Uhr von Tür zu Tür. Unter Leitung von Prof. Georg Herzwurm und Prof. Ullrich Martin haben Krams vom Betriebswirtschaftlichen Institut/Abteilung VIII und David Camacho vom Institut für Eisenbahn und Verkehrswesen die Stadt von Anfang an beraten und das Vorhaben bis Ende 2015 wissenschaftlich begleitet. Fragen, die sich

auch hier stellen: Reicht die Batteriekapazität des Großraum-Pkw, um einen verlässlichen Fahrdienst anbieten zu können? Und wie sollen die Tagesrouten geplant werden, wenn die Reichweitenangaben der Hersteller nicht verlässlich und die prognostizierte Reichweite des Fahrzeugs ungenau sind, wie sechs von 15 befragten Fahrern angaben? Durchschnittlich 75 Kilometer legte das Elektroauto jeden Tag zurück. „Durch das Projekt haben wir herausgefunden, wie die tatsächliche Reichweite des Fahrzeugs ist“, erzählt Krams. So war der Batterieverbrauch im Winter und bei Bergauf-Fahrten höher. „Ich kann zwar bergab einen Teil der Bremsenergie wieder in die Batterie einspeisen, aber der Anteil, den ich beim Hochfahren verbrauche, ist höher als der den ich bergab zurückgewinne.“ Manchmal sei es daher sinnvoller, Umwege zu fahren, um eine Steigung zu umgehen. Auch häufiges Beschleunigen auf gerader Strecke kostete fast doppelt so viel Energie wie ein defensiver Fahrstil.

„Meist konnten Fahrten mehrerer Personen gebündelt werden, so dass die Reichweite nicht so ein großes Problem war“, fasst der 35-Jährige zusammen. Mit einer Schnellladestation wäre sogar ein durchgängiger Service möglich – bis auf zwei jeweils halbstündige Pausen zum Zwischenladen, so Krams. Als

Stellplatz für die Schnellladestation würde sich ein Supermarkt anbieten. Dort müssen die Fahrer ohnehin oft warten bis die vorwiegend älteren Fahrgäste eingekauft haben. Derzeit legen die Fahrer eine zwei-stündige Mittagspause im Betriebshof ein, um die Batterie an herkömmlichen Ladesäulen nachzuladen.

Kaum Angebote für Elektro-Minibusse

In flächenmäßig kleineren, aber einwohnerstärkeren Kommunen als Boxberg fahren Ehrenamtliche auch Minibusse im Linienverkehr nach einem festen Fahrplan. In einem Pilotprojekt innerhalb des Schaufensters Elektromobilität testen die Forscher des Betriebswissenschaftlichen Instituts und des Instituts für Eisenbahn- und Verkehrswesen zusammen mit weiteren Partnern nun den ersten Bürgerbus mit elektrischem Antrieb im Linienverkehr. „Die Herausforderungen an das Elektrofahrzeug sind deutlich größer als beim Fahrdienst in Boxberg“, erklärt Krams. Als genehmigungspflichtiges Linienfahrzeug hat der Bürgerbus die Pflicht, die Strecke gemäß Fahrplan zu bedienen. „Wenn abends der letzte Umlauf nicht mehr bedient werden könnte, wäre das ein Problem“, ergänzt der Wirtschafts-

Der elektrisch betriebene Bürgerbus soll im ländlichen Raum die Lücken im öffentlichen Nahverkehr schließen.



Foto: Sabine Ackermann

wissenschaftler. Der elektrische Minibus für das Projekt sollte mit einer Batterieladung also möglichst weit kommen, trotz der Batteriegewichte aber maximal 3,5 Tonnen nicht überschreiten, damit Ehrenamtliche mit Führerscheinklasse B ihn fahren können. Außerdem sollte der Elektro-Bürgerbus, wie in Fahrzeugen im öffentlichen Nahverkehr üblich, barrierefrei sein. Die Stuttgarter Forscher suchten jedoch vergeblich nach einem solchen Elektrofahrzeug. Es blieb ihnen nichts anderes übrig, als einen herkömmlichen Minibus auf Elektroantrieb umrüsten zu lassen. Der neue Elektro-Bürgerbus soll nun in den ländlichen Kommunen Ebersbach an der Fils, Salach, UHINGEN und Wendlingen am Neckar den derzeit mit herkömmlichem Diesel-Verbrennungsmotor betriebenen Bürgerbus ersetzen. Die Forscher erhoffen sich von dem Projekt fundierte Zahlen, ob ein Elektro-Bürgerbus abhängig vom Höhenprofil, der Anzahl der Haltestellen oder dem Fahrgastaufkommen in einer Kommune sinnvoll betrieben werden kann und wie hoch öffentliche Zuschüsse für die Fahrzeugbeschaffung sein müssten. „Der öffentliche Nahverkehr ist ein Zuschussgeschäft, aber Bürgerbusse oder -autos sind auch eine soziale Maßnahme, damit mobilitätseingeschränkte und ältere Menschen wieder am Leben teilhaben können“, findet Krams.

Für Privatleute noch wenig attraktiv

Wolfgang Fischer von der Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie koordiniert die baden-württembergischen Schaufenster-Projekte. „Elektrofahrzeuge sind alltagstauglich, Haupthindernis ist zurzeit noch der hohe Anschaffungspreis“, stellt er fest. Bis Elektroautos für Privatleute interessant werden, wird es noch etwas dauern. Ein gutes Einsatzfeld für Elektrofahrzeuge sieht er allerdings bei Unternehmensflotten, Dienst- und Lieferfahrzeugen sowie im ÖPNV-Bereich. Wegen der hohen Auslastung der Fahrzeuge und der rela-

tiv geringen Betriebskosten von Elektrofahrzeugen amortisieren sich die hohen Anschaffungskosten eher. „Der erste Schritt zur Ankurbelung der Nachfrage wären finanzielle Anreize für Unternehmen, beispielsweise Sonderabschreibungsmöglichkeiten“, sagt Fischer. Positiver Nebeneffekt: Nach zwei bis

Mike Böttigheimer und Marcel Maier (v.l.), Doktoranden am IEW, positionieren eine Ladespule.



