

# Den nächsten großen Sprung in Nanometer messen.

Bringe die Welt mit Deinen Ideen voran



In einem offenen und modernen Umfeld mit zahlreichen Entwicklungs- und Weiterbildungsmöglichkeiten arbeiten die Mitarbeiter bei ZEISS in einer Kultur, die von Expertenwissen und Teamgeist geprägt ist. All das wird getragen von der besonderen Eigentümerstruktur und dem langfristigen Ziel der Carl-Zeiss-Stiftung: Wissenschaft und Gesellschaft voranzubringen. Für herausragende und engagierte Talente ist ZEISS ein idealer Arbeitgeber.

ZEISS bietet seinen Mitarbeitern Möglichkeiten, die Zukunft aktiv mitzugestalten, gemeinsam die Grenzen der Physik und Technologie zu überschreiten und damit die eigenen Spuren im Unternehmen zu hinterlassen. Zudem haben Mitarbeiter die Chance, Verantwortung zu übernehmen und einen wesentlichen Beitrag zur Gestaltung des Fortschritts von Märkten und Industrien zu leisten. Dieses Engagement bildet die Grundlage für die Innovationskraft von ZEISS.



#kameradraufhalten  
#jobsentdecken



**KIT** | 1825  
1956  
2009  
Karlsruher Institut für Technologie

# lookKIT

DAS MAGAZIN FÜR FORSCHUNG, LEHRE, INNOVATION  
THE MAGAZINE FOR RESEARCH, TEACHING, INNOVATION  
AUSGABE/ISSUE #02/2019  
ISSN 1869-2311

# MATERIAL

FORSCHUNG

**INNOVATIV: DAS EXZELLENZCLUSTER 3D MATTER MADE TO ORDER**

INNOVATIVE: THE CLUSTER OF EXCELLENCE 3D MATTER MADE TO ORDER

**SYSTEMISCH: SUCHMASCHINE FÜR DIE MATERIALWISSENSCHAFT**

SYSTEMIC: SEARCH ENGINE FOR MATERIALS SCIENCE

**EFFIZIENT: MATERIALENTWICKLUNG DURCH MIKROSTRUKTURSIMULATIONEN**

EFFICIENT: MATERIAL DEVELOPMENT THROUGH MICROSTRUCTURE SIMULATIONS



*Kein Arbeitgeber  
wie jeder andere!*

**Wir** sind ein starkes Raffinerie-Team, in einem anspruchsvollen Arbeitsumfeld mit moderner Personalpolitik und leistungsgerechter Bezahlung sowie vorbildlichen Sozialleistungen. Freuen Sie sich auf ein hervorragendes Arbeitsklima, eine individuelle Weiterentwicklung und gute Aufstiegschancen.

**Wir** gehören zur Gunvor Group, einem der größten unabhängigen Rohstoffhändler weltweit, mit den Tätigkeitsfeldern Energiehandel, Umschlag, Transport und Lagerung von Rohstoffen und Mineralölprodukten sowie der Veredelung von Rohöl.

Wir suchen aus den Bereichen

# Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Chemie

**Young Professionals (m/w/d),  
Hochschulabsolventen (m/w/d),  
Masteranden (m/w/d), Praktikanten (m/w/d)**



*Wir freuen uns auf Ihre  
aussagekräftige Bewerbung!*

Direkt über unsere Homepage:  
[www.gunvor-raffinerie-ingolstadt.de](http://www.gunvor-raffinerie-ingolstadt.de)



Holger Hanselka  
FOTO/PHOTOGRAPH: ANDREA FABRY

LIEBE LESERINNEN UND LESER,

die Herausforderungen der digitalen Wirtschaft des 21. Jahrhunderts im Kontext der vierten industriellen Revolution erfordern die ständige Entwicklung neuer Materialien, um anspruchsvolle Anwendungen zu ermöglichen. Dazu leistet das KIT-Zentrum Materialien Beiträge von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung und integriert Forschungsgruppen aus den Natur-, Ingenieur- und Biowissenschaften, die ein gemeinsames Interesse an innovativer Entwicklung haben. Einen stark interdisziplinären Ansatz verfolgt auch das gemeinsam vom KIT – „Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft“ und der Universität Heidelberg getragene Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“. 25 Professorinnen und Professoren forschen in den drei Forschungsfeldern „Molecular Materials“, „Technologies“ und „Applications“. Das Cluster nimmt dreidimensionale additive Fertigungstechniken in den Blick – von der Ebene der Moleküle bis hin zu makroskopischen Abmessungen. Ziel ist die vollständige Digitalisierung der 3D-Fertigung und Materialverarbeitung. Auf Seite 10 finden Sie ein Interview mit Professor Martin Wegener, einem der beiden Sprecher des Clusters, über die aktuellen und geplanten Aktivitäten.

Die intensive interdisziplinäre Vernetzung der Materialforschung insbesondere mit der Informatik ist auch Bestandteil der Hightech-Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Professor Jan Gerrit Korvink vom Institut für Mikrostrukturtechnik des KIT arbeitet in enger Kooperation mit dem Ernst Ruska-Centrum des Forschungszentrums Jülich und einer Reihe weiterer Institute am KIT an einer digitalen Neubegründung der Materialwissenschaften. Dabei geht es um die Systematisierung der inzwischen unüberschaubar gewordenen Fülle von Informationen zu Materialeigenschaften, die in sehr unterschiedlich formatierten Datenbanken abgelegt sind. Ein wichtiger Aspekt ist die Dokumentation des Verhaltens von Werkstoffen über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts. Einen Beitrag, wie sich mit den Deep Learning Verfahren der Künstlichen Intelligenz die so entstehenden Datenbanken wie ein Internet für Materialien nutzen lassen, lesen Sie auf Seite 42.

Darüber hinaus berichtet im Schwerpunkt dieser Ausgabe unter anderem die Leibniz-Preisträgerin und Professorin Britta Nestler über effiziente Materialentwicklung durch Mikrostruktursimulationen bei ganz unterschiedlichen Werkstoffen (Seite 22). Viel Spaß beim Lesen wünscht

Ihr

PROF. DR.-ING. HOLGER HANSELKA  
PRÄSIDENT DES KIT // PRESIDENT OF KIT

DEAR READER,

The challenges imposed by the digital economy of the 21st century, reflecting the fourth industrial revolution, require the constant development of new materials to realize ambitious applications. The KIT Materials Center contributes in various ways, from fundamental research to applications, and integrates research groups from natural, engineering and life sciences that have a common interest in innovative development.

Highly interdisciplinary research is also the approach taken by the “3D Matter Made to Order” cluster of excellence, a collaboration of KIT – The Research University in the Helmholtz Association and the Heidelberg University. Twenty-five male and female professors collaborate in three research areas: “Molecular Materials”, “Technologies”, and “Applications.” The cluster concentrates on digital 3D additive manufacturing ranging from the molecular to the macroscopic scale. The ultimate goal is the digitization of 3D manufacturing and material processing. Page 15 features an interview with Professor Martin Wegener, one of the two cluster spokespersons, about current and planned activities.

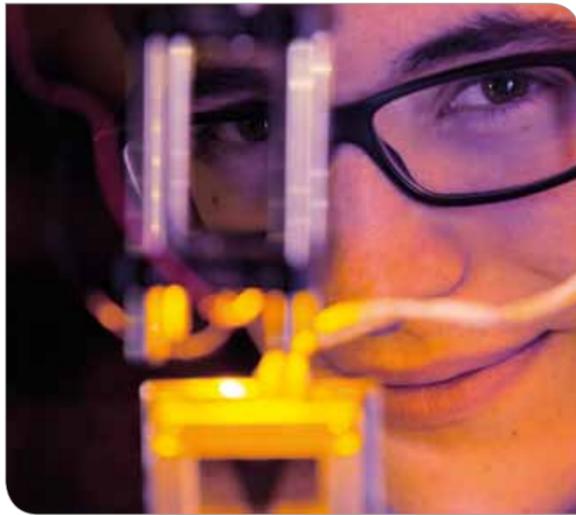
Strong interdisciplinary meshing of materials research with other areas, especially information technology, is also part of the high-tech strategy established by the Federal Ministry of Education and Research. Jan Gerrit Korvink, professor at the KIT Institute of Microstructure Technology, works in close cooperation with the Ernst Ruska Center of Forschungszentrum Jülich and a number of other institutes at KIT to re-establish materials science on a digital basis. Their priority is to systematize and reconcile the virtually unmanageable abundance of information on materials properties that resides in various incompatible databases. Another aspect involves documenting the behavior of materials over the entire lifecycle of a product. Our article on page 46 explains how deep learning techniques based on artificial intelligence can be used to turn the resulting new databases into a kind of Internet of Materials.

Also addressing the main topic of this edition is an interview with by Leibniz prize winner, Professor Britta Nestler, about the efficient development of highly diverse materials by using microstructure simulation (page 24).

Pleasant reading!

Yours,

## INHALT / CONTENT



### BLICKPUNKT / FOCUS

- 10 **Exzellenzcluster 3D Matter Made to Order: Interview mit Professor Martin Wegener**
- 15 **Excellence Cluster 3D Matter Made to Order: Interview with Professor Martin Wegener**
- 12 **Kooperationsprojekte im Exzellenzcluster 3D Matter Made to Order: Erprobung der Anwendungsgebiete von Materialien aus Mikro- und Nanostrukturen**
- 12 **Collaborative Projects within the 3D Matter Made to Order Cluster of Excellence: Developing Mixed Material Structures on Micro- and Nanoscales**
- 18 **Optimale Architektur: Mithilfe molekularer Regalsysteme sollen organische Solarzellen effizienter werden**
- 20 **Optimum Architecture: Molecular Shelf Systems Make Organic Solar Cells More Efficient**
- 21 **Auf eine Frage: Kann man aus Papier Plastik herstellen?**
- 21 **Just One Question: Can Plastics Be Made from Paper?**
- 22 **Digitale Zwillinge: Professorin Britta Nestler über Materialentwicklung durch Computersimulation**
- 24 **Digital Twins: Professor Britta Nestler Talks about Using Computer Simulation to Develop Materials**
- 26 **Designfreiheit und freie Formgebung: Über die zentrale Rolle von druckbarer Elektronik in der Digitalisierung**
- 28 **Freedom of Design and Free Form: The Key Role of Printable Electronics in Digitization**
- 30 **Promising New Class of High-entropy Oxides: Might Be Useful in Energy Storage**
- 32 **Vielversprechende neue Materialklasse: High Entropy Oxides könnten auch in der Energiespeicherung Anwendung finden**
- 34 **Gliding within an Envelope of Air: Bionic Coating Saves Energy and Reduces Ship Emissions**
- 36 **In einer Lufthülle gleiten: Bionische Beschichtung spart Energie und verringert Emissionen bei Schiffen**
- 38 **Millionen neue Materialien: Die VirtMat-Forschungsgruppe arbeitet an der digitalen Entwicklung und Simulation von Materialien**
- 40 **Millions of New Materials: The VirtMat Research Group Works on the Digital Development and Simulation of Materials**
- 42 **Suchmaschine für den Wissensschatz: Wie die Digitalisierung die Materialwissenschaft verändert**
- 46 **Search Engine for the Thesaurus of Knowledge: How Digitization Changes Materials Science**

- 47 **Ausgründung: Durchblick im Miniaturformat**
- 47 **Startup: Insight Miniaturized**
- 48 **Nachrichten**
- 48 **News**

### GESICHTER / FACES

- 50 **Zukunftsfähigkeit gestalten: Innovationsforscherin Marion Weissenberger-Eibl hilft Unternehmen, sich für die Zukunft zu wappnen**
- 52 **Shaping sustainability: Innovation Researcher Marion Weissenberger-Eibl Helps Companies Equip for the Future**
- 54 **AUGENBLICKKIT: Theresia Bauer, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg spricht auf der Jahresfeier**
- 54 **AUGENBLICKKIT: Theresia Bauer, Baden-Württemberg Minister of Science, Research, and the Arts Speaks at the Annual Celebration**

### ORTE / PLACES

- 56 **Schatzkammer und Laboratorium: Ein Besuch im Südwestdeutschen Archiv für Architektur und Ingenieurbau**
- 58 **Treasury and Laboratory: Visiting the Archive for Architecture and Engineering in Southwest Germany**

### WEGE / WAYS

- 61 **International News**
- 61 **Internationale Nachrichten**
- 62 **Start-up Szene Ostafrika: Ein Reisebericht über eine Tour voller Erkenntnisse und Inspirationen**
- 64 **Startup Scene in East Africa: A Report on a Tour Full of Insights and Inspiration**

### HORIZONTE / HORIZONS

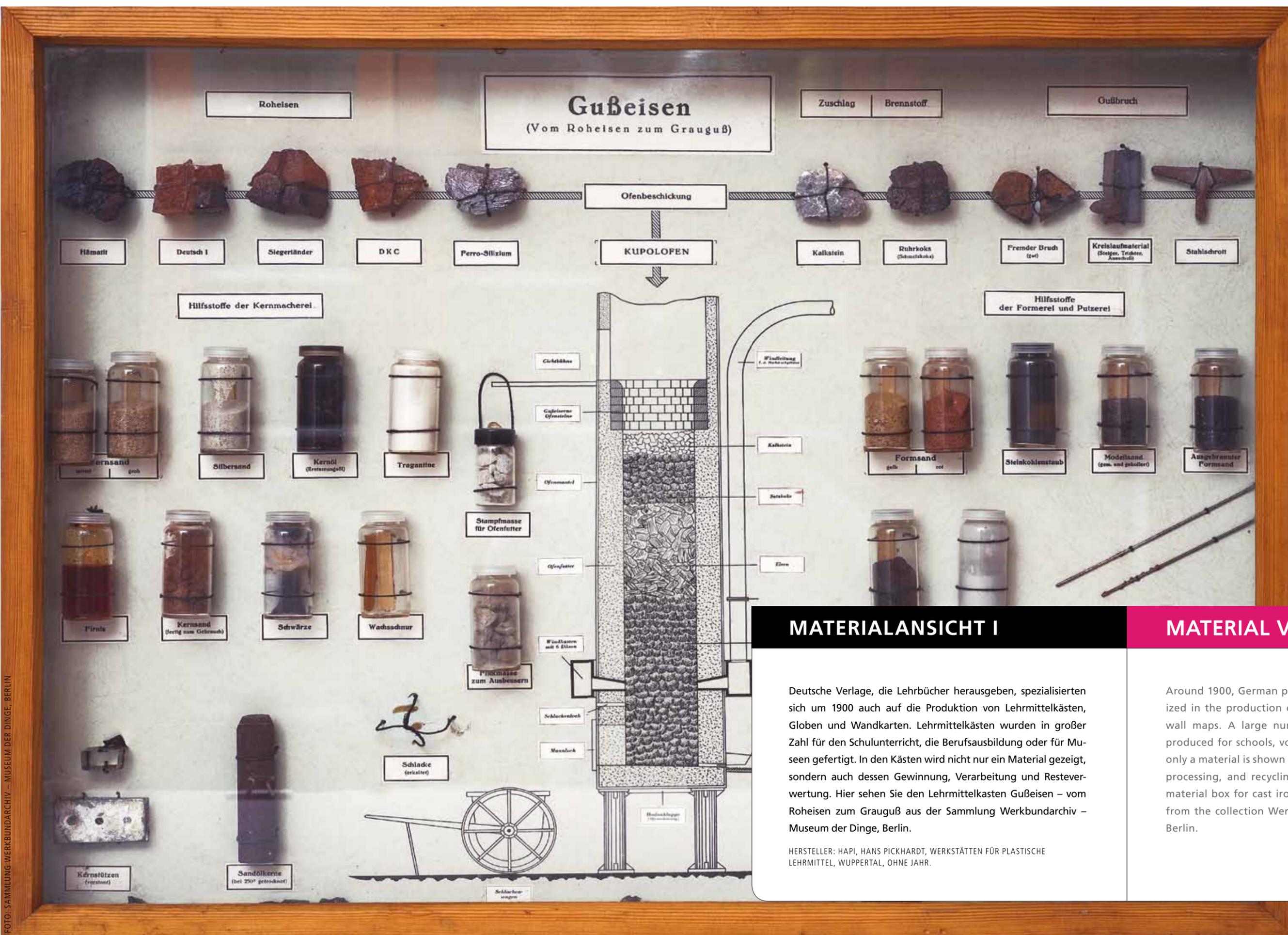
- 66 **Glocken: Experten der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt des KIT messen und bewerten Schwingungen**
- 68 **Bells: Experts from KIT's Materials Testing and Research Institute Measure and Evaluate Vibrations**
- 70 **Und sonst: Besuch von Staatsministerin Dorothee Bär auf der Viva Technology**
- 70 **What Else: Visit of Minister of State Dorothee Bär to Viva Technology**



Mit seinem Jubiläumslogo erinnert das KIT in diesem Jahr an seine Meilensteine und die lange Tradition in Forschung, Lehre und Innovation. Am 1. Oktober 2009 ist das KIT aus der Fusion seiner zwei Vorgängereinrichtungen hervorgegangen: 1825 wurde die Polytechnische Schule, die spätere Universität Karlsruhe (TH), gegründet, 1956 die Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft mbH, die spätere Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.

This year's anniversary logo recalls the milestones reached by KIT and its long tradition in research, teaching, and innovation. On October 1, 2009, KIT was established by the merger of its two predecessor institutions: the Polytechnic School and later University of Karlsruhe was founded in 1825, the Nuclear Reactor Construction and Operation Company and later Karlsruhe Research Center in 1956.