Foto: Max Kovalenko

drei Jahren würden die elektrisch angetriebenen Flottenfahrzeuge auf den Gebrauchtwagen-Markt kommen und wären dann auch für Privatleute erschwinglicher. Das Teuerste an den Elektrofahrzeugen ist zurzeit noch die Batterie. Hans-Christian Reuss vom Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) ist überzeugt, dass Elektro-

autos irgendwann genau so viel kosten werden wie herkömmliche Autos: Die Batterien werden immer preiswerter und auch ihre Energiedichte und somit die Reichweite der Fahrzeuge steigt. Werden die Elektrofahrzeuge in größerer Stückzahl gebaut, könnten sie noch einmal günstiger werden, so Reuss. Bis dahin tüfteln die Forscher auch daran, wie die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge so optimiert werden können, dass sie weniger Strom verbrauchen. Dann könnten die Stromer mit einer kleineren kostengünstigeren Batterie eine längere Strecke zurücklegen. „Wir haben beispielsweise zwei Elektroautos mit einer automatisierten Längsregelung ausgestattet, so dass die Autos automatisch Gas geben und bremsen“, erzählt Reuss. Wie ein vorausschauender Fahrer beschleunigt das Auto langsam, nimmt bei einem Hindernis rechtzeitig „den Fuß vom Gas“ und rekupeert bei der Bergab-Fahrt anstatt zu bremsen, ähnlich der herkömmlichen Motorbremse, um einen Teil der Bewegungsenergie in die Batterie zurückzuspeisen.

Berührungslos die Batterie aufladen

Nejila Parspour gehört zu den wenigen Privatpersonen, die bereits mit einem eigenen Elektroauto durch Stuttgart fahren. Einmal in der Woche hängt sie ihren BMW i3 über Nacht an die haushaltsübliche Steckdose in der heimischen Garage. Mit einer Batterieladung und einer Reichweite von etwa 130 Kilometern kommt sie gut durch die Woche. Ein Ausflug in das 53 Kilometer entfernte Heilbronn mit aktuell drei Normalladestationen endete jedoch äußerst knapp: „Ich habe vier Stunden dort verbracht, das Auto hätte ich in der Zeit etwas nachladen können, aber ich habe keine Ladestation gefunden“, erinnert sich Parspour.

Am Institut für Elektrische Energiewandlung hat sie mit ihrem Team ein kontaktloses Schnell-Ladesystem entwickelt, das eine Leistung von 22 Kilowatt induktiv überträgt. Parspours Auto mit einer Batteriekapazität von 21,6 Kilowattstunden wäre damit



Foto: Universität Stuttgart/IVK

3D-Anzeige der Position der Ladespule beim induktiven Laden (Empfängerspule rot, Ladespule blau).

bereits in einer Stunde aufgeladen. „Der wahre Vorteil des kabellosen Ladens ist, dass der Fahrer gar nichts machen muss: Er könnte überall nachladen, auf Parkplätzen, an der Ampel, während der Fahrt, und dadurch indirekt die Reichweite erhöhen“, erzählt die Ingenieurin. Dabei fließt Wechselstrom durch eine Primärspule im Parkplatzboden. Das entstehende elektromagnetische Feld erzeugt in einer Sekundärspule in der Mitte des Fahrzeugunterbodens eine Wechselspannung. Die Leistungselektronik im Fahrzeug wandelt sie in Gleichspannung um, mit der die Batterie aufgeladen wird.

Um einen hohen Wirkungsgrad von 94 Prozent zu erreichen, haben die Forschenden die normale Netzspannung mit einer Frequenz von 50 Hertz auf 85 Kilohertz erhöht. Gesundheitsgefahr für die Fahrzeuginsassen bestehe dadurch nicht, sagt Parspour: „Durch eine dünne Ferritschicht und eine Kupferplatte am Fahrzeugunterboden können wir das hohe Magnetfeld wunderbar abschirmen.“ Die Größe der beiden runden Spulen von derzeit 30 Zentimeter Radius haben die Wissenschaftler so gewählt, dass die Empfängerspule nicht zu schwer wird und in einen

Smart passt. Außerdem durfte die Streustrahlung des Magnetfeldes nicht zu groß werden, damit sie nicht Menschen neben dem Auto gefährdet.

Doch so wie Töpfe durch die induzierten Wirbelströme eines Induktionsherdes erhitzt werden, könnten auch Metallgegenstände heiß werden, die sich zufällig zwischen den Spulen befinden. „Wir haben das mit einer Wärmebildkamera an einem Prüfstand gemessen: Münzen und Schlüssel sind relativ ungefährlich, eine Stahlsäge wird etwa 60 Grad heiß. Da kann man sich schon mal verbrennen“, erklärt Doktorand Mike Böttigheimer. Er hat verschiedene Ansätze entwickelt, um anhand der magnetischen Flussdichte metallische Fremdkörper zu erkennen. Im Notfall müsste der Ladevorgang unterbrochen werden.

Navi für das berührungsfreie Laden

Damit der Strom möglichst verlustfrei über den 15 Zentimeter breiten Luftspalt von der Ladespule im Parkplatzboden zur Empfängerspule im Fahrzeug übertragen wird, sollte der Fahrer das Auto so parken, dass beide Spulen möglichst deckungsgleich

›› Together to the next level: Coperion ist weltweiter Markt- und Technologieführer für Compounding & Extrusion, Feeding, Materials Handling und Service. Wir bieten unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine Vielzahl von ausgezeichneten Karrierechancen in einem internationalen Arbeitsumfeld. Vertrauen entsteht durch Partnerschaft. Und fängt bei unseren Mitarbeitern an. Das ist es, was wir unter „confidence through partnership“ verstehen. ›› www.coperion.com



Starten Sie mit uns durch:
Karriere bei Coperion



coperion
confidence through partnership

übereinander liegen oder zumindest eine Versatztoleranz von 10 Zentimetern nicht überschreiten. Dafür hat Doktorand Dean Martinovic unter Leitung von Hans-Christian Reuss am IVK einen Parkassistenten entwickelt. Sobald sich der Doktorand mit dem umgebauten Smart einer Bodenspule auf 1,5 Meter nähert, zeigt ihm eine Art Navigationsgerät an, wie weit er noch von der Spulenmitte entfernt ist und in welche Richtung er fahren muss. Der zum Patent angemeldete Parkassistent erlaubt es Martinovic, die Spulen bis auf einen Zentimeter genau direkt übereinander zu platzieren. Noch ist ein Fahrer dafür nötig, irgendwann soll das Auto völlig autonom einparken. Möglich machen es zwei Sensoren am Fahrzeugunterboden, die die magnetische Flussdichte messen. Eine Software berechnet daraus den Abstand und den Winkel zum Zentrum der Bodenspule. Martinovic nutzt dafür erstmals ein gepulstes Magnetfeld niedriger Frequenz, das von der Bodenspule erzeugt wird. „Anders als bei dynamisch sich verändernden Wechselfeldern umgehe ich störende Wirbelströme, die dadurch im metallischen Unterboden induziert werden und bis-

her zu Messfehlern geführt haben“, erklärt Martinovic. Bei Kameras, die andere Forscher zur Positionierung erprobt haben, könnten hingegen Schnee oder Nebel die Sicht trüben. Und bei WLAN oder GPS könnten die Funkwellen an Gegenständen reflektiert werden und so die Positionsbestimmung ungenau machen.

„Das induktive Laden ist die kundenfreundlichste Form und Ladekabel sind wahrscheinlich nur eine Zwischenstufe. Aber für eine großflächige Einführung brauchen wir noch gemeinsame Standards, beispielsweise zur optimalen Spulengeometrie“, sagt Reuss. Insgesamt bescheinigt Wolfgang Fischer von der baden-württembergischen Agentur für Elektromobilität dem Land, im internationalen Vergleich bei der Elektromobilität im vorderen Mittelfeld zu sein: „Wir haben es bisher noch nicht geschafft, unsere Forschungsergebnisse direkt in Produkte umzusetzen. Da sind andere Regionen schneller“. Punkten kann das Land vor allem bei Elektromotoren, der Ladetechnologie und der Leistungselektronik.

Helmine Braitmaier

Effizienter Spaß

Carina Pötzsch kümmert sich um das Wasser- management im Europa-Park

Energie, Wasser, Fläche – der hohe Ressourcenverbrauch von Freizeitparks ist umstritten. Wegdiskutieren kann man ihn nicht, gegensteuern schon. Der Europa-Park, Deutschlands größter Freizeitpark, wurde für sein Engagement in Sachen Nachhaltigkeit im vergangenen Jahr als „Green Amusement Park“ zertifiziert. Für den sparsamen Umgang mit Wasser setzt die Inhabersfamilie Mack unter anderem auf eine Alumna der Universität Stuttgart.

33,2 Liter. So viel Wasser verbraucht ein Besucher im Europa-Park im Schnitt. Für den Nervenkitzel auf Wasserachterbahnen, Fjordrafting und Dampferfahrten, für beschauliche Wasserspiele im über 500 Jahre alten Schlosspark oder schlicht für den Toilettengang. Hotellerie und Schwimmbäder kommen noch obendrauf. 33,2 Liter sind nicht viel für einen Freizeitpark, der bundesweit zu den größten Anbietern von Wasserattraktionen zählt. Doch bei rund fünf Millionen Gästen jährlich summieren sie sich auf 166.000 Kubikmeter, damit lassen sich immerhin 66 Olympiabecken füllen.

Eigentlich ist Wasser reichlich vorhanden in der Rheinebene rund um Rust, wo der Europa-Park seinen Standort hat. „Wir sitzen auf einem riesigen Grundwasserreservoir, das über ein System von Tiefbrunnen erschlossen wird“, erklärt Carina Pötzsch. Die Absolventin des Studiengangs Umweltschutztechnik der Universität Stuttgart leitet seit September 2015 die Abteilung Wassermanagement im Europa-Park und ist nebenbei auch mit Fragen des Energiemanagements und der Abfallwirtschaft befasst. Die Stelle ist neu geschaffen und die zweite speziell für den Bereich Umweltschutz – ein Ausdruck dafür, dass die Inhabersfamilie Mack sich das Ziel gesetzt hat, ökologisch verantwortlich zu handeln.

Große und kleine Maßnahmen zählen

Denn trotz des scheinbaren Reichtums ist die Ressource Wasser ein heikles Gut, weiß die 28-Jährige: „Die Behörden sowie die Gemeinden im Umland achten sehr darauf, dass der Grundwasserspiegel nicht absinkt.“ Dies zu verhindern, ist das Ziel einer Vielzahl größerer und kleinerer Maßnahmen. So wurde durch eine zentrale Wasseraufbereitung der Grundwasserverbrauch für die Versorgung der künstlichen Seen und Wassergeschäfte um 50 Prozent gesenkt, und zudem erzeugt das parkeigene Wasserwerk pro Jahr auch noch eine Million Kilowattstunden umweltfreundlichen Strom. Brauchwasser wird konsequent gereinigt und in das System zurückgeführt.

Aber auch kleine Schritte sparen Wasser: So wird die Bewässerung der Bäume digital gesteuert, womit die Pflanzen noch gezielter gegossen werden können. In der Summe zeigen die Maßnahmen Erfolg: Bei den regelmäßigen Kontrollen der Brunnen wird berechnet, ob sich durch die Wasserentnahme ein sogenannter Absenktrichter ausbildet. „Die Auswirkungen sind marginal“, sagt Pötzsch.

Doch nicht nur die Wassermenge, auch die Qualität ist eine Herausforderung. Zwar muss nicht jedes Bassin Badewasserqualität haben, aber optisch einwandfrei und hygienisch muss es schon sein. „Der Besucher erwartet ein Frischeerlebnis und will keine grünen Seen“, erklärt Pötzsch. Algenbildung steht dem ebenso entgegen wie die hohen Eisen- und Manganwerte im Grundwasser der Rheinebene. Also muss gefiltert werden.