### MATERIALANSICHT I

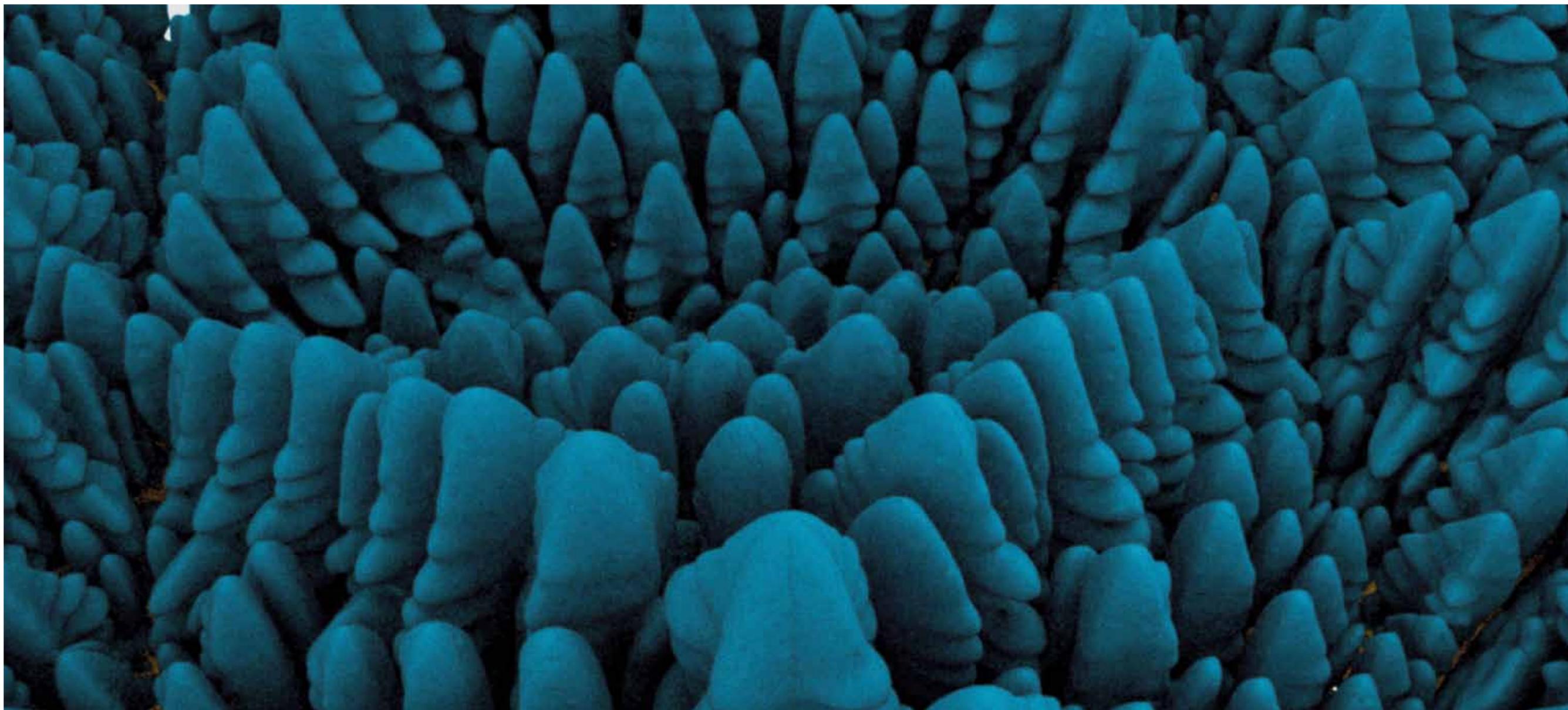
Deutsche Verlage, die Lehrbücher herausgeben, spezialisierten sich um 1900 auch auf die Produktion von Lehrmittelkästen, Globen und Wandkarten. Lehrmittelkästen wurden in großer Zahl für den Schulunterricht, die Berufsausbildung oder für Museen gefertigt. In den Kästen wird nicht nur ein Material gezeigt, sondern auch dessen Gewinnung, Verarbeitung und Resteverwertung. Hier sehen Sie den Lehrmittelkasten Gußeisen – vom Roheisen zum Grauguß aus der Sammlung Werkbundarchiv – Museum der Dinge, Berlin.

HERSTELLER: HAPI, HANS PICKHARDT, WERKSTÄTTEN FÜR PLASTISCHE LEHRMITTEL, WUPPERTAL, OHNE JAHR.

### MATERIAL VIEW I

Around 1900, German publishers of textbooks also specialized in the production of teaching aid boxes, globes, and wall maps. A large number of teaching aid boxes were produced for schools, vocational training or museums. Not only a material is shown in the boxes, but also its extraction, processing, and recycling. Here you can see the teaching material box for cast iron – from pig iron to gray cast iron from the collection Werkbundarchiv – Museum der Dinge, Berlin.

FOTO: SAMMLUNG WERKBUNDARCHIV – MUSEUM DER DINGE, BERLIN



## MATERIALANSICHT II

Auf dem Bild ist eine gerichtete erstarrte Mikrostruktur einer Aluminium-Kupfer-Legierung (10 at. % Kupfer) im Mikrometerbereich zu sehen. Simuliert wurde mit der Phasenfeldmethode auf dem Hochleistungsrechner „Hazel Hen“ am Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart mit 1464 CPUs in 16 Stunden. Die „Hazel Hen“ ist aktuell einer der schnellste Supercomputer Europas. Zu sehen sind in grünblau die Ausbildungen von Aluminiumdendriten. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut für Angewandte Materialien am KIT betrachten unter anderem die Abstände der Dendriten oder die Anzahl der Seitenarme. Dies hat zum Beispiel Einfluss auf die Festigkeit des Materials.

## MATERIAL VIEW II

The picture shows a directionally solidified microstructure of an aluminum-copper alloy (10 at. % copper) in the micrometer range. Simulation was made with the phase field method on the “Hazel Hen” high-performance computer of the High Performance Computing Center Stuttgart with 1464 CPUs in 16 hours. “Hazel Hen” currently is one of the fastest supercomputers in Europe. The aluminum dendrites can be seen in green-blue. Scientists at KIT’s Institute for Applied Materials study the distances between the dendrites or the number of side arms, among other things. These parameters influence e.g. the strength of the material.



EXZELLENZCLUSTER 3D MATTER MADE TO ORDER ARBEITET AN ZUKUNFTSFÄHIGEN NANODRUCKVERFAHREN

# Klettergerüste für Zellen drucken

Nicht nur das Vorhandene verbessern, sondern etwas völlig Neues

schaffen. Das haben sich die wissenschaftlichen Akteure im Exzellenzcluster 3D Matter Made to Order (3DMM2O) vorgenommen. Konkret geht es im Tandem mit der Universität Heidelberg darum, Materialien, Bauteile und Systeme mit höchster Prozessgeschwindigkeit und Auflösung im 3D-Verfahren zu drucken. lookKIT-Redakteurin Regina Link sprach mit Professor Martin Wegener, einem der beiden Sprecher des Clusters, über die aktuellen und geplanten Aktivitäten.

Herr Professor Wegener, warum haben Sie sich entschlossen, mit Heidelberg ins Rennen zu gehen und nicht mit einer anderen Technischen Universität, zum Beispiel aus dem TU9-Verbund?

Martin Wegener: Wir haben eine der Perspektiven der additiven 3D-Fertigung insbesondere in den Lebenswissenschaften gesehen und



Professor Martin Wegener und Masterstudent Pascal Kiefer: Sie arbeiten an Entwurf, Herstellung und Charakterisierung von dreidimensionalen Photonen Kristallen und Metamaterialien

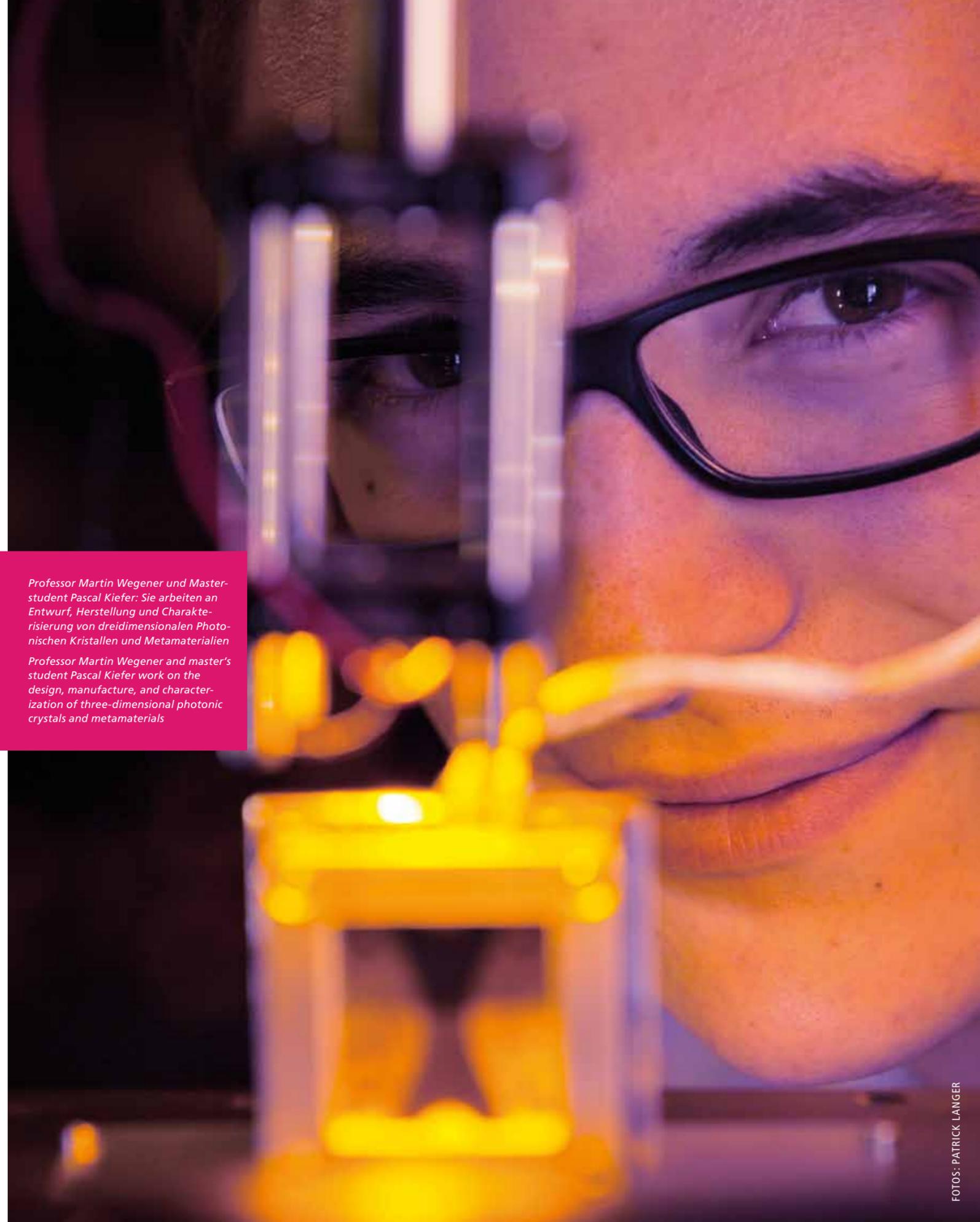
Professor Martin Wegener and master's student Pascal Kiefer work on the design, manufacture, and characterization of three-dimensional photonic crystals and metamaterials

da ist Heidelberg bekanntlich gut aufgestellt. Auch in der Chemie sehen wir in der Kooperation mit Heidelberg eine Verstärkung. Das waren die entscheidenden Punkte.

Sie postulieren, dass die additive 3D-Fertigung unsere Welt auf ähnlich drastische Weise verändern könnte wie im 15. Jahrhundert der Buchdruck. Eine steile These. Ich möchte keine falschen Erwartungen wecken. Aber mein Traum ist, dass es einmal 3D-Drucker in jedem Haushalt gibt. Genauso wie heutzutage jeder einen PC besitzt, könnte jeder einen Personal Fabricator haben, mit dem er Dinge einfach auf Knopfdruck fertigt. In der siebenjährigen Laufzeit des Clusters wird das sicherlich noch nicht passieren. Wir konzentrieren uns auch eher auf wissenschaftliche Anwendungen. Aber ich glaube, in einigen zehn Jahren kann es darauf hinauslaufen.

## 3D Matter Made to Order

- **Gründung im Jahr 2019:** Gründungspartner sind das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und die Universität Heidelberg. Darüber hinaus sind HEiKA (Heidelberg Karlsruhe Strategic Partnership), das International Department des KIT und das Heidelberger Institut für Theoretische Studien beteiligt.
- **Innovativ und zukunftsorientiert:** Forschung und Entwicklung skalierbarer 3D-Drucktechniken und -materialien, vom Nano- bis zum Millimeterbereich.
- **Interdisziplinäre Spitzenforschung:** 25 Professorinnen und Professoren von zwei der forschungstärksten Universitäten Deutschlands forschen interdisziplinär in den drei Forschungsfeldern „Molecular Materials“, „Technologies“ und „Applications“.
- **Von den Bausteinen bis zur Anwendung:** 3D Matter Made to Order bringt additive Fertigungsverfahren auf allen Ebenen voran, von den grundlegenden molekularen Bausteinen über die Drucktechnologien bis hin zu den Praxisanwendungen.
- **Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses:** Die HEiKA Graduate School on Functional Materials umfasst circa 100 Doktorandinnen und Doktoranden und bildet diese für Karrieren in der Wissenschaft & Industrie aus.



# Winzige Vielköpfer in drei Dimensionen

VERSCHIEDENE KOOPERATIONSPROJEKTE IM EXZELLENZCLUSTER 3D MATTER MADE TO ORDER  
ERPROBEN ANWENDUNGSGEBIETE VON MATERIALIEN AUS MIKRO- UND NANOSTRUKTUREN

VON DR. SIBYLLE ORGELDINGER

„Unsere Idee ist es, eine Art Klettergerüst für Zellen zu drucken, das solcherart funktionalisiert ist, dass es dem einen Zelltyp sagt: ‚Haltet euch hier fest‘ und dem anderen: ‚Haltet euch dort fest‘. Auf diese Weise können wir die Anordnung der Zellen vorgeben oder anders gesagt, wir helfen den Zellen dabei, das zu tun, was sie ohnehin tun wollen“, sagt Professor Martin Wegener, Sprecher des vom KIT und der Universität Heidelberg getragenen Exzellenzclusters 3D Matter Made to Order im Interview (Seite 10). So richtet sich ein Projekt in 3DMM2O auf 3D-Zellgerüste der nächsten Generation, in denen beispielsweise eine Säugetier-Netzhaut wachsen kann. Auch Metamaterialien aller Art – künstlich hergestellte Werkstoffe mit Eigenschaften, wie sie in der Natur nicht vorkommen – können von neuen Materialkombinationen profitieren.

Dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen lassen sich auch als Sicherheitsmerkmale einsetzen, um Geldscheine, Dokumente und Markenprodukte vor Fälschung zu schützen. Anhand dieser Anwendung haben Forscherinnen und Forscher des KIT und der Carl Zeiss AG die Funktion eines innerhalb des Exzellenzclusters 3DMM2O entwickelten neuen Systems demonstriert: Sie haben eine mikrofluidische Kammer, welche die Handhabung von Flüssigkeiten auf kleinstem Raum ermöglicht, direkt in ein 3D-Laserlithografiegerät integriert, um solche Strukturen aus mehreren Materialien effizient und präzise herzustellen. Darüber berichteten sie in der Zeitschrift *Science Advances*.

Die 3D-Laserlithografie ist als zuverlässiges und vielseitiges Verfahren der additiven Fertigung, das heißt des dreidimensionalen Druckens auf der Mikro- und Nanometer-

skala, bereits etabliert: Ein computergesteuerter Laserstrahl durchfährt einen flüssigen Fotolack. Dabei wird nur das Material im Fokusbereich des Laserstrahls belichtet und härtet aus. So entstehen filigrane Strukturen für verschiedene Einsatzbereiche, wie Optik und Photonik, Mikroelektromechanik, Materialwissenschaften, Medizin, Biotechnologie oder Sicherheitstechnik. Die mit 3D-Laserlithografie hergestellten Mikro- und Nanostrukturen bestehen bis jetzt gewöhnlich aus nur einem Material. Zwar lassen sie sich grundsätzlich auch aus mehreren Materialien fertigen, indem unterschiedliche Fotolacke nacheinander aufgetragen und ausgehärtet werden, wobei der unbelichtete Lack jedes Mal in einem anschließenden Entwicklerbad ausgewaschen wird. Aber ein solches Vorgehen ist wegen der häufigen Wechsel zwischen Lithografiegerät und Labor extrem zeit- und arbeitsaufwendig. Zudem wird es mit steigender Zahl der eingesetzten Werkstoffe und der entsprechenden Durchläufe immer ungenauer.

Für das neue System nutzten die Wissenschaftler vom Institut für Angewandte Physik, vom Institute of Nanotechnology und vom Institut für Technische Chemie und Polymerchemie des KIT sowie von der School of Chemistry der Queensland University of Technology in Brisbane/Australien und von der Carl Zeiss AG ein kommerziell verfügbares 3D-Laserlithografiegerät der Nanoscribe GmbH – einem Spin-off des KIT. Darin integrierten sie eine selbst entwickelte mikrofluidische Kammer. Diese enthält ein Deckglas mit einem Durchmesser von zehn Millimetern, auf das sich die 3D-Strukturen drucken lassen. Diese Kammer ist verbunden mit einem elektronischen Druckregler, bis zu zehn Behältern für die ver-

schiedenen Fotolacke und Entwickler sowie einem sternförmigen Auswahlventil. Die jeweils ausgewählte Flüssigkeit wird durch einen Überdruck auf einen Probenträger geleitet. Zuletzt fließt sie in einen Abfallbehälter. „Dieses Mikrofluidiksystem ermöglicht, alle Fertigungsschritte für dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen aus mehreren Materialien in ein Gerät zu integrieren“, erklärt Professor Martin Wegener. „Damit ebnet es den Weg zu echter multimaterieller additiver Fertigung auf der Mikro- und Nanoskala.“

Dass die Verbindung von 3D-Laserlithografie und Mikrofluidik funktioniert, demonstrierten die Forscher, indem sie mehrfarbig fluoreszierende mikrostrukturierte Sicherheitsmerkmale produzierten. Jedes Sicherheitsmerkmal besteht aus einem von Stützwänden umgebenen dreidimensionalen Gitter und fluoreszierenden Markern in verschiedenen Farben. „Dank ihres individuellen und komplexen Aufbaus bieten solche Merkmale einen wirksamen Schutz vor Fälschungen“, erläutert Frederik Mayer vom INT des KIT. Zur Herstellung der Sicherheitsmerkmale verwendeten die Forscher sieben verschiedene Flüssigkeiten: einen nichtfluoreszenten Fotolack als Rückgrat, zwei Fotolacke mit verschiedenen fluoreszierenden Quantenpunkten, zwei Fotolacke mit verschiedenen fluoreszierenden Farbstoffen und zwei Entwicklerflüssigkeiten. „Unser System eignet sich aber auch für andere anspruchsvolle Anwendungen in 3D, wie Zellgerüste, Metamaterialien und mikrooptische Systeme“, sagt Frederik Mayer. Das „Carl Zeiss Foundation 3D User Lab“ im Exzellenzcluster 3DMM2O wird das System für nationale und internationale Forschungsvorhaben zugänglich machen. ■



FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

Professor Martin Wegener, einer der beiden Sprecher des gemeinsam von KIT und Universität Heidelberg getragenen Exzellenzclusters „3D Matter Made to Order“

Professor Martin Wegener, one of two spokespersons of the “3D Matter Made to Order” excellence cluster of KIT and the University of Heidelberg

Sie konzentrieren sich im Cluster auf den Mikrokosmos?