Arbeitsplatz in der „Unterwelt“

Der Arbeitsplatz von Carina Pötzsch ist denn auch nicht die Glitzerwelt des 94 Hektar großen Parkgeländes mit über 100 Attraktionen und Shows sowie 4.500 Hotelbetten. Ihr Reich liegt ziemlich unspektakulär eine Etage tiefer. In den Technikräumen im Untergeschoss stehen in Reih' und Glied mannshohe



Sparsamer Umgang,
hohe Qualität: Nach diesen
Prinzipien steuert Carina
Pöttsch das Wasser-Management
im Europa-Park.

Foto: Uli Piegenschiet

Filterbehälter, die mit mehreren Schichten Sand gefüllt sind. Sickert das Wasser durch den Sand, wird es biologisch gereinigt und kann in klarem Zustand wieder an die Umwelt zurückgeführt werden. Die Technik ist altbewährt, hat aber zwei Nachteile: Zum einen brauchen die tonnenförmigen Behälter viel Platz, und zum anderen kostet die Reinigung der Sandkuchen selbst viel Wasser.

In einer von Carina Pöttsch betreuten Versuchsanlage in einem der Hotels wird daher derzeit ein so genannter Anschwemfilter getestet. Bei dieser aus den USA stammenden, in Deutschland noch wenig gebräuchlichen Technologie wird das Brauchwasser mit Perlit versetzt, ein in der Natur vorkommendes Gestein auf der Basis von umgewandeltem vulkanischen Glas. Aus dem Perlit entsteht ein feiner Filterkuchen, der sich an Schläuchen ablagert und von Schwimmbadwasser durchflossen wird. Diese Filtertechnik schafft nicht nur eine höhere Reinigungswirkung, sie spart auch bis zu 70 Prozent Wasser sowie Platz und Strom.

Gigantischer Wasserpark

Bewährt sich die Technologie, soll sie in einem neuen Wasserpark zum Einsatz kommen. Auf einem Gelände zwischen Autobahn und Europa-Park

soll in mehreren Ausbaustufen eine Erlebniswelt entstehen mit Rutschen aller Art, Wellenbad, Surf-simulator, Lazy-River und anderen Highlights für Wasserratten. Dazu kommen ein Wellnessbereich und ein weiteres Hotel. Das Erweiterungsgebiet soll einmal 120 Hektar umfassen und damit doppelt so groß werden wie der Europa-Park. Schon in der ersten Ausbaustufe ab 2018 wird mit täglich 5.000 Besuchern gerechnet.

Das Projekt mit einer Investitionssumme in dreistelliger Millionenhöhe ist in der Bevölkerung nicht unumstritten, auch in wassertechnischer Hinsicht. Alleine der zusätzliche Trinkwasserbedarf wird auf 150.000 Kubikmeter geschätzt. Da werden selbst im wasserreichen Oberrheingraben Sorgen um das Grundwasser laut. Andere befürchten, dass die Leitungskapazitäten nicht ausreichen. In mehreren Bürgerforen konnten die Bedenken inzwischen ausgeräumt werden – auch, weil die Familie Mack einen eigenen Tiefbrunnen bohren und die Kosten für den Ausbau der Infrastruktur übernehmen wird. Doch die Herausforderung, sparsam mit dem Wasser umzugehen und das Brauchwasser so aufzubereiten, dass möglichst viel zurückgeführt werden kann, bleibe, sagt Carina Pöttsch. Die neuen Anschwemfilter sollen dazu einen wesentlichen Beitrag leisten.

Carina Pötzsch in einem der Technikräume des Europa-Park. Im Hintergrund Sand-Filterbehälter zur biologischen Wasser-Reinigung.

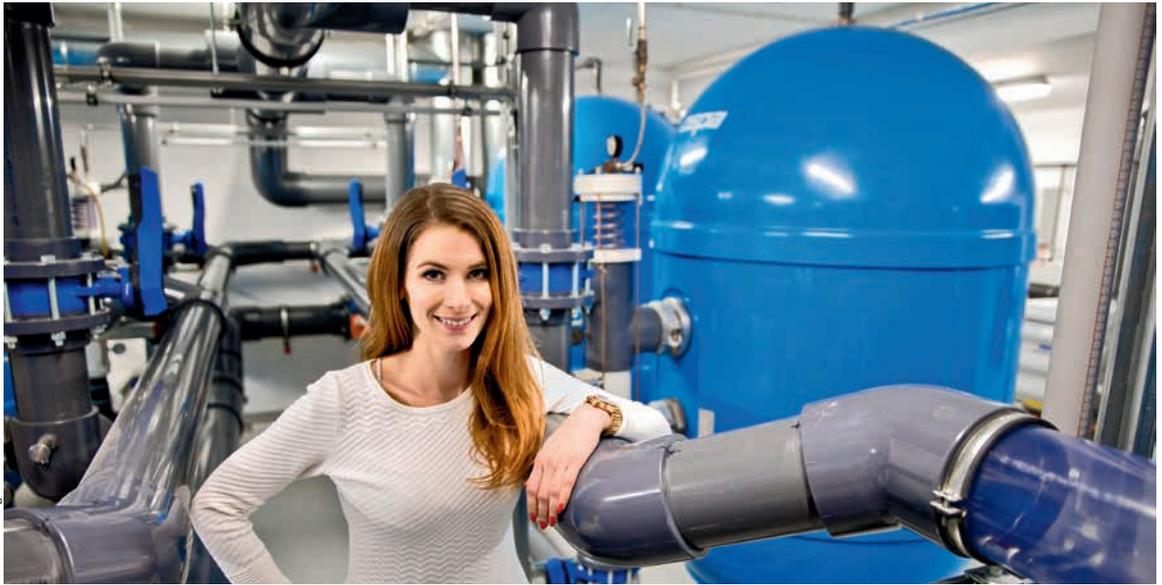


Foto: Uli Regenscheit

Den ersten Kontakt mit der neuen Wasser-Recycling-Technik hatte Pötzsch bereits während ihres Studiums der Umweltschutztechnik an der Universität Stuttgart. „Vor allem das Hauptstudium war sehr praxisnah, man bekam einen guten Einblick, welche Technologien es gibt und wo man die Informationen dazu bekommt. Vieles kann ich jetzt im Job fast 1:1 umsetzen.“

Das Fach wählte die Ingenieurin, „weil Umweltschutz ein Zukunftsthema ist“ und wegen der the-

matischen Vielfalt. Zum Wasser sei sie dagegen erst mit der Zeit und zur eigenen Überraschung gekommen, erzählt Carina Pötzsch lachend. Dann aber mit Begeisterung: „In der Wasserwirtschaft arbeite ich an ganzen Systemen. Das ist spannender, als jahrelang an einer Gummilippe zu optimieren.“

Andrea Mayer-Grenu

Umweltschutztechnik studieren

Der Schutz der Umwelt stellt sowohl die Industrials als auch die Schwellen- und Entwicklungsländer vor große Herausforderungen. In vielen Ländern der Welt bestehen große Probleme hinsichtlich der Verschmutzung von Wasser, Luft und Boden, der Energieversorgung sowie der Bereiche Infrastruktur und Mobilität. Ihre Lösung erfordert eine fachübergreifende Zusammenarbeit, denn gefragt sind technologische und naturwissenschaftliche Lösungen. Der nachsorgende Umweltschutz wird heute weitgehend durch einen vorsorgenden Umweltschutz ersetzt. Integrierte Lösungen, das Herstellen von Kreisläufen, Vermeidung, Ressourcenschutz, die Steigerung der Energieeffizienz

sind nur einige Themen, die heute im Vordergrund jeglichen Handels stehen. Vor diesem Hintergrund richtete die Universität Stuttgart bereits 1993 Diplomstudiengang Umweltschutztechnik ein, 2008 wurde er auf das neue Bachelor- und Mastersystem umgestellt.

Mit über 45 Instituten deckt das sehr erfolgreiche Studienangebot nahezu alle für die Umweltschutztechnik relevanten Fachgebiete ab. Derzeit sind insgesamt rund 650 Studierende in den umweltschutztechnischen Studiengängen der Universität Stuttgart eingeschrieben, davon sind über 35 Prozent - deutlich mehr als in anderen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen – Frauen. *red*



Ressourcen für unsere Zukunft Tag der Wissenschaft 2016

Unter dem Motto „Ressourcen für unsere Zukunft“ steht in diesem Jahr der Tag der Wissenschaft an der Universität Stuttgart. Auch etliche der in dieser Ausgabe von FORSCHUNG LEBEN vorgestellten Forschungsbereiche sind dort live zu erleben.

Mit unseren wertvollen Ressourcen wie Wasser, Nahrungsmitteln und Rohstoffen sorgsam umzugehen, wird immer wichtiger. Wie sich schon beim Kochen und Essen CO₂, Energie und Rohstoffe einsparen lassen, zeigen die Gemeinsamen Studiengänge der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften mit dem „Ressourcenmanager-FOOD“. Liefern die Lichtressourcen der Zukunft – Laser und LED – bei geringerem Energieverbrauch mehr Licht? In seinem Vortrag greift Dr. Michael Jetter vom Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen diese Frage auf.

Welche Tricks sich der Mensch bei Schwämmen, Seiegeln und Einzellern abschauen kann, die besondere Baumeister im Hinblick auf Energieeffizienz sind, erfahren die Gäste am Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme. Ob Abwasseraufbereitung mittels Plasmen oder Energieerzeugung in Biogaskraftwerken mit Algenresten – Natur- und Ingenieurwissenschaften entwickeln am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie gemeinsam kreative Forschungsansätze.

Die Abteilung Mittlere Geschichte des Historischen Instituts zeigt: Rohstoffrecycling ist keine Erfindung der Neuzeit. Schon im Mittelalter wurden Handschriften auf Pergament äußerst einfallsreich wiederverwertet. Im Hier und Jetzt nimmt sich das von Instituten der Fakultät Architektur und Stadtplanung zusammen mit dem Internationalen Zentrum für Kultur- und Technikforschung neben anderen Reallaboren vorgestellte Future City Lab Stuttgart der nachhaltigen Mobilitätskultur in der Landeshauptstadt an.

Julia Alber

13:00 – 19:00 Uhr
Campus Vaihingen

Information & Beratung

- Vorträge zu den Studiengängen
- Studienberatung

Anfassen & Mitmachen

- Experimente
- Workshops
- Experimentalvorlesung
- Schüler-Campus



18.06.

2016

TAG DER WISSENSCHAFT

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



Studium gegen die Wegwerfgesellschaft

Moderne Gesellschaften gehen recht verschwenderisch mit den natürlich vorkommenden Ressourcen der Erde um, etwa fossilen Brennstoffen oder Metallen. Häufig noch funktionsfähige Produkte wie Handys oder Fernseher landen regelmäßig auf dem Müll oder wertvolle Rohstoffe, etwa Phosphor, im Abwasser. Der Raubbau an Ressourcen lässt nicht nur viele Vorräte der Erde schwinden, sondern belastet zunehmend die Umwelt. Eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft, in der Produktteile wiederverwertet und zurück in einen Wirtschaftskreislauf fließen, soll Ressourcen und Umwelt schonen.

In dem englischsprachigen Master-Studiengang WASTE bildet die Universität Stuttgart daher internationale Studierende zu Experten auf dem Gebiet der Abfall- und Abwassertechnik wie auch in Umweltverfahrenstechniken und Methoden der Luftreinhaltung aus. Der Studiengang richtet sich vorwiegend an junge Menschen mit einem Hintergrund in Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Umwelt-, Bau- sowie Chemieingenieurwesen. Seit kurzem können die Studierenden durch das Doppelmasterprogramm mit der Universidade Federal do Paraná in Brasilien einen Mastertitel an beiden Universitäten erlangen.