Richtig. Wir befassen uns mit der Mikrometer-, Submikrometer- und Nanometerskala und verfolgen dabei einerseits ganz grundlegende Fragen. Beispielsweise synthetisieren wir chemisch ganz neue Substanzen. Auf der anderen Seite arbeiten wir sehr angewandt. Wir entwickeln etwa Maschinen, die konkrete Objekte drucken sollen.

Arbeiten Sie auch daran, biologisches Gewebe zu drucken?

Auf dieses riesige Feld haben wir uns sogar ein Stück weit konzentriert, allerdings auf komplexere Systeme, die man nicht einfach durch das Aufeinanderpacken von Zellen ausdrucken kann. Deswegen haben wir die Retina als Modell gewählt. Sie ist ein relativ komplexes Gebilde, das Nervenzellen, aber auch andere Zellen umfasst, die auf bestimmte Weise angeordnet sein müssen. Man kann sie daher auch nicht einfach direkt drucken. Unsere Idee ist es, eine Art Klettergerüste für Zellen zu drucken, das solcherart funktionalisiert ist, dass es dem einen Zelltyp sagt: ‚Haltet euch hier fest‘ und dem anderen: ‚Haltet euch dort fest‘. Auf diese Weise können wir die Anordnung der Zellen vorgeben oder anders gesagt, wir helfen den Zellen dabei, das zu tun, was sie ohnehin tun wollen.

Dr. Andreas Wickberg im Labor des Instituts für Angewandte Physik

Dr. Andreas Wickberg in the laboratory of the Institute of Applied Physics

## 3D Matter Made to Order

- **Established in 2019:** The Cluster's founding partners are the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) and Heidelberg University. Furthermore, the Heidelberg Karlsruhe Strategic Partnership, the International Department of the KIT, and the Heidelberg Institute for Theoretical Studies are partners in the Cluster.
- **Innovative and future-oriented:** Research and development of scalable 3D additive manufacturing, ranging from the molecular to the macroscopic scale.
- **Interdisciplinary cutting-edge research:** 25 principal investigators from two of Germany's best research universities working interdisciplinarily in the three Research Areas “Molecular Materials”, “Technologies” and “Applications”.
- **From building blocks to applications:** 3DMM2O pushes additive manufacturing on all levels, developing the basic building blocks, printing technologies, and future applications.
- **Early career support:** The HEiKA Graduate School on Functional Materials comprises up to 100 doctoral researchers and prepares them for careers in academia & industry.

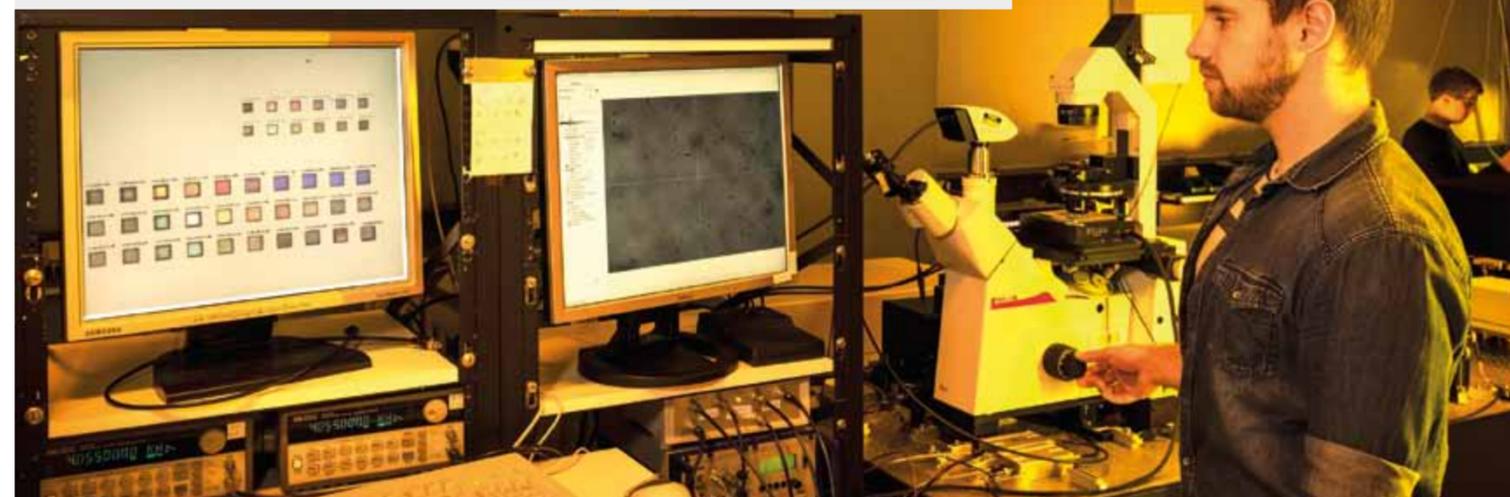
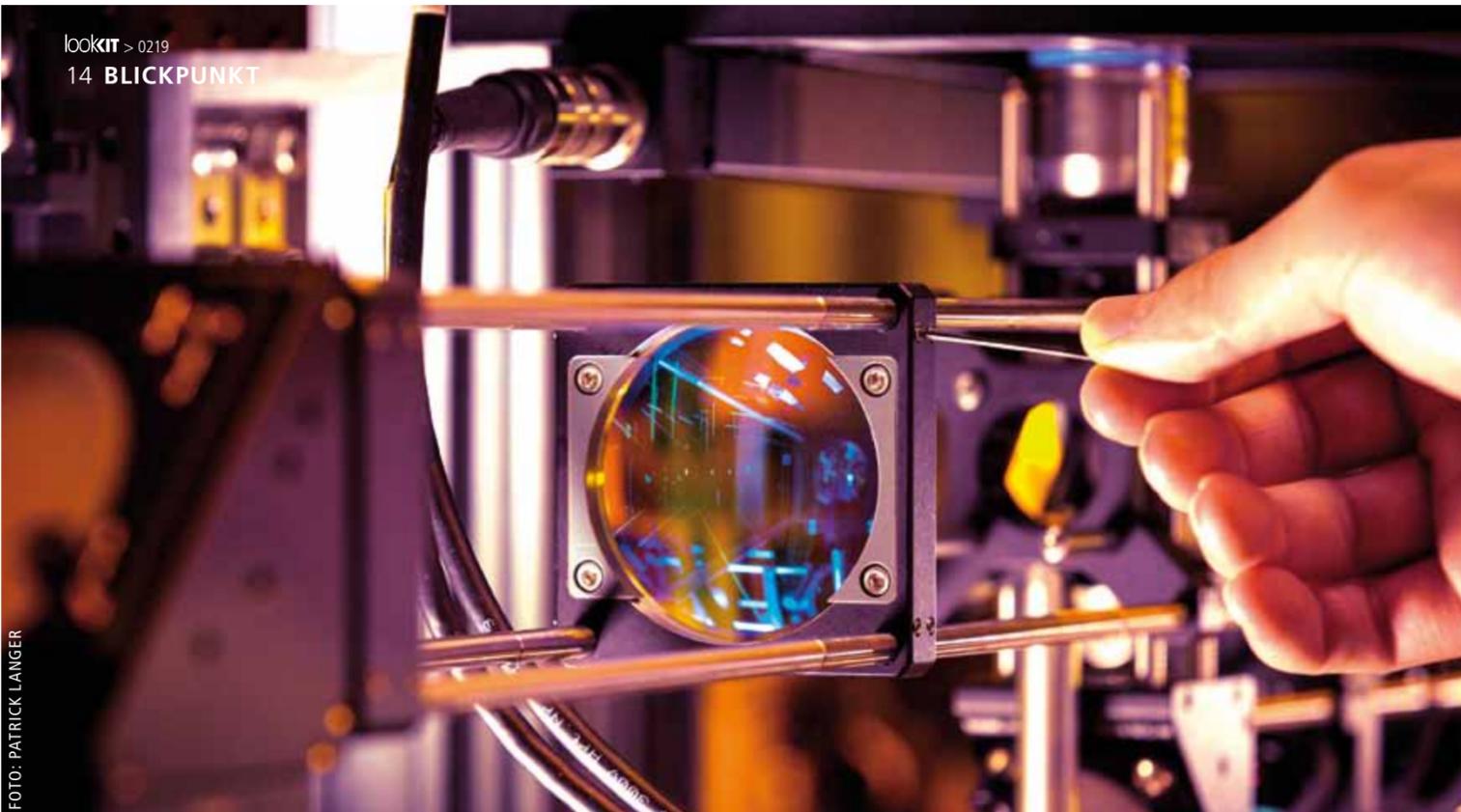


FOTO: MARKUS BREIG



In der Arbeitsgruppe von Professor Martin Wegener wird mit linear-optischer, nichtlinear-optischer, nahfeld-optischer und Femtosekunden-Spektroskopie gearbeitet

Professor Martin Wegener's group uses linear-optical, non-linear-optical, near-field-optical and femtosecond spectroscopy

### Was denken Sie, wie weit Sie in sieben Jahren mit Ihrer künstlichen Retina sind?

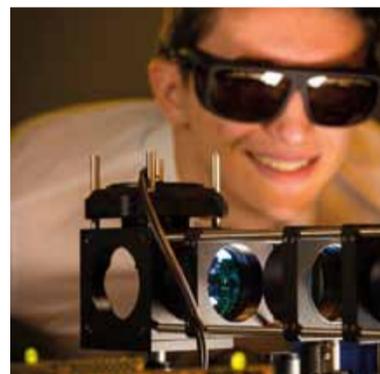
Es wäre ein Riesenerfolg, wenn wir zeigen könnten, dass wir ganz grundsätzlich eine funktionierende Retina bereitstellen können, welche die Medizin dann weiterentwickelt.

### Wo sehen Sie Grenzen des 3D-Drucks?

Es gibt keine prinzipielle Begrenzung, aber es gibt Dinge, die wir im Moment nicht können. Wir können beispielsweise keine Metalle auf sehr kleinen Skalen in vernünftiger Qualität drucken. Auch bei den biologischen Fragestellungen gibt es Komponenten, die wir im Moment noch nicht herstellen können. Das wollen wir im Cluster voranbringen.

### Und dabei sprechen Sie von „Feiner, schneller und mehr“.

Im Moment können wir Strukturen mit einer Linibreite von 100 Nanometern zuverlässig drucken. Aber für viele Anwendungen muss man noch wesentlich feiner werden. Um beispielsweise in der Biologie Oberflächen funktionalisieren zu können, muss man in einen Bereich von zehn Nanometern kommen. Auch in der Optik brauchen wir feinere Strukturen, da legt die Wellenlänge des sichtbaren Lichts die Skala fest. Auch



bei der Geschwindigkeit ist die Aufgabe offensichtlich. Sie haben vermutlich keine Lust, tagelang zu warten, bis Sie ein dreidimensionales Objekt ausgedruckt haben. Aber wenn man zwar zehnfach feinere Strukturen drucken kann, jedoch pro Voxel – so nennen wir analog zum Pixel die kleinste Druckeinheit – genauso lange wie im 2D-Druck braucht, dauert es in drei Dimensionen tausendmal so lange wie in zweien, also statt zehn Sekunden 10 000 Sekunden. Das ist natürlich nicht akzeptabel.

### Lässt sich der 3D-Druck tatsächlich so stark tunen?

Das hoffen wir jedenfalls. Im Moment geht es hauptsächlich um technische Aspekte. Einige Vorgehensweisen basieren zum Beispiel darauf, dass wir mit einem fokussierten Laser arbeiten, den wir verfahren. Hier kommt es auf die Geschwindigkeit an. Ich glaube insgesamt ist bei der Druckgeschwindigkeit noch Luft für drei-, vier Zehnerpotenzen. Einige bezweifeln das, aber wir werden sehen.

### Aber sie wollen nicht nur schneller sein, sondern auch mehr machen?

Ja, wir wollen neue Materialien entwickeln, aber auch gleichzeitig mit mehr Materialien

## Tiny All-rounders in Three Dimensions

### Collaborative Projects within the 3D Matter Made to Order Cluster of Excellence Developing Mixed Material Structures on Micro- and Nanoscales

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Three-dimensional structures on the micrometer and nanometer scales have great potential for applications in optics and photonics, micro electromechanics, materials science, medicine, bioengineering, security technology, and other areas. So far, such structures have mostly been made of a single material. Many applications, however, might profit from a mix of several materials. For this reason, researchers of KIT and Carl Zeiss AG have developed a new system within the Cluster of Excellence "3D Matter Made to Order" (3DMM2O): they integrated a self-developed microfluidic chamber for handling liquids in the smallest of spaces directly into a commercially available 3D laser lithography device. With it, they produced multicolored fluorescent security features that can be used to protect banknotes, documents, and branded products against counterfeiting. The system combines all steps for manufacturing three-dimensional microstructures and nanostructures from several materials and thus paves the way to real multi-material additive manufacture on the micro- and nanoscales. In addition to security features, it is possible to produce cell scaffolds, metamaterials, and micro-optical systems in three dimensions. The "Carl Zeiss Foundation 3D User Lab" of the 3DMM2O Cluster of Excellence will make the system accessible for national and international research projects. ■

ANZEIGE

## CONVENTION BUREAU KARLSRUHE ERWEITERT DAS NETZWERK UND PLANT ZEHN MESSEAUFTRITTE FÜR DAS JAHR 2019

10 Messeauftritte hat das Convention Bureau Karlsruhe + Region für das Jahr 2019 geplant. Den Anfang macht dabei die LOCATIONS Messe Rhein-Neckar, die am 14. Februar 2019 im Mannheimer Rosengarten stattfindet.

Dabei ermöglicht ein über die Jahre stetig gewachsenes Kompetenznetzwerk aus über 100 zuverlässigen und ausgewählten Partnern es dem Convention Bureau Karlsruhe + Region, für jeden Anlass die richtige Location empfehlen zu können. Pia Kumpmann, Leiterin vom Convention Bureau Karlsruhe, kennt den Großraum Karlsruhe, zwischen Schwarzwald, den Vogesen und den Pfälzer Bergen, wie ihre Westentasche. Vom erlesenen Incentive über Schulungen, Tagungen und Produktpräsentationen, bis hin zu großen Kongressen – als Non Profit Servicestelle der Stadt und der Region Karlsruhe steht Ihnen das Convention Bureau Karlsruhe unentgeltlich mit Rat und Tat zur Seite um den für Sie und Ihr Event passenden Partner zu finden.

### Neue Partner – erneut kann sich das Convention Bureau Karlsruhe + Region über Zuwachs der Mitglieder freuen

Über gleich drei Tagungslösungen kann sich das Convention Bureau Karlsruhe + Region freuen. Das Business Center Zeppelinzentrum profitiert über die verkehrsgünstige Lage in Karlsruhe-Grünwinkel und bietet die ideale Plattform für Veranstaltungen – vom Tagesbüro bis hin zum großen Konferenzraum. Auch das IHK Haus der Wirtschaft Karlsruhe bietet einen attraktiven Spielraum: Seminarräume mitten in der Stadt, ausgestattet mit allem, was Sie brauchen – von der Technik bis zum Catering. Spannungsvolle Events können Sie auch bei Adventurebox Escape Room & City Events Karlsruhe erwarten. Aktuell stehen in der Adventurebox drei Themen zur Auswahl: Mission: Projekt Vakuum, Mission: Das fünfte Element sowie Mission: Impossible.

Im Bereich Dienstleister kann sich das Convention Bureau Karlsruhe + Region über zwei Neuzugänge freuen. Crystal Sound wurde im Jahr 1979 in Baden-Baden als Produktionsfirma für Veranstaltungstechnik gegründet. Im Laufe der Zeit hat sich das Unternehmen nicht nur im Musikbereich, sondern auch in den Marktsegmenten TV Produktion-Firmenevents-Industrie und Internationale Sportveranstaltungen als feste Größe etabliert. Erlebnisreich und kommunikativ konzipiert, plant das Team der Agentur watchmore Events, Incentives, Kongresse, Seminare, Workshops und Teamevents. Dabei ist es das Anliegen vom gesamten Team, Erlebnisse zu schaffen, die in Erinnerung bleiben.

70 Jahre Grundgesetz in Karlsruhe, der „Stadt des Rechtes“ – StudyTour am 24.+25. Mai 2019 bereits geplant  
Am 8. Mai 1949 wurde das Grundgesetz vom Parlamentarischen Rat beschlossen und von den Alliierten genehmigt. Als Sitz der höchsten Gerichtshöfe steht Karlsruhe wie keine andere Stadt für den modernen demokratischen Rechtsstaat Deutschland. Hier wacht auch das Bundesverfassungsgericht seit 1951 über die Einhaltung der Verfassung. Karlsruhe feiert mit dem Verfassungsfest vom 22.-25. Mai 2019 den 70. Jahrestag des deutschen Grundgesetzes.