Die WASTE-Studierenden bilden inzwischen ein Netzwerk aus 62 Ländern. Als Absolventen arbeiten sie für Unternehmen, Universitäten oder Forschungsinstitute in Deutschland, wie auch in ihren Heimatländern auf der ganzen Welt. Unsere Weltkarte zeigt beispielhaft, wo sie herkommen und wo sie heute tätig sind.

bb



**Keshav Parajuly
(Nepal)**

Doktorand, Universität von Süd-Dänemark, Recycling von Elektroschrott



**Nobuhiro Tanigaki
(Japan)**

Technischer Leiter, Nippon Steel & Sumikin Engineering/ Niederlassung Deutschland, Abfallvergasung



**Oscar Alberto Noreña Trigos
(Kolumbien)**

Doktorand, Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) an der Universität Heidelberg, Modellierung und Simulation der Spray-Verbrennung



**David Castrillón Torres
(Kolumbien)**

Projektmanager, Yara Deutschland, Systeme zur Reduktion von Stickoxidemissionen



**Anna Lelickens
(Deutschland)**

Doktorandin, Institut für Technische Verbrennung (ITV) an der Universität Stuttgart, Modellierung und Simulation der Kohleverbrennung



**Sukriti Suvedi
(Nepal)**

Bau- und Umwelt-Prozessingenieurin, RP Stiftung für Konservierung/Nepal, Schutz von Baudenkmalern und Umwelt



**Parik Sirumapea
(Indonesien)**

Umwelt-Aufseher bei Husky-CNOOC Madura Limited/Indonesien, Öl- und Gasunternehmen



**Gisela Tejada
(Mexiko)**

Verfahrenstechnikerin bei Lafarge-Holcim/Schweiz, Zementindustrie

**Herkunft der Waste-Studierenden
im Durchschnitt der Jahre 2008 – 2016**

- Europa: 19% ●
- Asien und Ozeanien: 39% ●
- Lateinamerika: 26%
- Afrika: 11%
- Nordamerika: 5%

Der Iraner Majid Hassanizadeh reist zwischen Kulturen und Fachdisziplinen

Sein Berufsweg führte ihn von Iran in die USA und in die Niederlande. Majid Hassanizadeh, Hydrogeologie-Professor der Universität Utrecht, hat grundlegende Methoden entwickelt, mit denen Experten das Strömungsverhalten von Flüssigkeiten, Gasen und Partikeln in porösen Materialien beschreiben können, beispielsweise im Boden. Dafür ist er mehrfach geehrt worden, unter anderem mit der Ehrendoktorwürde der Universität Stuttgart. Aktuell engagiert er sich im Graduiertenkolleg NUPUS für die internationale Ausbildung auf diesem Gebiet.

In Jeans, blauem Streifenhemd und mit einem handlichen Rollkoffer im Schlepptau betritt Majid Hassanizadeh das Gebäude, in dem der Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung angesiedelt ist. Die Begrüßung mit den Kollegen verläuft herzlich: Man kennt sich. Bis zu fünf Mal pro Jahr besucht der Hydrogeologe den Lehrstuhlinhaber Rainer Helmig. Als Humboldt-Forschungspreis-Träger hat er 2010 bereits ein halbes Jahr hier verbracht.

Dieses Mal steht ein Treffen des Graduiertenkollegs „Nichtlinearitäten und Hochskalierung in porösen Medien“ (NUPUS) an, in dem die Uni mit den niederländischen Universitäten Delft, Eindhoven, Utrecht und Wageningen sowie der norwegischen Uni in Bergen kooperiert. Hassanizadeh hat das Kolleg zusammen mit Helmig 2006 initiiert und ist Sprecher der niederländischen Seite. Es gibt gemeinsam betreute Masterstudenten und Doktoranden, Kurse und Workshops für den wissenschaftlichen Nachwuchs sowie einen regen Austausch untereinander. „NUPUS vereint verschiedene Ansätze, um die vielen Anwendungen poröser Medien zu erforschen“, erklärt der studierte Bauingenieur.

Die Anwendungen könnten unterschiedlicher nicht

sein. Zunächst erforschte Hassanizadeh, wie das Grundwasser seinen Weg durch kleinste Risse und Poren im Boden nimmt und ob es verunreinigt wird, wenn in umliegenden Gesteinsschichten Atom Müll gespeichert wird. Schon immer hat er sich für Wasser interessiert: „In meiner Heimat Iran ist Wasser ein rares Gut und das Geräusch fließenden Wassers ist für uns einer der schönsten Klänge, die es gibt“, erzählt Hassanizadeh. Irgendwann realisierte er, dass Forscher in anderen Fachbereichen die gleichen Theorien und Modellierungsmethoden verwenden wie in der Grundwasserforschung. Immer geht es um Flüssigkeiten, Gase und Partikel, die sich in porösen Materialien ausbreiten, zum Beispiel bei der Erdölförderung aus tiefen Gesteinsschichten.

Von der Grundwasserforschung zu Windeln und Tintenstrahldruckern

In seiner neuen Wahlheimat Holland begann der heute 63-Jährige daraufhin, sein Forschungsfeld auszuweiten. Fortan erforschte er auch das Strömungsverhalten in Brennstoffzellen, um deren Energieerzeugung zu optimieren, und analysierte, wie sich Chemotherapeutika im Gehirn ausbreiten. Aktuell untersucht er unter anderem, wie Windeln Flüssigkeiten aufnehmen und wie Tinte aus Tintenstrahldruckern in Papier eindringt mit dem Ziel, beides zu verbessern. In einem neuen Kooperationsprojekt mit der Uni Stuttgart analysieren die Arbeitsgruppen von Hassanizadeh, Helmig und Bernhard Weigand vom Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt Anwendungen an der Grenze zwischen Luft und porösen Strukturen. Die Forscher wollen zum Beispiel wissen, ob eine dünne poröse Beschichtung verhindert, dass Flugzeugflügel im Winter einfrieren. „Majid Hassanizadeh versteht es, unterschiedliche Fragestellungen so zu analysieren, dass man Parallelen sieht. Das ist eine Gabe, die nur wenige haben“, sagt Rainer Helmig. Um jegliche Forschung auf dem Gebiet unter einem Dach zusammenzufassen

und inspiriert von dem Konzept des Graduiertenkollegs NUPUS, gründeten die beiden langjährigen Forschungspartner gemeinsam mit Gleichgesinnten schließlich die International Society for Porous Media (InterPore). „Ursprünglich gab es etwa Hydrogeologen, Erdölingenieure oder Materialingenieure, die sich mit diesen Themen befassten. Sie veranstalteten eigene Konferenzen, veröffentlichten ihre Forschung in eigenen Fachzeitschriften und hatten nicht viel Kontakt untereinander“, erinnert sich Hassanizadeh.

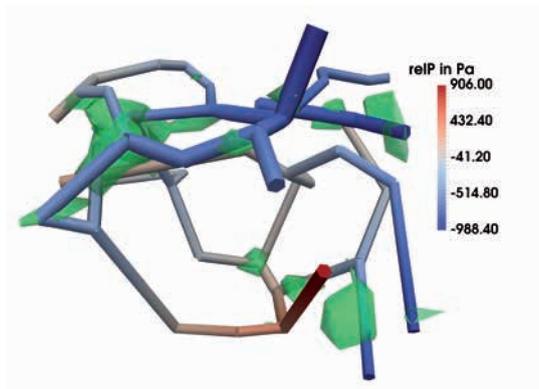


Zoom in eine mikroskopisch kleine Pore

Auf seinen theoretischen Arbeiten zur Ableitung der Erhaltungsgleichungen für Strömung und Transport in porösen Medien beruhen heute die meisten Computersimulationen, mit denen Forscher und Ingenieure das reale Verhalten – beispielsweise von Wasser, Öl und Luft im Untergrund – virtuell nachbilden. Für die Berechnungen werden meist die physikalischen Gesetzmäßigkeiten in einer Pore über tausende Poren gemittelt, um voraussagen zu können, wie sich Flüssigkeiten und Gase insgesamt im porösen Material ausbreiten.

Ein Ausgangspunkt seiner Forschung war beispielsweise das berühmte Darcy-Gesetz aus der Grundwasserforschung, das der französische Ingenieur Henry Darcy bereits 1856 formuliert hatte, um die Durchströmung poröser Medien zu beschreiben. „Es berücksichtigt allerdings nicht, dass verschiedene Flüssigkeiten nicht nur mit dem porösen Material wechselwirken sondern auch untereinander interagieren“, erklärt Hassanizadeh. Der Hydrologe führte daher eine neue Variable in die physikalische Gleichung ein, die diese Interaktion berücksichtigt und damit die Simulationsberechnung genauer macht.

Besonders stolz ist Hassanizadeh auf sein Forschungslabor in Utrecht, das er vor drei Jahren mit einer stattlichen Fördersumme seitens des Europäischen Forschungsrats – einer Auszeichnung als etablierter Spitzenforscher – aufbauen konnte. „Unter dem Mikroskop können wir in winzige Poren hineinzoomen und mit Hilfe von Kameras in Echtzeit untersuchen, was passiert, wenn Flüssigkeiten und Gase in die Kanäle des porösen Materials eindringen, und wie sie sich verhalten, wenn wir die Bedingungen ändern“, erklärt Hassanizadeh. Die Experimente sind nötig, um die Computermodelle noch weiter zu verbessern. Darin ergänzen sich die beiden Arbeitsgruppen von Hassanizadeh und Helmig: „Wir bringen die Expertise mit für



Simulation der Ausbreitung von Medikamenten von einem Kapillarnetzwerk in das umliegende Gewebe.

theoretische Grundlagen und Experimentalstudien und Helmigs Gruppe ist renommiert für ihre Simulations- und Modellierungswerkzeuge“, sagt Hassanizadeh.

„Deutschland gibt viel Geld für Forschung aus“

In seiner über 40-jährigen Karriere hat es Hassanizadeh weit gebracht. Er ist nicht nur zwischen Fachdisziplinen gereist, sondern auch Reisender zwischen Kulturen. Mit dem Bachelor in Bauingenieurwesen in der Tasche zog es ihn in jungen Jahren von Iran an die Princeton Universität in den USA, wo er seine bahnbrechenden theoretischen Studien zur Flüssigkeitsbewegung in porösen Medien startete. Vier Jahre später kehrte er als promovierter Wissenschaftler zurück. Doch enttäuscht von der Iranischen Revolution, in deren Zuge die Universitäten geschlossen wurden, kehrte er seiner Heimat kurze Zeit später wieder den Rücken. „Wie kann man da eine erfolgreiche akademische Karriere einschlagen?“, fragte sich Hassanizadeh.