Auch das Convention Bureau Karlsruhe schließt sich den Feierlichkeiten an und organisiert am 24.+25. Mai 2019 ein Study Tour zum Verfassungsfest. Die Übernachtung findet dabei im Hotel Vier Jahreszeiten Durbach statt. Auf der Study Tour werden den Teilnehmern verschiedene Partner der MICE-Branche präsentiert, unter anderem wird auch die neue Ausstellung im Gasometer Pforzheim besichtigt. Im Gasometer wird mit dem 360°-Panorama des Korallenriiffs vor Australien die einzigartige Unterwasserwelt des Riiffs in all seiner fragilen Schönheit und Komplexität präsentiert.

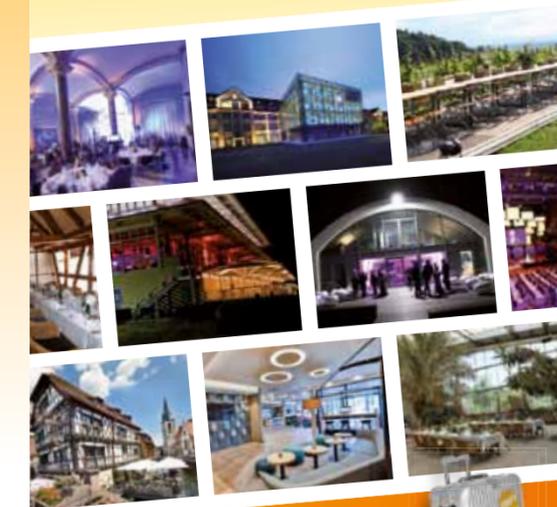
Partnerbroschüre 2019 – alle Partner auf einem Blick  
Die Partner vom Convention Bureau Karlsruhe + Region finden Sie gesammelt auf der Website [www.100pro-MICE.de](http://www.100pro-MICE.de). Ebenfalls haben Sie die Möglichkeit die neue Partnerbroschüre 2019 auf den Messeauftritten vom Convention Bureau Karlsruhe mitzunehmen. In dieser finden Sie alle Partner vom Convention Bureau Karlsruhe aufgeführt. Optional erhalten Sie die Partnerbroschüre auch auf Deutsch und Englisch in digitaler Form.

**Kontakt:**  
Convention Bureau Karlsruhe + Region  
c/o KTG Karlsruhe Tourismus GmbH  
Pia Kumpmann  
Tel: +49 721 602997-700  
E-Mail: [pk@100pro-MICE.de](mailto:pk@100pro-MICE.de)  
Kaiserstraße 72-74  
76133 Karlsruhe  
[www.100pro-MICE.de](http://www.100pro-MICE.de)

# 100%

## KARLSRUHE & REGION

Über 100 starke Partner!  
mehr unter: [www.100pro-MICE.de](http://www.100pro-MICE.de)



CONVENTION BUREAU  
KARLSRUHE & REGION





FOTO: MARKUS BREIG

drucken. Bisher beschränkt sich der 3D-Druck weitgehend auf ein Material. Das ändert sich zwar gerade, aber es gibt immer noch Materialien, die wir auf einer feinen Skala nicht gut können, beispielsweise biologisch abbaubare Materialien, Metalle oder halbleitende Materialien.

#### Das Cluster ist auf drei Forschungsfeldern aufgebaut. Worum geht es dabei?

Technologisch geht es darum, die Herausforderung ‚feiner, schneller, mehr‘ umzusetzen und hier um Größenordnungen besser zu werden. Daran arbeiten die beiden Forschungsfelder ‚Molekulare Materialien‘ und ‚Technologien‘. Wir möchten molekulare Materialien, oder einfach ausgedrückt Tinten und Fotolacke, entwickeln, die für die Druckmaschinen benötigt werden, die wir im Forschungsfeld ‚Technologien‘ entwickeln. Diese wiederum sind kein Selbstzweck, sondern sollen im dritten Forschungsfeld ‚Anwendungen‘ eingesetzt werden. Es geht uns also um die ganze Bandbreite von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung bis hin zu Technologietransfer und Ausgründungen.

#### Sie haben Ihre Forschungsfelder in sogenannte „Thrusts“, auf Deutsch Stoßrichtungen, eingeteilt. Was verstehen Sie darunter?

Die Thrusts sind Teilbereiche der Forschungsfelder. Mit dem Begriff Thrust wollen wir eine gewisse Offenheit gegenüber Änderungen signalisieren. Es gibt in den Thrusts zwar auch feste Projekte, aber wir haben durchaus die Möglichkeit, die Zusammensetzung der Wissenschaftler anzupassen.

#### Es geht also um flexiblere Strukturen?

Genau, zumal wir auch vorhaben, nach der halben Laufzeit eine interne Evaluierung und gegebenenfalls Anpassungen durchzuführen.

#### Das Cluster lebt von Vernetzung. Aber die ergibt sich nicht notwendigerweise von

#### selbst. Wie fördern Sie die Zusammenarbeit zwischen den Wissenschaftlern?

Wir haben im Februar mit unserem Kick-off-Meeting begonnen, auf dem sich auch schon auf Ebene der Thrusts die verschiedenen Wissenschaftler ausgetauscht haben. Ende September werden wir unser erstes internes Evaluierungsmeeting veranstalten, um zu bewerten, was bisher passiert ist. Außerdem gibt es regelmäßige Treffen auf verschiedenen Ebenen, Veranstaltungen wie beispielsweise eine eigene Cluster-Konferenz oder Vortragsreihen. Und natürlich funktioniert die Vernetzung auch über unsere Graduiertenschule.

#### Welche Rolle spielt die Graduiertenschule innerhalb des Clusters?

Eine sehr wichtige. In meinen Augen stemmen die Doktoranden den größten Teil der Forschung. Ohne sie geht gar nichts. Wir werden im hochgefahrenen Zustand rund 100 Promovierende haben, darunter auch welche, die wir aus anderen Geldquellen als den Clustermitteln finanzieren. Um auch hier die Vernetzung zu fördern, werden Doktoranden an beiden Standorten Module durchlaufen oder Anlagen kennenlernen.“

#### Das Stichwort „Gleichstellung“ ist ein wichtiges Kriterium bei der Vergabe von Fördergeldern. Wie holen Sie mehr Frauen in Ihr Cluster?

Wir haben uns zunächst einmal quantitative Ziele gesetzt: Bei den Promovierenden und Postdocs möchten wir einen Frauenanteil von einem Drittel erreichen, bei den Professuren, die wir berufen soll es die Hälfte sein. Das ist nicht wenig und Zahlen sind auch erst einmal

geduldig. Es gibt bei uns allerdings auch einen Sanktionsmechanismus. Er sieht vor, dass wir den Forschungsfeldern gegebenenfalls Geld wieder wegnehmen. Über ein Headhunting, mit dem Wissenschaftlerinnen rekrutiert werden sollen, fließt es dann wieder zurück. Ich habe den Eindruck, dass diese ‚Drohkulisse‘ schon etwas geholfen hat, denn die Zahlen sehen aktuell recht gut aus. Bei der Graduiertenschule liegen wir schon jetzt über einem Drittel Frauenanteil.

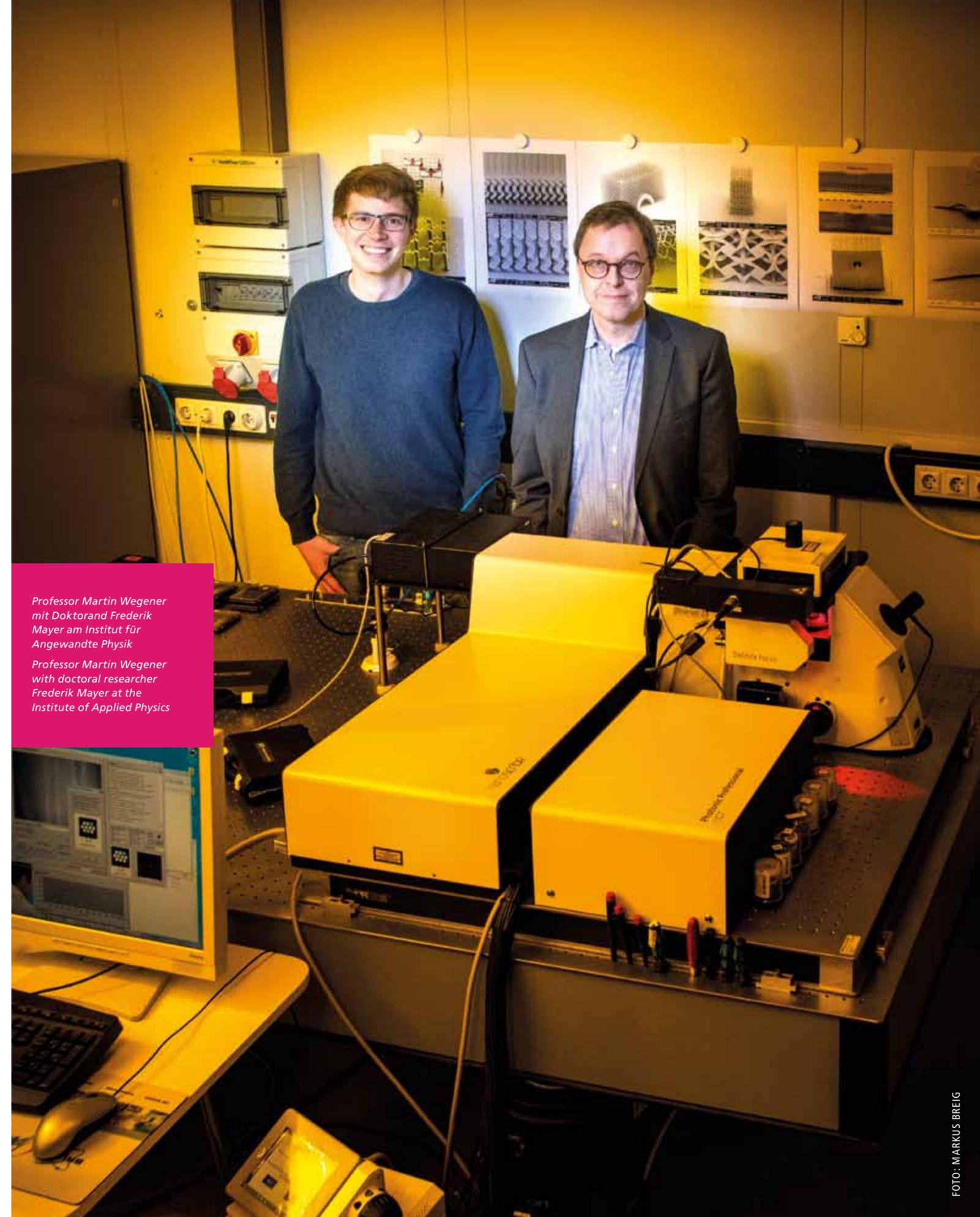
#### Neben Bund und Land fördert Sie auch die Carl-Zeiss-Stiftung. Wofür erhalten Sie Fördergelder und wie viel?

Die Förderung beträgt acht Millionen Euro in sechs Jahren. Die Hälfte davon geht in das Stipendienprogramm für Doktoranden. Daneben dienen die Mittel dazu, die Ausstattung für eine Professur im Heidelberger Centre for Advanced Materials zu verbessern. Außerdem bauen wir ein Nutzerlabor in Karlsruhe auf und schließlich finanzieren wir damit eine sogenannte Vision-Assessment-Studie des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am KIT.

#### Sie beschäftigen sich also auch mit Technikfolgenabschätzung?

Eigentlich setzt dieses Projekt sogar schon etwas früher an, da es ja noch keine Technik gibt, die man abschätzen kann, daher heißt es auch Vision Assessment. Das Projekt befasst sich schon jetzt damit, welche Herausforderungen und Probleme potenzielle Entwicklungen auf unserem Forschungsgebiet mit sich bringen könnten. Wenn wir noch einmal auf die künstliche Retina zurückkommen, so wäre etwa denkbar, dass Menschen auf die Idee kommen könnten, die natürliche Retina durch eine bessere künstliche zu ersetzen. Und beim 3D-Druck muss man sich irgendwann Gedanken um das Copyright machen, denn es bestünde ja durchaus die Möglichkeit, sich illegal Daten zu beschaffen und Objekte auszudrucken, für die Schutzrechte vorhanden sind. Die Fragen sind zwangsläufig noch sehr offen, weil wir nicht genau wissen, worüber wir reden. Trotzdem ist es besser, jetzt schon anzufangen als abzuwarten. ■

Info und Kontakt:  
www.3dmattermadetoorder.kit.edu



Professor Martin Wegener mit Doktorand Frederik Mayer am Institut für Angewandte Physik

Professor Martin Wegener with doctoral researcher Frederik Mayer at the Institute of Applied Physics



# Optimale

## Architektur

MITHILFE MOLEKULARER  
REGALSYSTEME SOLLEN  
ORGANISCHE SOLAR-  
ZELLEN EFFIZIENTER  
WERDEN

VON DR. MARTIN HEIDELBERGER

Bei organischen Solarzellen werden zur Umwandlung von Licht in elektrische Energie statt anorganischer Halbleiter organische Moleküle verwendet. Schon seit Jahrzehnten wird diese Technologie erforscht – organische Solarzellen sind inzwischen so etwas wie ewige Hoffnungsträger einer zukünftigen Revolution. Eines Tages, so die Prognose, könnten sie eine neue Ära der dezentralen Energieerzeugung einleiten, in der so ziemlich alles mit Solarzellen ausgestattet wird, was eine halbwegs ausreichende Oberfläche aufweist. In Zeiten der globalen Klimaerwärmung ist das sicherlich keine schlechte Idee, und tatsächlich haben organische Solarzellen bemerkenswerte Eigenschaften: Sie sind preiswert und ressourcenschonend in der Herstellung, sie sind ungiftig für Mensch und Umwelt und können dabei ebenso flexibel und vielseitig gefertigt werden wie andere Plastikprodukte – sogar transparente, auf Kleidung befestigte Module sind möglich. Allerdings gibt es ein Problem: Organische Solarzellen erreichen bislang nur einen geringen Wirkungsgrad, was einen Durchbruch auf dem Massenmarkt verhindert. Ein Forscher-

# der richtigen Materialien



Professor Christof Wöll leitet seit 2009 das Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG) des KIT

Headed Professor Christof Wöll has the Institute of Functional Interfaces (IFG) at KIT since 2009

team rund um Professor Christof Wöll vom Institut für Funktionelle Grenzflächen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie Professor Fabrice Odobel der Universität von Nantes in Frankreich sieht sich nun vor einem entscheidenden Durchbruch: „Ich glaube, dass organische Solarzellen prinzipiell sogar einen höheren Wirkungsgrad erreichen können als konventionelle Solarzellen“, sagt der Karlsruher Physiker. „Der Schlüssel hierfür liegt in der Kombination optimierter Architekturen mit den richtigen Materialien.“

Durch die Wechselwirkung einer organischen Solarzelle mit Licht kommt es zur Anregung der Elektronen des Halbleiters. Dabei werden die Elektronen von ihren ursprünglichen Positionen entfernt und es bilden sich Elektronen-Loch-Paare (Exzitonen). Diese können sich im Halbleitermaterial frei bewegen. Die Energie des Photons wird damit sozusagen „verpackt“ und kann durch den Halbleiter transportiert werden. Dieser Energietransport verläuft bislang auf ungeordneten Pfaden in alle Raumrichtungen und nur, wenn die Quasiteilchen zufällig auf die Kon-

## Sammelband zur Materialforschung am KIT

Am KIT haben die transdisziplinäre Erforschung und Entwicklung von Materialien, ihre Charakterisierung und Anwendung seit vielen Jahren einen besonderen Stellenwert. Von dreidimensionalen additiven Fertigungsverfahren im Nanobereich über Materialien für die Energiekonversion, bis hin zu molekularen Werkzeugen für die Lebenswissenschaften steht die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft dabei für innovative Impulse mit globaler Ausstrahlung.

Nachzulesen ist dies nun in einem von Professor Wolfgang Wenzel und Professor Christof Wöll herausgegebenen Sammelband mit dem Titel „Multidisciplinary Materials Research at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT)“. Die Sonderausgabe der Zeitschrift *Advanced Materials* umfasst 27 besonders einflussreiche Artikel, die einen guten Einblick in die laufenden Forschungsaktivitäten geben. „Der neue Sammelband markiert den Fortschritt in der Materialforschung in seiner ganzen Breite“, sagt Professor Oliver Kraft, Co-Autor des Editorials, Materialwissenschaftler und Vizepräsident für Forschung am KIT. „Die hier zusammengestellten Arbeiten zeigen deutlich, wie intelligente Materialien sowie neuartige Fertigungs- und Simulationsmethoden unsere technologischen Fähigkeiten in den unterschiedlichsten Gebieten erweitern und uns so dabei helfen können auf aktuelle Herausforderungen wie zum Beispiel den Klimawandel zu reagieren und die menschliche Zivilisation auf eine nachhaltigere Zukunft vorzubereiten.“

Der Sammelband mit vielen Abbildungen kann über *Advanced Materials* bestellt werden. Alle darin enthaltenen Beiträge sind bereits als Open Access Artikel verfügbar. ■

takte der Solarzelle treffen, kann die Photonenenergie in elektrischen Strom umgewandelt werden. „Viele Exzitonen gehen aber auf diesem Weg verloren“, erklärt Wöll das Problem, mit dem die Wissenschaft bislang konfrontiert ist. „Um bei organischen Solarzellen einen größeren Wirkungsgrad zu erreichen, brauchen wir einen gerichteten Exzitonenfluss – was allerdings eine große technologische Herausforderung darstellt.“ Forschungsgruppen weltweit würden mit topochemischen Polymeren, doppelwandigen Kohlenstoffnanoröhrchen oder auch mit Strukturen aus origamiartig gefalteten DNA-Molekü-

Forscherinnen und Forscher diskutieren über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von MOFs (Metal-Organic Frameworks)

Researchers discuss diverse applications of MOFs (metal-organic frameworks)





FOTO: ANDREA FABRY

Die speziellen optischen Eigenschaften von surface anchored MOFs (SURMOFs) sollen genutzt werden, um die Effizienz von organischen Solarzellen zu steigern

Special optical properties of surface-anchored MOFs (SURMOFs) will be used to increase the efficiency of organic solar cells

len experimentieren. Obwohl die Ergebnisse mit diesen Materialien vielversprechend sind, ist der für ihre Herstellung erforderliche Aufwand enorm. Wöll und sein Team haben daher einen anderen Ansatz gewählt: Sie setzen auf Metall-organische Gerüstverbindungen (Englisch: metal-organic frameworks, MOFs), deren Herstellung viel einfacher erfolgen kann.

MOFs sind hochporöse Molekülgerüste, in denen organische und anorganische Bauelemente so miteinander kombiniert werden, dass eine Art molekulares Regalsystem entsteht. Diese „Regalfächer“ oder Poren können Materialien aufnehmen, deshalb wurden MOFs auch schon zur Speicherung von Gasen oder auch für Katalyseverfahren eingesetzt. Als profiliertes Kenner der MOFs – seine Forschungsgruppe hatte zuvor bereits innovative Konstruktionsverfahren sowie neue Varianten entwickelt – wusste Wöll bereits, dass mit den High-Tech-Materialien auch interessante optische, richtungsabhängige Effekte erzielt werden können, und so begann er schließlich ihre Eignung für den Exzitonentransport in Solarzellen zu untersuchen. Zur Demonstration des neuartigen Prinzips hat das Forscherteam „surface anchored“ MOFs verwendet (SURMOFs) – eine spezielle Variante des mole-

## Optimum Architecture of the Right Materials

### Molecular Shelf Systems Make Organic Solar Cells More Efficient

TRANSLATION: RALF FRIESE

Organic solar cells use organic molecules instead of inorganic semiconductors to convert light into electrical energy. This technology has been studied for decades and organic solar cells have become something like sources of eternal hope for a future revolution. Someday, the forecast says, they could usher in a new era of decentralized power supply in which nearly everything would be equipped with solar cells, provided there was a halfway sufficient surface. There is one problem, however: Organic solar cells so far have achieved only low efficiencies, which stymied any breakthrough in the mass market. A team of scientists around Professor Christof Wöll of the KIT Institute of Functional Interfaces and Professor Fabrice Odobel at the University of Nantes, France, is now expecting a decisive breakthrough.

The teams use so-called metal-organic frameworks (MOFs), i.e. highly porous molecular structures in which organic and inorganic components are combined in such a way that a kind of molecular shelf system is produced. These “shelf boards,” or pores, can host molecules or nanoparticles, which is why MOFs have been used to store gases or for catalytic processes. To demonstrate the novel principle, the research teams used “surface-anchored” MOFs (SURMOFs), a special variant of the system of molecular shelves. They designed the architecture of the SURMOFs in such a way that “correct” arrangements exist only along certain directions. This creates channels along which energy can be transported to the electrodes.

Although the new method of channeled exciton transport is still in its infancy, first successes are considerable, giving rise to the hope that there may, after all, be a revolution with organic solar cells. “The potential of directed exciton transport is enormous for energy applications,” says Christof Wöll. “If we succeeded in building organic solar cells by this principle, the energy yield could be clearly increased, thus opening up new applications for solar cells.” ■

Contact: christof.woell@kit.edu

kularen Regalsystems, das sich Schicht für Schicht auf einem speziell präparierten Substrat aufgewachsen wird. In diese SURMOF-basierten Schichten wurden dünne Lagen des organischen Halbleiters Anthracen eingebracht, das für die Wechselwirkung mit dem Licht verantwortlich ist. Um den Transport der Quasiteilchen nach ihrer Entstehung aber in die richtige Richtung zu lenken, nutzten sie einen physikalischen Trick: Beim Förster-Resonanzenergietransfer kann ein Energieübertrag verlustfrei zu richtig orientierten Nachbarmolekülen erfolgen. Die Architektur der SURMOFs wurde nun so gestaltet, dass die „richtigen“ Anordnungen nur entlang bestimmter Richtungen vorliegen. Damit entstehen gewissermaßen Kanäle, entlang derer die Energie zu den Elektroden transportiert werden kann.

Obwohl die neue Methode für einen kanalisierten Exzitonentransport noch in den Kinderschuhen steckt, sind diese ersten Erfolge beachtlich und wecken die Hoffnung, dass die Revolution mit den organischen Solarzellen vielleicht doch noch stattfindet. „Für Energieanwendungen ist das Potenzial eines gerichteten Exzitonentransports enorm“, sagt Christof Wöll. „Wenn es uns gelingt, organische Solarzellen nach diesem Prinzip zu fertigen, könnte die Energieausbeute deutlich gesteigert werden und damit den Solarzellen neue Anwendungsfelder erschließen.“ Zukünftig wollen die Forscher daran arbeiten, die Effizienz des Exzitonentransports und die Diffusionslänge noch weiter zu erhöhen. ■

Kontakt: christof.woell@kit.edu



## KANN MAN AUS PAPIER PLASTIK HERSTELLEN?

### CAN PLASTICS BE MADE FROM PAPER?

VON DOMENICA RIECKER-SCHWÖRER // TRANSLATION: HEIDI KNIERIM // FOTO: REINHARD SESTER/STOCK.ADOBE.COM, PORTRAIT: GABI ZACHMANN

„Ja, kann man. Es gibt Kunststoffe, die älteren Lesern vielleicht bekannt sind“, sagt Professor Michael Meier vom Institut für Organische Chemie. „Bei meiner Oma gab es noch Cellophanfolien in der Küche. Das hat tolle Materialeigenschaften und ist reinste (regenerierte) Zellulose, also aus dem gleichen Material wie Papier.“ Das Problem sei nur, so Meier weiter, dass man Papier nicht thermoplastisch verarbeiten, also nicht in eine andere Form bringen könne. Denn wenn Papier warm wird, fängt es bekanntermaßen irgendwann an zu brennen. Es gehe also darum, andere Möglichkeiten zu finden: „Da gibt es den sogenannten Viskoseprozess, um die Zellulose über eine Derivatierung verarbeitbar und löslich zu machen und in eine neue Form, also z. B. eine Folie, zu bringen“, erklärt Meier. „In dem Prozess wird die Derivatierung wieder rückgängig gemacht, und wir erhalten reine, regenerierte Zellulose zurück – aber eben in der gewünschten makroskopischen Form.“ Das Problem dabei sei allerdings, dass das Viskoseverfahren mit sehr viel Umweltbelastung und teils toxischen Chemikalien einhergeht.

Deshalb untersuchen Michael Meier und sein Team ein neues System für die Lösung von Zellulose, eine sogenannte schaltbare ionische Flüssigkeit. „Schaltbar in dem Sinne, dass man die Polarität von sehr polar nach sehr unpolar schalten kann, eine sog. reversible ionische Flüssigkeit“, sagt Meier. „Der Schalter ist in dem Fall CO<sub>2</sub> Gas zusammen mit einer starken organischen Base und sehr einfach: Man gibt CO<sub>2</sub> Druck auf das System, die Zellulose löst sich, man nimmt den CO<sub>2</sub> Druck wieder weg, die Zellulose wird regeneriert. Damit haben wir erste Erfolge auch in Richtung nachhaltiger Cellophanfolie oder auch Aerogelen mit weniger Abfall und weniger toxischen Chemikalien.“ Die Gruppe untersucht auch Derivatierungen von der Zellulose in diesem System, das hieße zum Beispiel, sie mit anderen nachwachsenden Rohstoffen zu kombinieren. „Mit Pflanzenölen funktioniert das am allerbesten“, sagt Meier. „In der Küche kann man Stärke, auch ein polymeres Kohlenhydrat wie Cellulose, und Salatöl nicht mischen. Aber wenn man in diesem speziellen Lösungsmittelsystem die beiden miteinander zur Reaktion bringt entstehen polymere Materialien – und Zellulose ist ein natürliches Polymer – die dann verarbeitet werden können und bei denen die Materialeigenschaften über einen relativ breiten Bereich einstellbar sind. Daraus könnte zum Beispiel transparente Verpackungsfolien hergestellt werden, aber auch Formteile, wie zum Beispiel ein Handygehäuse.“ ■

Kontakt: m.a.r.meier@kit.edu

„Yes, that’s possible. And such plastics may be familiar to older readers,” says Professor Michael Meier from the Institute of Organic Chemistry. “My grandmother used cellophane foil to wrap food in her kitchen. Cellophane has great material properties and is pure (regenerated) cellulose, i.e. it is made from the same material as paper.” According to Professor Meier, the only problem is that paper cannot be processed thermoplastically, i.e. it cannot be transformed into another shape: Everybody knows that when paper is heated, it eventually starts to burn. The aim is therefore to find alternative processing methods: “The so-called viscose process serves to process and solubilize cellulose through derivatization and convert it into a desired shape, e.g. a film,” explains Meier. “In this process, the derivatization is reversed and we obtain pure, regenerated cellulose – in the desired macroscopic form.” The problem, however, is that the viscose process is associated with a great deal of environmental pollution and sometimes toxic chemicals.

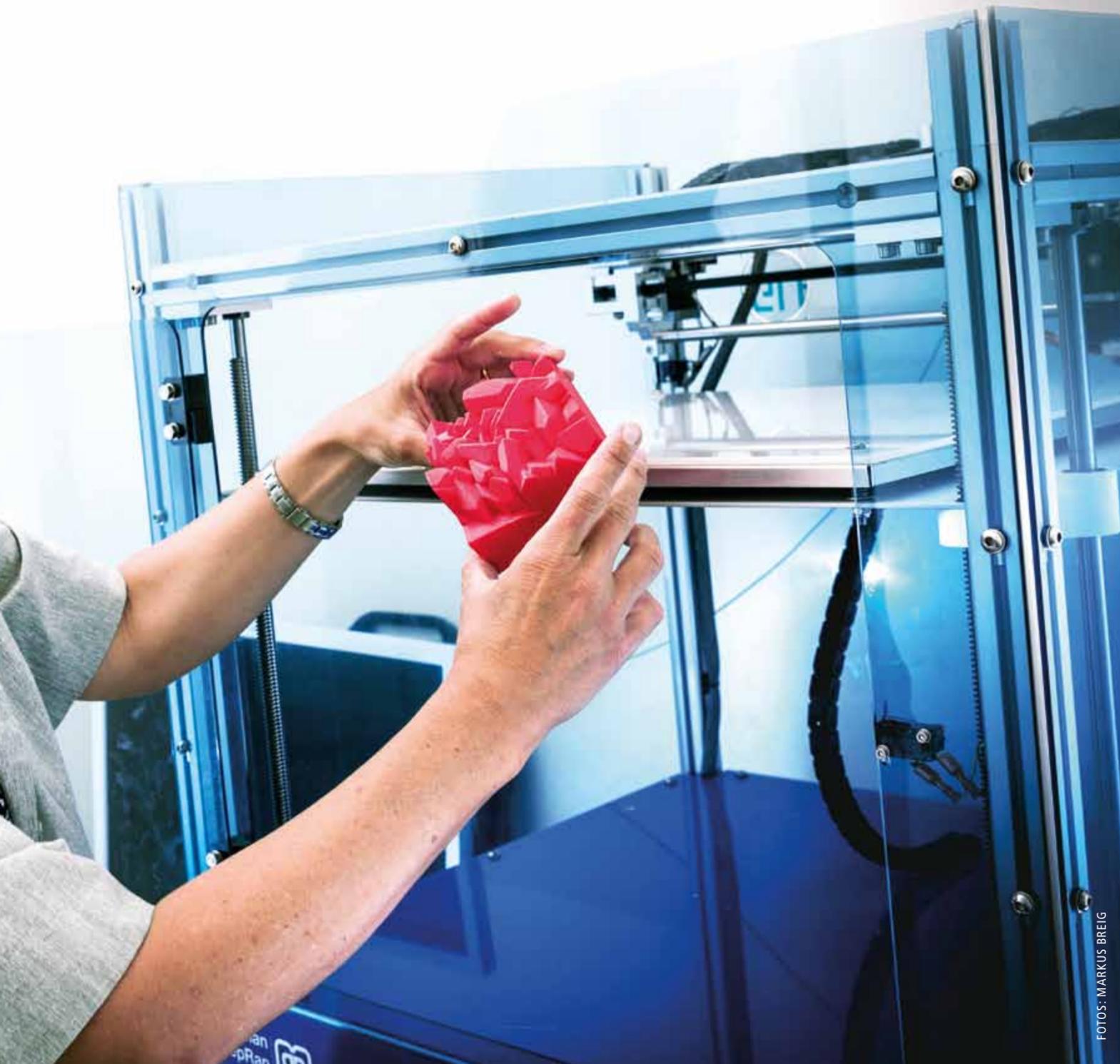
Michael Meier and his team are therefore investigating a new system for dissolving cellulose. “We examine a so-called reversible ionic liquid that is switchable in the sense that the polarity can be switched from very polar to very nonpolar,” says Meier. “The switch in this case is CO<sub>2</sub> gas together with a strong organic base and is very simple: You apply CO<sub>2</sub> pressure to the system – the cellulose dissolves, you remove the CO<sub>2</sub> pressure again – the cellulose is regenerated. We have achieved initial successes regarding sustainable cellophane film or aerogels with less waste and fewer toxic chemicals.” The group is also investigating derivatizations of the cellulose in this system, which means, for example, combining it with other renewable raw materials. “It works best with vegetable oils,” says Meier. “In the kitchen, you can’t mix starch, which is also a polymeric carbohydrate like cellulose, with salad oil. But if one reacts the two together in this special solvent system, polymeric materials are formed – and cellulose is a natural polymer – which can then be processed and in which the material properties can be adjusted over a relatively wide range. These materials could be used to produce transparent packaging films, for example, or molded parts such as mobile phone housings.” ■

Contact: m.a.r.meier@kit.edu

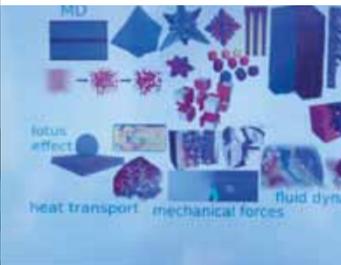


PROFESSORIN BRITTA  
NESTLER ÜBER MATERIAL-  
ENTWICKLUNG DURCH  
COMPUTERSIMULATION

# Digitale Zwillinge



FOTOS: MARKUS BREIG



Seit 2010 forscht und lehrt die Professorin Britta Nestler am KIT und ist dort Mitglied der kollegialen Leitung des Instituts für Angewandte Materialien. 2017 erhielt sie den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Since 2010, Professor Britta Nestler has been researching and teaching at KIT, where she is a member of the collegial management team of the Institute for Applied Materials. In 2017, she received the Gottfried Wilhelm Leibniz Prize of the German Research Foundation (DFG)

**Das weite Feld der Materialforschung erstreckt sich vom Maschinenbau über die Physik und Chemie bis hin zu informatischen Methoden der Datenanalyse und des Maschinellen Lernens. Über die effiziente und beschleunigte Materialentwicklung durch Mikrostruktursimulationen bei ganz unterschiedlichen Werkstoffen hat lookKIT-Autorin Dr. Sabine Fodi mit der Professorin und Leibniz-Preisträgerin Britta Nestler vom Institut für Angewandte Materialien gesprochen.**

**Materialforschung wird am KIT an vielen Stellen betrieben, wo sind Sie angesiedelt?**  
Britta Nestler: Um der Materialforschung am KIT mehr Sichtbarkeit zu verleihen, die experimentellen und simulativen Kompetenzen und breiten Aktivitäten zu bündeln, wurde 2011 das Institut für Angewandte Materialien, IAM, gegründet. Zum IAM gehöre ich in kollegialer Leitung des Teilinstituts „Computational Materials Science“. Mit unseren Forschungsarbeiten konzentrieren wir uns auf die Mikrostruktursimulation in der Materialforschung.

**Wie laufen solche Materialmodellierungen und -simulationen ab?**

Zunächst entwickeln wir mathematisch-physikalische Modelle, setzen diese am Rechner um und integrieren materialspezifische Kenngrößen aus der Thermodynamik, Kontinuumsmechanik, Elektrochemie oder der Strömungslehre. Mit diesen multiphysikalischen Modellen führen wir über selbst entwickelte Simulationssoftware Mikrostruktursimulationen für ganz unterschiedliche Materialklassen durch. Die gekoppelten dynamischen Evolutionsgleichungen werden in einem hochperformanten Simulationsframework auf Hochleistungsrechnern parallel gelöst.

**Welche Materialien lassen sich denn modellieren?**

Wir sind da mittlerweile sehr breit aufgestellt. Angefangen haben wir vor fast 20 Jahren mit mehrkomponentigen, metallischen Legierungen, die beim Gießen von Werkstoffen wie beispielsweise Stahl, Gusseisen oder Aluminiumlegierungen verwendet werden. Wir versuchen, am Computer zu verstehen, wie die Struktur im Werkstoff entsteht, denn diese sagt viel über die Qualität des Materials, über Lebenszyklen, Schädigung und Rissbildung bis hin zum Versagen aus. Da die Modelle sehr generisch sind, kann man sie unter Einbindung materialspezifischer Größen und Energien auf andere Werkstoffe

wie Keramiken, Geomaterialien oder Polymere übertragen.

**Warum benötigt man in der Materialentwicklung solche Simulationsprogramme?**

Ziel der Simulationen ist die Erzeugung digitaler Zwillinge der Realität. Die Simulationen sollen in der Lage sein, durch Berücksichtigung von viel physikalischem Inhalt über das System eine vergleichbare digitale Struktur wie bei dem realen Abbild zu beschreiben. Wenn der digitale Zwilling steht, können in der Modellierung nun gezielt Material- oder Prozessierungsgrößen geändert werden, um zu sehen, welchen Einfluss diese Größen auf das Gefüge oder folglich auf die Eigenschaften des Werkstoffs haben.