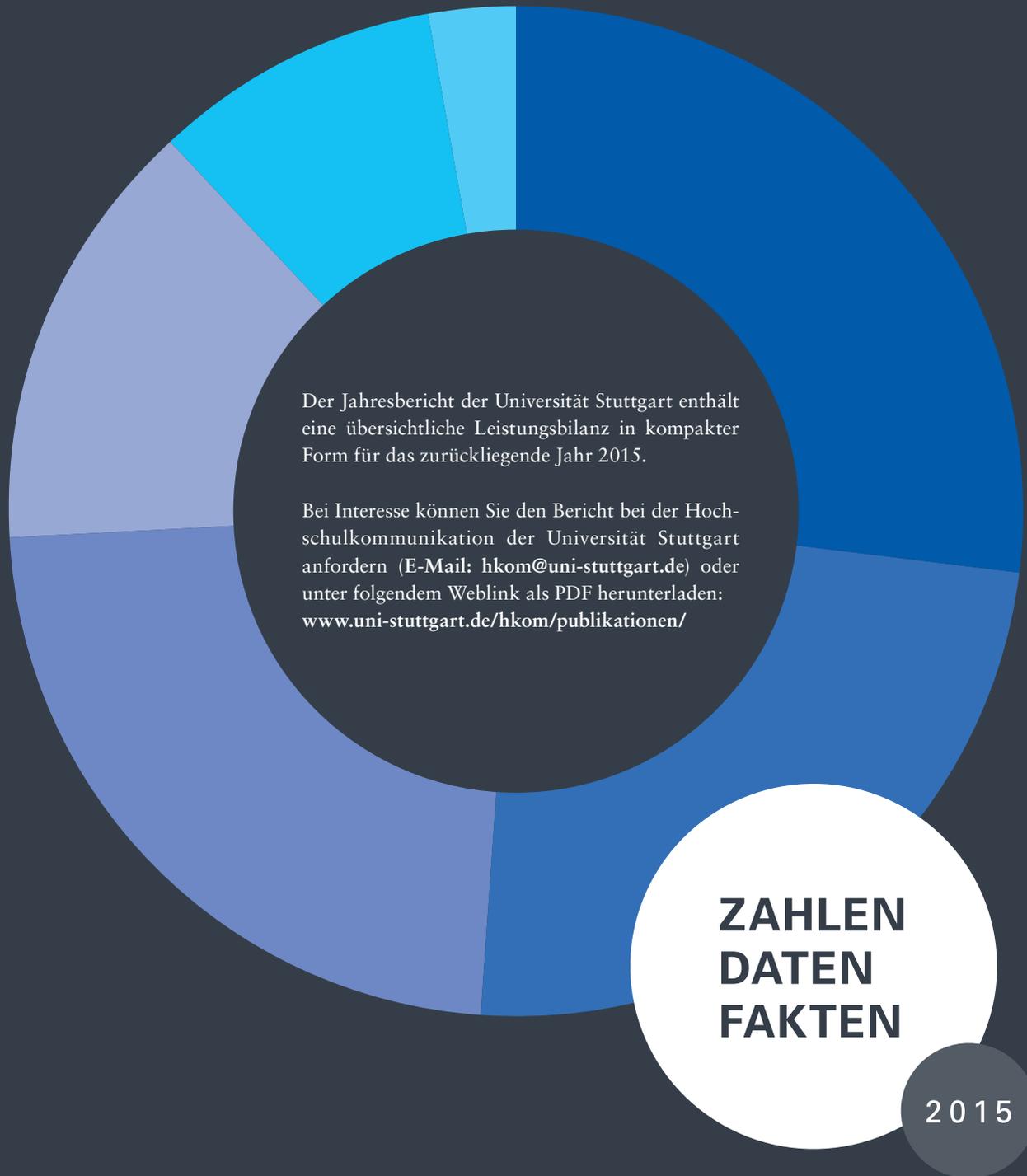
Auf ein Jahr Auszeit in den Niederlanden zu Fortbildungszwecken folgte ein weiteres Jahr, in dem er wieder Forschungsluft schnuppern durfte: Er blieb schließlich. „All die Jahre hatten wir immer geplant zurückzugehen“, gesteht der renommierte

Forscher. „Es ist auch heute nicht leicht, im Iran Spitzenforschung zu betreiben: Forschung ist nicht die Toppriorität der Regierung, es fehlt an Geld und der nötigen Infrastruktur“, erzählt Hassanizadeh. „Deutschland gibt, verglichen mit anderen Ländern – auch den Niederlanden, viel mehr Geld für Forschung aus“, lobt er. Auch der Wettbewerb unter den Universitäten sei groß.

Ende des Jahres läuft das Graduiertenkolleg NUPUS aus. Die enge Kooperation zwischen Helmigs und Hassanizadehs Gruppen wird weiterhin bestehen. Dafür sorgt auch ein neues internationales Forschungsnetzwerk, das die Forschungskoope- ration und Doktoranden-Ausbildung auf dem Gebiet der porösen Medien weiter stärken soll. Beteiligt sind neben den bestehenden NUPUS-Partnern noch weitere Arbeitsgruppen aus den USA, Schottland und der Schweiz. Die Uni Stuttgart finanziert die Forschungskoope- ration in den nächsten drei Jahren mit insgesamt 160.000 Euro.

Helmine Braitmaier

Jahresbericht Universität Stuttgart



Impressum

Herausgeber: Universität Stuttgart

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

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

Konzept: Tempus Corporate
www.tempuscorporate.zeitverlag.de

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

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

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

Auflage: 7.500

ISSN: 2198-2848

Internet: www.uni-stuttgart.de/forschung-leben/



Gedruckt auf Circle silk premium white, zertifiziert mit dem EU-Ecolabel (Reg.Nr. FR/11/003).
Hergestellt aus 100% Altpapier.



Wir sorgen für den Antrieb!

Die MTU Aero Engines entwickelt, fertigt, vertreibt und betreut zivile und militärische Antriebe für Flugzeuge und Hubschrauber sowie Industriegasturbinen. Unser Schlüssel zum Erfolg sind Antriebe für die Luftfahrt von morgen – noch sparsamer, schadstoffärmer und leiser. Mit rund 9.000 Mitarbeitern sind wir weltweit präsent und in Deutschland zu Hause. Werden auch Sie Teil unseres engagierten Teams als

Student/in

für Praktika, Werkstudententätigkeiten oder Abschlussarbeiten

Ingenieur/in

für den Bereich Entwicklung, Fertigung, Qualitätsmanagement, Einkauf und Logistik, Instandsetzung oder Vertrieb

Bei der MTU erwarten Sie maßgeschneiderte Entwicklungsprogramme und ein umfangreiches Weiterbildungsangebot. Wir bieten Ihnen eine Reihe von Zusatzleistungen, die ganz auf Ihre Bedürfnisse abgestimmt sind: Eine zeitgerechte Altersversorgung gehört für uns ebenso dazu wie Maßnahmen zur Vereinbarkeit von Familie und Beruf, zum Beispiel mit unseren flexiblen Arbeitszeitmodellen oder der betriebsnahen Kindertagesstätte TurBienchen. Darüber hinaus engagiert sich die MTU im Bereich Gesundheit und Fitness.

Als Technologieunternehmen liegen uns auch Frauen mit einer qualifizierten Ausbildung sehr am Herzen. Ihre Bewerbung ist uns besonders willkommen!

Mehr unter www.mtu.de/karriere.





Starten Sie auf der Überholspur des Daten-Highways

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

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

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

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

www.viavisolutions.de

VI.VI