**Lassen sich so die einzelnen Herstellungsschritte eines Werkstoffes optimieren?**

Ja, durch Änderung der Herstellungsparameter lassen sich Zusammenhänge zu der resultierenden Mikrostruktur ablesen und daraus erkennen, ob ein Werkstoff in speziellen Eigenschaften besser oder schlechter wird. Die beschleunigte Materialentwicklung durch Computersimulationen ist heutzutage ein großes Thema, denn am Rechner kann man ohne Störeffekte schnell einzelne Größen verändern und das Material mit gezielten Ei-

Teambesprechung  
am Institut für  
Angewandte  
Materialien –  
Computational  
Materials Science

Team meeting  
at the Institute  
for Applied Materials  
– Computational  
Materials Science



FOTOS: MARKUS BREIG

## Digital Twins

### Professor Britta Nestler Talks about Using Computer Simulation to Develop Materials

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

The broad field of materials research includes mechanical engineering, physics, chemistry, data science methods, and machine learning. Efficient and accelerated development of materials by microstructure simulations was the focus of a conversation between Dr. Sabine Fodi and Professor Dr. Britta Nestler. Nestler works at the Institute for Applied Materials that was established at KIT in 2011 to enhance visibility of materials research and pool the wide scope of activities.

Modeling and simulation of materials begin with the development of mathematical-physical models into which material-specific characteristics relating to thermodynamics, continuum mechanics, electrochemistry or fluid mechanics are integrated. These multi-physical models, together with self-developed simulation software, are then applied to simulate microstructures of various classes of materials.

The models are generic, so they can be applied to many materials, including metals, ceramics, ge-materials, and polymers. Simulations are aimed at generating digital twins of reality. In the course of modeling, specific variables of the materials and processing methods are varied to analyze their influence on the structure and properties of materials. In this way, production steps can be optimized and specific design of the materials is possible.

Nestler's team of researchers not only develops models, but also the software necessary to perform large-scale simulations on the microstructure level in particular. Currently, the team is working on simulations of materials on high-performance computers in order to generate training data for machine learning methods. ■

Contact: [britta.nestler@kit.edu](mailto:britta.nestler@kit.edu)

genschaften designen. Dahingegen ist das Experiment aufwändig, material- und zeitintensiv und nicht so exakt zu kontrollieren.

#### Wie überprüfen Sie Ihre Methoden?

Zunächst formulieren wir theoretische, also analytische Methoden und leiten mathematisch-physikalische Gesetzmäßigkeiten her, mit denen wir die Materialmodelle validieren. Im Experiment bei Kooperationspartnern wird dann überprüft, ob der von uns erzeugte digitale Zwilling in der Realität wie vorhergesagt reagiert.

#### Gibt es Grenzen bei der Modellierung und Simulation?

Es gibt immer Einflussgrößen, Randbedingungen oder Störfaktoren, die im Modell und in der Simulation noch nicht berücksichtigt sind. Deshalb geht uns die Forschungsarbeit nicht aus, die Modellentwicklung lebt wegen der großen Komplexität und dem ständigem Bedarf an Erweiterungen kontinuierlich weiter. Dennoch muss man auch sagen, dass sich in vielen Fällen durch die einschränkende Betrachtung der wesentlichen Parameter die grobe Tendenz in Materialien sehr gut vorhersagen lässt.

#### Was ist dafür notwendig?

Am Institut entwickeln wir nicht nur die Modelle, sondern auch die eigene Software. Bereits vor 15 Jahren haben wir größten Wert darauf gelegt, unsere Software „performant“ auf Höchstleistungsrechnern skalierbar laufen zu lassen, das heißt, jede Erweiterung des Codes muss also zwingend hochleistungsrechnerfähig sein. Damit können wir lange Zeitabschnitte und große Ausschnitte einer Mikrostruktur beschreiben. Mittlerweile stehen wir weltweit für eine Forschungsgruppe, die insbesondere großskalige Simulationen auf der Mikrostrukturskala durchführt.

#### Woran forschen Sie da aktuell?

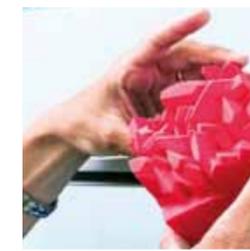
Momentan arbeiten wir unter anderem an der Nutzung von Materialsimulationen auf Hochleistungsrechnern, um Daten für ein Training von neuen Methoden des Maschinellen Lernens zu generieren. Für die Anwendung moderner Data Science-Algorithmen benötigt man zunächst große Datenvolumina, mit denen diese Methoden lernen können, um dann Tendenzen vorherzusagen, ohne dass weitere rechnerintensive Simulationen durchgeführt werden müssen.

#### Woher kommen die Eingabedaten, die Sie für die Simulation benötigen?

Wir nutzen experimentelle Material- und Prozessdaten von Kooperationspartnern und greifen auf Informationen in bereits bestehenden Datenbanken wie etwa für thermodynamische Energien zurück. Am Institut selber wird eine nachhaltige Datenhaltung in entsprechenden Repositorien für Daten aus Materialsimulationen umgesetzt. Momentan bauen wir im Rahmen eines vom Land bewilligten Science Data Centers gemeinsam mit den Chemikerinnen und Chemikern am KIT ein Framework für Datenmanagement und Datenprozessierung auf, um Informationen systematisch aufzubereiten und für Externe nutzbar zu machen.

#### Was sind die kleinsten Materialdimensionen, die Sie betrachten?

Wir arbeiten typischerweise im Mikrometerbereich und lösen Strukturen von circa 1 bis 1 000 Mikrometern auf. Unsere Programme brauchen Informationen aus der Atomistik wie Anlagerungskinetik oder Diffusion sowie thermodynamische Energien. Wir füttern unsere Modelle skalengreifend mit atomistischen Parametern und thermodynamischen Funktionen. Von der Mikrostruktur lassen sich dann homogenisierte Größen für eine makroskopische Bauteilsimulation ableiten.



#### Welche Materialbereiche decken Sie mit Ihrer Forschung noch ab?

Neben den Metallen beschäftigen wir uns mit den Keramiken aus Pulverpartikeln, die in Brennstoffzellen zum Einsatz kommen oder mit Elektrodenstrukturen in Batteriesystemen sowie mit porösen Strukturen wie polymeren Schaum- oder granularen Sandstrukturen. Momentan bearbeiten wir auch verschiedene Forschungsprojekte gemeinsam mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften, bei denen es um die Veränderung von Gesteinen zum Beispiel bei der Nutzung geothermischer Anlagen geht.

#### Was untersuchen Sie bei Gesteinen?

In Parameterstudien simulieren wir, wie gut Gesteine in die einzelnen Raumrichtungen durchströmbar sind, also die Permeabilität in Abhängigkeit von der Kornstruktur und der Porosität. Weiterhin analysieren wir den Wärme- und Stofftransport, Ablagerungsvorgänge auf den

Oberflächen der Gesteine, Korrosionsprozesse sowie die Bildung von Rissen durch mechanische Kräfte.

#### Wo finden die von Ihnen untersuchten Polymere ihren Einsatz?

Mit der Hochschule Karlsruhe und dem dortigen Institut für Digitale Materialforschung haben wir ein Projekt in der Medizindiagnostik, bei dem die Membranstruktur von Diagnostikträgern wie bei Schwangerschaftstests verbessert werden soll, um den Flüssigkeitstransport zu optimieren.

#### Nun hat das KIT zwei Exzellenzcluster in der Exzellenzstrategie eingeworben, wie sind Sie darin eingebunden?

Erst einmal sind wir als Materialforscherinnen und -forscher sehr stolz über die zwei Exzellenzcluster, da sie beide im Bereich der Materialforschung liegen. Die Forschung von meiner Arbeitsgruppe ist am Batteriecluster POLiS beteiligt. Wir werden gemeinsam mit dem Team am KIT und der Uni Ulm untersuchen, wie man die Elektrodenstruktur der Post-Lithium-Batterie-Materialien gezielt designen kann, um neue Batteriematerialien der Zukunft zu entwickeln. ■

Kontakt: [britta.nestler@kit.edu](mailto:britta.nestler@kit.edu)

ANZEIGE



Wir bieten Startups  
und innovativen Köpfen  
den Raum  
für ihre Ideen!



Technologiefabrik  
Karlsruhe

80 ansässige Startups  
6.500 Jobs geschaffen  
385 betreute Startups bisher  
97% Erfolgsquote

Haid-und-Neu-Str. 7  
76131 Karlsruhe  
Telefon 0721-174 271  
[info@technologiefabrik-ka.de](mailto:info@technologiefabrik-ka.de)  
[www.technologiefabrik-ka.de](http://www.technologiefabrik-ka.de)





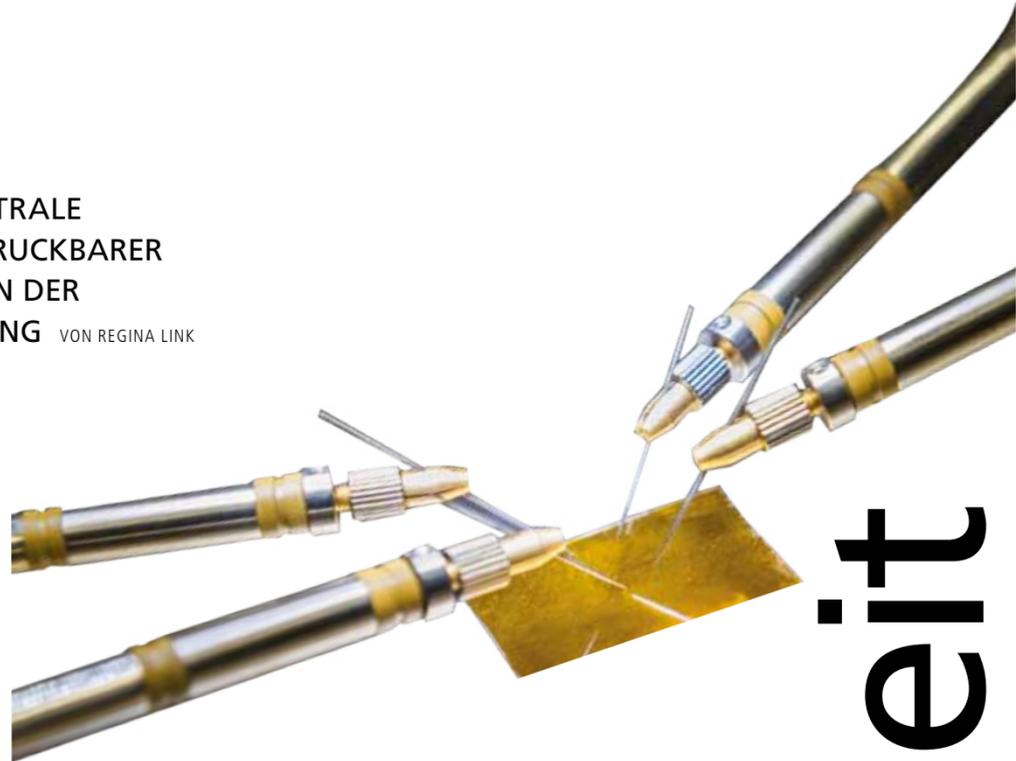
## ÜBER DIE ZENTRALE ROLLE VON DRUCKBARER ELEKTRONIK IN DER DIGITALISIERUNG

VON REGINA LINK

Kartoffeln oder Silizium – das sind die Materialien, mit denen man Chips bislang in Verbindung bringt. Die einen kommen aus der Tüte und werden zum abendlichen Bier geknuspert, die anderen sind als Rechneinheit im Miniaturformat die Grundlage für Computer und mehr. Noch haben die Computerchips starre Siliziumscheiben, sogenannte Wafer, als Trägermaterial. Doch die nächste Technologie ist bereits im Begriff, buchstäblich einen starken Eindruck zu hinterlassen. Druckbare Elektronik spielt für Professorin Jasmin Aghassi vom Institut für Nanotechnologie in Zeiten der Digitalisierung eine zentrale Rolle. Sie und ihre internationale Arbeitsgruppe mischen dabei kräftig mit.

Die Physikerin, die fünf Jahre bei den Chipherstellern Intel und Infineon gearbeitet hat, setzt aufs Ganze: „Alles, was wir simulieren oder designen, wollen wir auch herstellen, das ist unser Anspruch“, so Aghassi. Sie möchte den gesamten Druckprozess für elektronische Bauelemente beherrschen, das heißt geeignete Ausgangsmaterialien finden, daraus Tinten herstellen, einzelne Bauelemente drucken, sie analysieren und modellieren und, basierend auf diesem Wissen, ganze Systeme nach Maß designen, entsprechende Baupläne entwerfen und komplette elektronische Funktionseinheiten drucken.

Am Anfang steht dabei die Materialauswahl. Die Tinten stellt das Team selbst aus kommerziell erhältlichen, pulverförmigen Nanopartikeln her. Bereits hier beginnt der technologische Hürdenlauf, denn „es ist schwer, verlässliches Material zu bekommen“, weiß Aghassi. Die Qualität des Pulvers kann beträchtlich schwanken. Inzwischen liefert BASF in einem gemeinsamen Projekt die Qualität, die für ein reproduzierbares gutes Ergebnis gebraucht wird. Im Team am Institut für Nanotechnologie setzt man auf anorganische Verbindungen: „Wir experimentieren mit Metalloxiden wie Indiumoxid als Halbleitermaterial“, erklärt Aghassi.



Besonders an der genutzten Technologie ist ein Kniff im Druckprozess, mit dem sich die Leistungsfähigkeit von gedruckten Transistoren erheblich verbessern lässt: „Wir drucken als zweite Schicht einen Elektrolyten, der die Halbleiterschicht von der Topelektrodenschicht trennt.“ Damit erhöht sich die Schaltgeschwindigkeit erheblich. Und zudem „bügelt“ die Elektrolytschicht die Oberfläche der darunterliegenden Schicht glatt, denn „die Schichten sind nicht so ebenmäßig wie in der Siliziumtechnik, sondern man hat es hierbei mit Oberflächenrauigkeiten oder porösen Schichten zu tun.“

„Es geht um

# Designfreiheit

und freie Form“



FOTOS: LAILA TKOTZ

Professorin Jasmin Aghassi vom Institut für Nanotechnologie  
Professor Jasmin Aghassi from the Institute of Nanotechnology

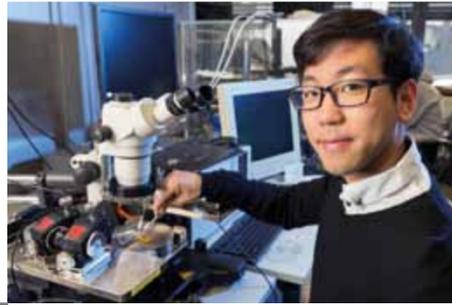


Bei ihrer Arbeit geht die Arbeitsgruppe systematisch vor: Erst suchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein geeignetes Material für die jeweilige Funktion, dann drucken sie einzelne elektronische Bauelemente daraus. Anschließend nehmen sie die verschiedenen Elemente unter die Lupe und modellieren sie. Schließlich landen sie als Standardeinheiten in einer Bibliothek, sozusagen ein Modulbaukasten für den Druck elektronischer Systeme. „In der Siliziumtechnik sind diese Libraries schon geschütztes Wissen, das man an seine Kunden verkauft. Das gibt es im Moment noch gar nicht für druckbare Elektronik“, meint Aghassi, aber sie ist dran: „Inzwischen haben wir Standardbibliotheken für Digitalzellen und für Speicherzellen, gerade arbeiten wir an Analogkomponenten. Damit haben wir schon die komplette Palette an Basiselementen abgedeckt.“

Zwei wesentlich Vorteile sieht Aghassi in der druckbaren Elektronik im Vergleich zur Siliziumtechnik: „Es geht um Designfreiheit und freie Form.“ Da es sich um eine additive Technik handelt, also Schicht für Schicht aufgetragen wird, kann jede Schicht andere Funktionen und auch andere Formen haben. Zugleich ist die Auswahl der Trägermaterialien groß, diese können im Unterschied zu den starren Wafers biegsam sein. Und noch einen Pluspunkt gibt es: „Wir können mit unserer Technik auch kleine Stückzahlen profitabel fertigen und benötigen hierfür keine milliardenschweren Halbleiterfabriken.“ Für druckbare Elektronik braucht es nur einen Drucker, und der kann überall stehen.

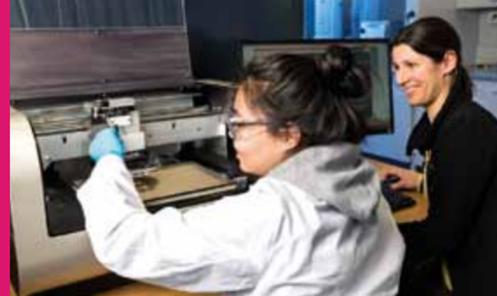
Postdoc Xiaowei Feng sitzt vor der Probenstation bei der Charakterisierung von gedruckter Elektronik (Foto rechts)

Xiaowei Feng (Post-doc) sits in front of the sample station characterizing printed electronics (right photo)



Guan Ying Wang (Austauschstudentin von der Universität Waterloo) setzt die Druckpatrone in den Ink-jet-Drucker, um später elektrische Schaltungen zu drucken, rechts neben ihr: Professorin Jasmin Aghassi

Guan Ying Wang (exchange student from Waterloo University) inserts the cartridge into the inkjet printer to later print electrical circuits, on her right: Professor Jasmin Aghassi



## “It Is All about Freedom of Design and Free Form”

### The Key Role of Printable Electronics in Digitization

TRANSLATION BY RALF FRIESE

For the time being, computer chips are made out of rigid silicon disks, so-called wafers. However, the technology that will replace them is already about to leave a major impression, literally. To Professor Jasmin Aghassi of the Institute of Nanotechnology, printable electronics plays a key role in these times of digitalization. The physicist, who spent five years working for the Intel and Infineon chip manufacturers, takes an expansive view: “Everything we simulate or design we also want to manufacture; this is our claim,” says Aghassi. She wants to manage the entire printing process for electronic components, i.e., find suitable source materials, use them to prepare inks, print individual design elements, analyze and model these and, based on this knowledge, design entire systems to measure, draft the appropriate design plans, and print complete electronic functional units.

The working group takes a systematic approach: First, scientists look for a suitable material for the respective function, then print individual electronic components. Next, they scrutinize the different elements and model them. To Aghassi, printable electronics offers two advantages over silicon technology: “It is a matter of freedom of design and freedom in form.” As this is an additive technique, i.e. layer is added to layer, every layer can have different functions and also different forms. At the same time, the choice of carrier materials is immense; unlike rigid wafers, they can be flexible. And there is yet another benefit: “Our technology allows us to manufacture profitably in small lots without having to spend billions on semiconductor factories.” ■

Contact: [jasmin.aghassi@kit.edu](mailto:jasmin.aghassi@kit.edu)

Vielleicht nicht in jedem Privathaushalt, aber bei Kosten um 50 000 bis 100 000 Euro ist solch ein Drucker für Firmen durchaus eine gute und machbare Investition.

Druckbare Elektronik hat jedoch auch ihre Grenzen: „Wenn man zum Beispiel eine Milliarde Transistoren auf einem Chip verbinden möchte, um eine hohe Rechnerleistung zu erreichen, dann ist druckbare Elektronik sicher nicht das Mittel der Wahl“, schränkt Aghassi ein. „Wir denken in Dimensionen von 1 bis 1 000 Transistoren, damit können wir fast alle Schaltungsvarianten drucken.“ Für die studierte Physikerin hat druckbare Elektronik dort ihren Platz, wo es auf Designfreiheit und freie Form ankommt. Noch gibt es nicht allzu viele Anwendungsbeispiele, doch sie sind im Kommen. In der Arbeitsgruppe von Jasmin Aghassi denkt man in verschiedene Richtungen. Schon sehr weit ist ein Projekt, das sich mit Verschlüsselungstechnik befasst. „Wir möchten Schaltungen drucken, die man adressieren und auslesen kann und die eine digitale Antwortfunktion geben, die nicht klonbar und eindeutig ist“, so Aghassi, also eine Art digitaler Sicherheitsschlüssel. Auch in Richtung opto-elektronische Sensorik oder Kraftsensorik arbeitet die Gruppe genauso wie an Lösungen für die Medizintechnik, Stichwort gedruckte Biochips. „Bei jeder dieser Anwendungen brauchen Sie immer komplexere Schaltungen und Bauplä-

ne und dafür wiederum eine genaue Beschreibung dieser Bauelemente und eine Kontrolle über die Herstellung“, sagt Aghassi, und genau das macht ihre Abteilung.

Was sie in jedem Fall auch braucht, um ihr weites Arbeitsfeld abzudecken, ist eine breite fachliche Expertise, und die ist in ihrem interdisziplinären Team ganz offensichtlich gegeben, genauso wie Internationalität. Ein Zufall? „Die Themen Schaltungsdesign und Modellierung von Bauelemente sind ein klassisches Silizium-Forschungsgebiet, hier hat Deutschland schon vor zehn Jahren die Spitzenposition an asiatische Länder und die USA verloren“, meint Aghassi. Das macht sich unter anderem dadurch bemerkbar, dass sie viele Bewerbungen aus Taiwan, China und Indien bekommt. Beim Thema Drucken genauso wie in der Elektrotechnik und Physik hingegen ist Deutschland stark geblieben, was sich auch in ihrer Gruppe abbildet. Seit einiger Zeit unterstützen außerdem im Rahmen einer Kooperation mit der kanadischen University of Waterloo Masterstudierende des interdisziplinären Studiengangs Nanosystems, das Team. „Das läuft sehr gut und wir sind glücklich über diesen Austausch“, freut sich Aghassi. Umgekehrt profitieren die Masteranwärter, aber auch die Promovierenden in ihrer Gruppe von der sehr umfassenden, methodischen und praxisorientierten Arbeitsweise. „Ich denke, es ist auch



FOTOS: LAILA TKOTZ

Die elektrische Schaltung auf dem flexiblen Substrat wird mithilfe der Probe-Station getestet

The electrical circuit on the flexible substrate is tested using the sample station

Die Druckpatrone wird in den Ink-jet-Drucker gesetzt, um später elektrische Schaltungen zu drucken

The cartridge is inserted into the inkjet printer to print electrical circuits later on

etwas Besonderes für die Studierenden, so arbeiten zu können. Sie sind damit bestens vorbereitet, gute Positionen in der Industrie zu finden, aber auch in der Forschung ist das enorm hilfreich“, so Aghassi, die sich im KIT genau richtig verortet sieht: „Für diese systematische Vorgehensweise brauchen wir viele Disziplinen, es sind mehrere Professuren involviert, dafür braucht man die Großforschungsstrukturen, das passt perfekt zur Forschung in der Helmholtz-Gemeinschaft.“ ■

Kontakt: [jasmin.aghassi@kit.edu](mailto:jasmin.aghassi@kit.edu)



ANZEIGE

State-of-the-art **TECHNOLOGY EXPERTISE**  
combined with current  
**MANAGEMENT KNOW-HOW**  
in an **INTERNATIONAL ENVIRONMENT**

**HECTOR SCHOOL**  
Technology Business School of the KIT



[www.ectorschool.kit.edu](http://www.ectorschool.kit.edu)

**EXECUTIVE MASTER OF SCIENCE PROGRAMS**



Management of Product Development



Production & Operations Management



Mobility Systems Engineering & Management



Energy Engineering & Management



Financial Engineering



Information Systems Engineering & Management





## PROMISING NEW CLASS OF HIGH-ENTROPY OXIDES MIGHT BE USEFUL IN ENERGY STORAGE

BY GEREON WIESEHÖFER // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

# Hope for Nearly Unlimited Opportunities

“To understand the specifics of high-entropy oxides, we should start at the very beginning of history, i.e. iron.” Professor Horst Hahn knows quite well how to explain his showpiece in an understandable way. He has been Director of KIT’s Institute of Nanotechnology since 2004 and Professor at TU Darmstadt since 1992.

Iron already was known as a valuable material in ancient times. The metal shows its true strength when in the form of an iron-carbon alloy, also known as steel. In this case, small amounts of another substance, namely, max. 2 percent by mass of carbon and other metallic alloying elements, are added to the pure iron metal. “These small quantities of admixtures have a big influence on the structure of the alloy and are decisive for its properties, such as mechanical strength, electrical conductivity, or its corrosion behavior,” Hahn explains.

Modern metal alloys mostly consist of several metals. In most cases, they do not form any homogeneous mixture, but multi-phase structures with lattices differing from those of the constituent metals.

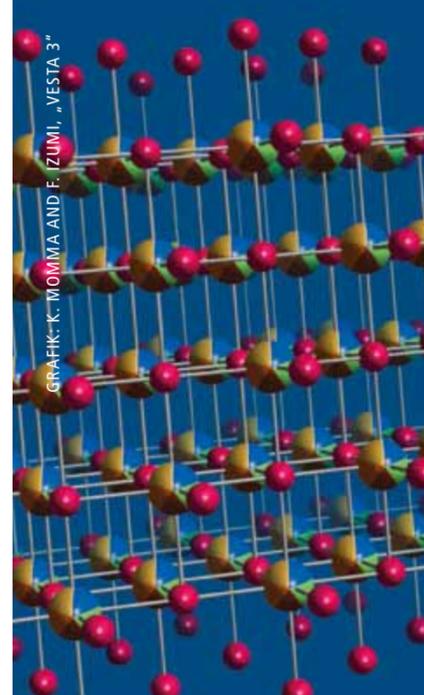
A milestone in the development of a new class of alloy systems with several elements in equi-atomic composition and single-phase structures was reached in 2004. These so-called high-entropy alloys are characterized by special mechanical properties, in particular by high strength and good deformability. The original idea of Professor Brian Cantor had been implemented first by his student Alan Vincent in the 1970s, but received hardly any attention. Jien-Wei Yeh from Taiwan and S. Ranganathan from India successfully continued research along this line and Jien-Wei Yeh coined the term of high-entropy alloys.

A few years ago, KIT came into play. In 2014, Horst Hahn, together with his Indian colleague Subramshu S. Bhattacharya, wanted to find out whether the laws of production for high-entropy alloys could be transferred to oxides. Abhishek Sarkar, who studied at the Indian Institute of Technology in Madras, India, and came to KIT as master’s student under a DAAD program, took over the project. His finding: when five transition metal cations are mixed at the same ratios, single-phase systems in a crystal-line salt structure result. At that time, the group

of Jon-Paul Maria at North Carolina State University worked on the same transition metal oxide system and published their results in Nature Communications. High-entropy oxides had been discovered. At KIT, rare-earth metal high-entropy oxides were subsequently produced. They also formed single-phase systems, but in a fluorite structure. Even a combination of five transition metal cations and five rare-earth cations led to single-phase systems in a perovskite structure.

“Since then, we have focused on the oxides. Now, we are faced with an incredibly high number of opportunities to develop new materials,” Horst Hahn says. His group is the global leader in this area. More than half of all international publications are written by Hahn or the German-Indian research team.

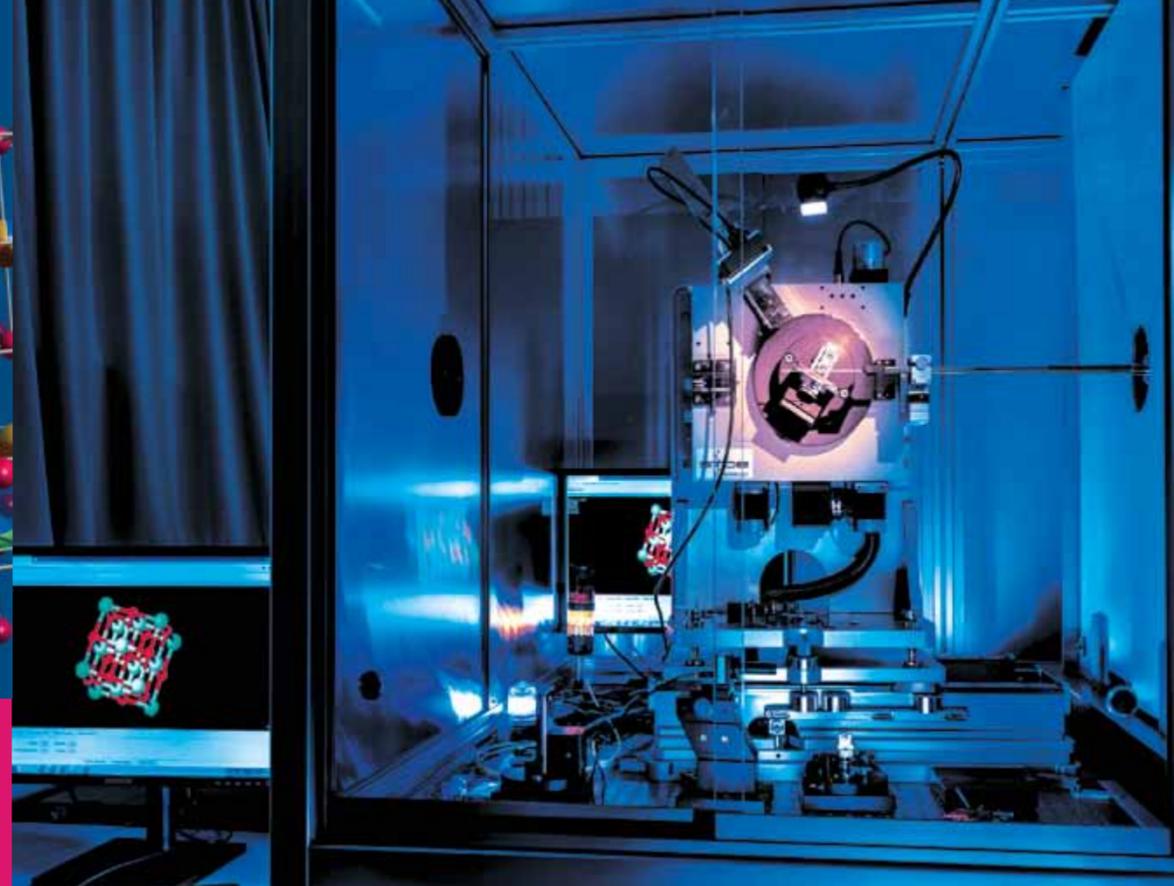
By means of nebulized spray pyrolysis, a method developed by Horst Hahn’s group, up to four different high-entropy oxides can be synthesized per day. Metal salts are dissolved. Then, an aerosol generator is used to produce a spray of small droplets that are fed into a tube furnace with nitrogen as carrier gas. At



GRAFIK: K. MOMMA AND F. IZUMI, „VESTA 3“

*Professor Horst Hahn’s group is in an internationally leading position in the research field of high-entropy oxides. They expect possible applications, for example, in battery development*

*Die Gruppe von Professor Horst Hahn ist international führend auf dem Forschungsfeld der High-Entropy Oxides. Anwendungsmöglichkeiten erwarten sie beispielsweise in der Batterieentwicklung*



*Scientist Dr. Miriam Botros using a pulsed laser deposition facility to synthesize thin high-entropy material layers (left photo). Dr. Ben Breitung (above) conducting electrochemical experiments with high entropy cathode and anode materials*

*Wissenschaftlerin Dr. Miriam Botros mit einer Pulsed Laser Deposition Anlage zur Synthese von dünnen Hochentropie-Material Schichten (Foto links). Dr. Ben Breitung (oben) bei elektrochemischen Experimenten mit Hochentropie Kathoden- und Anodenmaterialien*



Professor Horst Hahn, Director of the Institute of Nanotechnology and Spokesperson of the Helmholtz Program Science and Technology of Nanosystems

Professor Horst Hahn, Direktor des Instituts für Nanotechnologie und Sprecher des Helmholtz-Programms Science and Technology of Nanosystems

## Hoffnung auf nahezu unbegrenzte Möglichkeiten

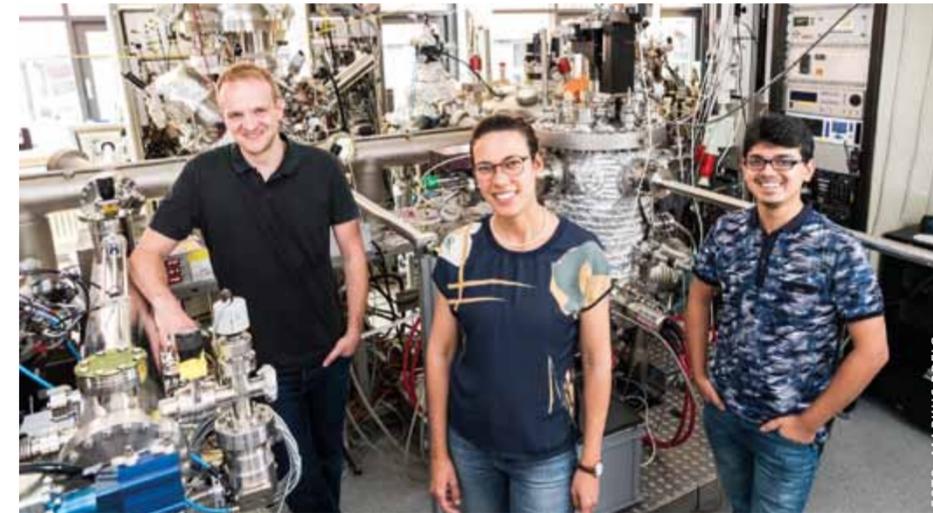
### Vielversprechende neue Materialklasse High Entropy Oxides könnte auch in der Energiespeicherung Anwendung finden

Ein Meilenstein in der Entwicklung neuer Legierungssysteme mit mehreren Elementen in äquiatomer Zusammensetzung und einphasigen Strukturen wurde im Jahr 2004 erreicht, als erstmalig über diese neue Materialklasse berichtet wurde. Die sogenannten High Entropy-Legierungen zeichnen sich durch besondere mechanische Eigenschaften, wie hohe Festigkeit und gute Verformbarkeit aus. Vor wenigen Jahren kam dann das KIT ins Spiel: 2014 ging Horst Hahn zusammen mit seinem indischen Kollegen Subramshu S. Bhattacharya der Frage nach, ob die Gesetzmäßigkeiten, die man bei der Herstellung von High Entropy Alloys gefunden hatte, nicht auch auf Oxide übertragbar wären. Hahn ist seit 2004 Direktor des Instituts für Nanotechnologie am KIT und Professor an der TU Darmstadt seit 1992. Abhishek Sarkar, damals noch Student am Indian Institute of Technology Madras in Indien und über das DAAD-Programm als Masterstudent am KIT tätig, übernahm das Projekt und wurde fündig: Mischte man fünf Übergangsmetallkationen in gleichen Mengenverhältnissen, entstanden einphasige Systeme in einer kristallinen Kochsalzstruktur. Gleichzeitig arbeitete die Gruppe von Jon-Paul Maria von der North Carolina State University an demselben Übergangsmetalloxid-System, und publizierte die Ergebnisse in *Nature Communications*. Die High Entropy Oxides waren entdeckt. Am KIT wurden dann auch Seltenerdmetall-Hochentropieoxide hergestellt: Diese zeigten ebenfalls einphasige Systeme, jedoch in Fluoritstruktur. Sogar die Kombination aus fünf Übergangsmetallkationen und fünf Seltenerdmetallkationen führte zu einphasigen Systemen in Perowskitstruktur. „Wir richten seither unseren Fokus auf die Oxide und stehen vor einer unglaublichen Vielzahl an Möglichkeiten, neue Materialien zu entwickeln“, so Horst Hahn, dessen Gruppe international führend ist auf diesem Forschungsgebiet. Über die Hälfte der internationalen Publikationen stammen aus seiner Feder beziehungsweise aus der des deutsch-indischen Forschungsteams.

Sehr interessant sind unter anderem die elektrochemischen Eigenschaften der High Entropy Oxides. Die Übergangsmetall-Hochentropieoxide lassen sich aufgrund ihrer Performance beispielsweise sehr gut als Elektroden in Lithiumbatterien einsetzen, denn auch nach mehreren Hundert Ladezyklen ist ihre Kapazität noch sehr hoch. „Auch wenn wir beim Warum noch spekulieren, ist diese Materialentwicklung im Hinblick auf den boomenden Markt in der Elektromobilität und bei stationären Speichern äußerst interessant“, so Horst Hahn. Die Materialklasse ist bereits zum Patent angemeldet und wurde mittlerweile in hochrangigen Zeitschriften wie *Nature Communications* und *Energy and Environmental Science* publiziert.

Ziel der Materialforscherinnen und -forscher ist aber nicht nur, Ladezyklen und Kapazitäten zu optimieren, sondern auch Alternativen für kritische Materialien in Batterien – etwa für Kobalt – zu finden. „Wir wissen noch nicht, welche Probleme wir letztlich mit unseren wissenschaftlichen Erkenntnissen, die wir in den letzten Jahren über die High Entropy Oxides gewonnen haben, lösen können, aber die Möglichkeiten scheinen so gut wie unbegrenzt.“ ■

Kontakt: horst.hahn@kit.edu



High-entropy Materials working group: Dr. Ben Breitung, Dr. Miriam Botros, and Abhishek Sarkar (from the left)

Hochentropie-Materialien Arbeitsgruppe: Dr. Ben Breitung, Dr. Miriam Botros und Abhishek Sarkar (von links)

high furnace temperatures, the solvent evaporates and the mixture oxidizes to form a nanocrystalline oxide, whose crystalline structure consists of statistically distributed cations on their sublattice. “Only recently, we started to add chlorine and fluorine in the anion sublattice with the help of another process,” Horst Hahn says. “Here, configuration entropy is even higher than in the pure oxide. Oxygen and fluorine, or chlorine, distribute in the anion lattice and even more potential states result.”

The newly produced materials are studied for their crystalline structures and the distribution of atoms in the sublattice as well as for their magnetic, optical, transport, and electrochemical properties. In the field of optical properties, the scientists are able to engineer the band gap. Hahn: “By our choice of the composition and cations, we can influence the band gaps and optimize them. A heat treatment in various gases is applied to set the band gap to the desired value or to switch between two different values of the band gap. It is still unclear which opportunities will result, but practical application will not take long,” Hahn is convinced.

Electrochemical properties of high-entropy oxides are of particular interest. Thanks to their

performance, transition metal high-entropy oxides are very well suited for use as electrodes in lithium batteries, as their capacity remains very high even after hundreds of charge cycles. “We assume that some cations stabilize the lattice structure and are not involved in the charge cycle. Although the reason is still unknown, development of such materials, of course, is of high interest for the booming electric mobility and stationary storage systems sectors,” Horst Hahn emphasizes. The patent covering this class of materials has already been applied for. The results were published in *Nature Communications* in 2018 and in 2019 in *Energy and Environmental Science*.



Materials researchers do not only want to optimize charge cycles and capacities, but also work on finding alternatives to critical materials in batteries, such as cobalt. “We do not yet know which problems might be solved with the scientific findings obtained about high-entropy oxides in the past years, but opportunities seem to be unlimited.”

Horst Hahn plans to combine up to ten different elements either at equiatomic or slightly deviating ratios. Future synthesis might take place with the help of a synthesis robot and an integrated pipetting system. Then, X-ray diffraction will be used to find out whether a single-phase material has been produced and the resulting band gaps might be determined by optical measurements – with all processes being carried out in a fully automatic manner.

Hahn: “The resulting gigantic data volumes will be evaluated with the help of computers. And I am sure that this will help us understand many relationships between synthesis, structure, and material properties. And then, we will not be that far from the specific development of materials with certain properties for defined applications.” ■

Contact: horst.hahn@kit.edu

Researchers developed a method for producing an artificial surface mimicking the Salvinia effect in the laboratory

Forschende entwickelten ein Verfahren zur Herstellung einer künstlichen Oberfläche, die den Salvinia-Effekt im Labor nachahmt

the latter of which is responsible for the scientific project coordination, the consortium includes Bremen University of Applied Sciences, Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH HSVA (the Hamburg Ship Model Basin), Avery Dennison Materials Belgium, PPG Coatings Europe B.V. (Netherlands), Danaos Shipping (Cyprus), the AquaBioTech Group (Malta), the Finnish Meteorological Institute, and Revolve Water (Belgium). The European Commission is supporting AIRCOAT with a total of 5.3 million euros, of which KIT receives more than one million euros.

In AIRCOAT, scientists from different disciplines – such as applied physics, nanotechnology, experimental and numerical fluid mechanics, bionics, ship technology and ship emission modeling – collaborate with industrial experts from the fields of ship coating, ecotoxicology and self-adhesive film technology and the operators of container ships. They work to enhance the Salvinia effect in the KIT-developed artificial surfaces and optimize them for shipping. The aim is to develop a self-adhesive film that can be applied to the hull to maintain a thin layer of air that significantly reduces frictional resistance. “Air has a significantly lower viscosity than water and functions like a lubricant,” explains Professor Schimmel. According to initial estimates by Fraunhofer CML, AIRCOAT technology can reduce the fuel consumption of the main engine and, thus, exhaust emissions by at least a quarter. The air layer also acts as a physical barrier between the hull surface and water, which reduces the radiation of ship noise and protects the hull from corrosion and fouling. In addition, AIRCOAT prevents the release of biocidal substances from underlying coatings into the water. All in all, bionic technology saves energy and protects materials, the seas, and the atmosphere.

the laboratory. The success was lasting: An early prototype, which had been flooded by the Schimmel research group more than five years ago, is still covered with a continuous layer of air today.

Applying the Salvinia effect to shipping promises enormous economic and ecological advantages, as about 90 percent of international trade is handled by ship. Friction of the water on ship hulls consumes the major part of the propulsion energy. At the same time, generating that energy causes ships to emit considerable quantities of greenhouse gases and other pollutants into the atmosphere. “According to current estimates, the world’s 15 largest ships produce more sulfur dioxide than all passenger cars in the world combined,” reports Thomas Schimmel. The direct contact of the ships’ hulls with the water, in addition, causes corrosion by sea salt and so-called fouling, i.e., attachment of marine organisms. Biocidal coatings are usually applied against fouling. These coatings, in turn, release toxic substances into the water.

The air coating developed at KIT and used in the AIRCOAT (Air Induced friction Reducing ship COATings) project counteracts these problems. The EU project started on May 1, 2018 and will run for three years. The Fraunhofer Center for Maritime Logistics and Services CML in Hamburg acts as project coordinator. A total of ten partners are involved in the project funded by the European Commission under the Horizon 2020 program: In addition to Fraunhofer CML and KIT,

# Gliding within an Envelope of Air

## BIONIC COATING SAVES ENERGY AND REDUCES SHIP EMISSIONS

BY DR. SIBYLLE ORGELDINGER // TRANSLATION: HEIDI KNIERIM

The samples are black. Dipped in water, however, they seem to be covered with a silver skin. “This is due to the total reflection of light at the air layer,” explains Professor Thomas Schimmel. In his laboratory, the physicist and nanotechnology expert works on polymer surfaces that permanently retain a coating of air under water. Such envelopes of air prevent direct contact with the water and can perform a variety of functions in technical applications. In the new EU project AIRCOAT, ten partners from science and industry are developing a novel ship air coating that protects the hull, saves fuel, and safeguards the environment. The scientific collaboration is led by Professor Thomas Schimmel, who conducts research at the Institute of Applied Physics (APH), the Institute of Nanotech-

nology (INT), and the Center for Materials Research in Energy Systems (MZE) at KIT.

AirCoating is a bionic technology, based on a principle that the researchers have borrowed from nature. For some years, Professor Thomas Schimmel from KIT and botanist Professor Wilhelm Barthlott from the University of Bonn have been investigating the so-called Salvinia effect: Certain plants, such as the swimming ferns of the genus *Salvinia*, can breathe air under water. If pressed under the water surface by the wind or, by an animal such as a duck, they immediately create an air envelope and hold it firmly. The plants owe this vital ability to the specially structured surface of their leaves. Thomas Schimmel and Wilhelm Barthlott investigated

the Salvinia effect on the tropical swimming fern *Salvinia molesta*. Its leaves have fine hairs with a water-repellent surface but hydrophilic tips. Within this coat of hairs, the plant can maintain a thin layer of air under water.

Thomas Schimmel and his research group, in cooperation with researchers from the universities of Bonn and Rostock, studied the Salvinia effect both in the ARES project funded by the German Federal Ministry of Education and Research and in a project funded by the Baden-Württemberg Foundation. Realizing the enormous economic and ecological potential if this effect could be translated into technological applications, the researchers developed a method for producing an artificial surface mimicking the Salvinia effect in

ABBILDUNG: ARBEITSGRUPPE PROF. SCHIMMEL, KIT



FOTOS: MARKUS BREIG



Professor Thomas Schimmel (front) and Professor Michael Decker (back) and Federal Research Minister Anja Karliczek (front) at the demonstrator of a bionic ship coating at the Hannover Fair

Professor Thomas Schimmel (vorn) Professor Michael Decker (hinten) und Bundesforschungsministerin Anja Karliczek (vorn) am Demonstrator einer bionischen Schiffsbeschichtung auf der Hannover Messe

The researchers involved are investigating the properties of polymer surfaces experimentally and in simulation. They then demonstrate efficiency and industrial feasibility in the laboratory, on research ships, and on container ships. A comprehensive validation process will demonstrate the benefits for the economy and the environment. Besides being used for ships, the bionic coating also could be applied to offshore drilling platforms, water pipes, and tanks that are subject to corrosion and fouling. ■

Read more: [www.schimmel-group.de](http://www.schimmel-group.de)

Contact: [thomas.schimmel@kit.edu](mailto:thomas.schimmel@kit.edu)



FOTOS: MARKUS BREIG

## In einer Lufthülle gleiten

### Bionische Beschichtung spart Energie und verringert Emissionen bei Schiffen

Von der Natur abgeschaut: Bestimmte Schwimmpflanzen können dank ihrer speziell strukturierten Blätter unter Wasser atmen, indem sie eine Lufthülle aufbauen und festhalten. Auf diesem sogenannten Salvinia-Effekt basiert eine Luftbeschichtung für Schiffe, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus ganz Europa im neuen EU-Projekt AIRCOAT entwickeln. Die wissenschaftliche Koordination liegt bei dem Physiker und Nanotechnologie-Experten Professor Thomas Schimmel vom KIT, der als Pionier der Luftbeschichtung unter Wasser den Salvinia-Effekt erforscht und im Labor nachgeahmt hat.

Die AirCoating-Technologie spart Energie ein und schützt Materialien, Meere und Atmosphäre: Ziel ist, dass eine auf den Schiffsrumpf aufgebrachte selbstklebende Folie eine dünne Lufthülle hält, die den Reibungswiderstand wesentlich verringert und zugleich als physikalische Barriere zwischen Rumpfoberfläche und Wasser wirkt. So senkt sie den Kraftstoffverbrauch und den Abgasausstoß, vermindert die Abstrahlung von Schiffslärm und schützt den Schiffsrumpf vor Korrosion und Fouling.

Das EU-Projekt startete am 1. Mai 2018 und ist auf drei Jahre angelegt. Als Projektkoordinator fungiert das Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML in Hamburg. Insgesamt sind zehn Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft beteiligt. Die Europäische Kommission fördert AIRCOAT mit insgesamt 5,3 Millionen Euro; davon erhält das KIT gut eine Million Euro. ■

Info: [www.schimmel-group.de](http://www.schimmel-group.de)

Kontakt: [thomas.schimmel@kit.edu](mailto:thomas.schimmel@kit.edu)



Professor Thomas Schimmel (left) shows Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka, President of KIT, (at the Hannover Fair) the bionic ship coating (see blue stripe photo) modeled on the floating fern (above)

Professor Thomas Schimmel (links) zeigt Professor Holger Hanselka, Präsident des KIT, auf der Hannover Messe die bionische Schiffsbeschichtung (Bild blauer Streifen) nach Vorbild des Schwimmpfarns (Bild oben)



Die L-Bank ist die Förderbank des Landes Baden-Württemberg. Mit über 1.200 Mitarbeitern in Karlsruhe und Stuttgart fördern wir im Auftrag des Landes Menschen und Unternehmen mit zahlreichen Förderprogrammen.

Eine wichtige Säule ist unser eigener IT-Bereich mit:

- rund 140 Mitarbeitern
- eigenem Rechenzentrum
- agilen Entwicklungsmethoden

Wir betreiben und entwickeln sowohl Standardsoftware als auch eigenentwickelte IT-Lösungen mit agilen Methoden. IT-Security, Private Cloud mit hyperkonvergenter Infrastruktur sowie weitere aktuelle Themen sind bei uns gelebter Alltag.

**Interesse geweckt? Wir suchen derzeit für unseren Standort in Karlsruhe:**

- |  |   |
|--|---|
| → Java Entwickler (m/w/d)  | → Systemadministratoren (m/w/d), u. a. Windows, Linux |
| → SAP Anwendungsbetreuer (m/w/d)                                 | → Datenbankadministrator (m/w/d) SAP-HANA             |
| → IT Senior Softwareentwickler (m/w/d) für das Risikocontrolling | → IT-Security Architect                               |
| → Scrum Master (m/w/d)   | → Trainees (m/w/d)                                    |
| → Anforderungsmanager (m/w/d) Datawarehouse                      | → Werkstudenten (m/w/d)                               |
|  | → Praktikanten (m/w/d)                                |

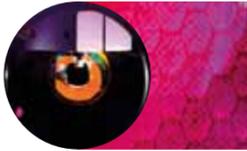
**Wir bieten u. a.:**

- |  |   |
|--|---|
| → Gleitzeitmodell                          | → zentrale Innenstadtlage mit guter Verkehrsanbindung |
| → attraktive betriebliche Altersversorgung | → kostengünstiges Firmenticket                        |
| → Talentmanagement                         | → Fitnesszentrum                                      |
| → eigenes Betriebsrestaurant               |   |

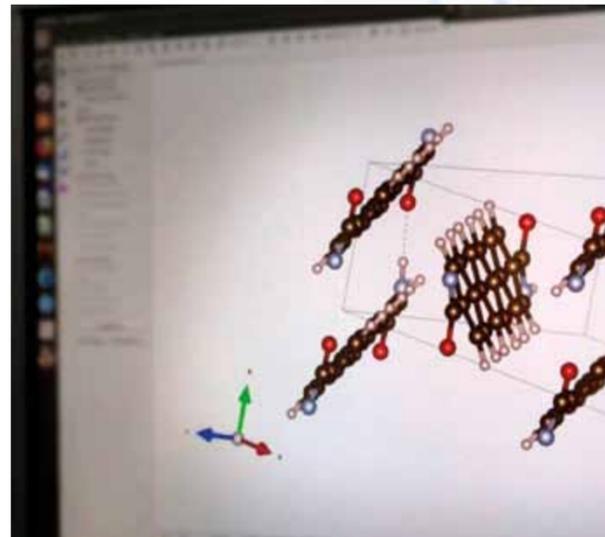
Werden Sie Teil unseres Teams und bewerben Sie sich in wenigen Minuten online unter <https://www.l-bank.info/fuer-bewerber-innen/jobs>. Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!

Aus Liebe zum Land

**L-BANK**  
Staatsbank für Baden-Württemberg



# Millionen neue Materialien



**DIE VIRTMAT-FORSCHUNGSGRUPPE ARBEITET AN DER DIGITALEN ENTWICKLUNG UND SIMULATION VON MATERIALIEN** VON ALMUT OCHSMANN



FOTOS: LAILA TKOTZ

Die Bauanleitung des Airbus 380 hat etwa 500 000 Seiten. Ausgedruckt wäre das ein ganzes Zimmer voll Papier. Bei dieser Vorstellung schmunzelt Professor Wolfgang Wenzel: „Vermutlich wurde das einmal ausgedruckt und steht jetzt in irgendeinem Archiv. Aber es wird wohl nicht benutzt, um den Airbus zu bauen. Wie schaffen die das trotzdem und wer hat diese Anleitung geschrieben? Die Antwort ist: ein Computer. Es gibt ein digitales Abbild von jedem Sitz, von jedem Kabel, von jedem Schalter – einen digitalen Zwilling des ganzen Flugzeugs.“ Auch in der Automobilindustrie und in der Elektronikindustrie gibt es seit über zwanzig Jahren digitale Abbilder aller Bauteile. Kein Handy wird ohne einen elektronischen Bauplan hergestellt. Mithilfe der digitalen Technologien werden Autos heute in weniger als der Hälfte der Zeit entwickelt als früher. Auch die Produktion ist rasant gestiegen. Mit dem Trend zur Industrie 4.0 werden jetzt zusätzlich die Lieferkette und die Herstellung digitalisiert bis hin zur sich selbst konfigurierenden Fabrik, in der jeder Roboter stets die richtigen Teile hat.

Doch alle Materialien, die für ein Flugzeug, ein Auto oder ein Handy benötigt werden, werden nach wie vor vermessen. Neue Materialien werden gegenwärtig noch nicht am Computer berechnet, sondern müssen synthetisiert und ihre Eigenschaften experimentell bestätigt werden. Die Aufgabe der Materialforschung sei es, so Wolfgang Wenzel, „für die mikroskopische Welt zu erreichen, dass wir neue Materialien nicht vermessen, sondern simulieren. Wenn wir uns ein Material ausdenken, muss ein Chemiker es synthetisieren, es wird verarbeitet, und zwei Jahre später erfährt man, ob es den Erwartungen entspricht. Mit computergestützten Modellen wür-



Dokumentation aller Materialien: Computer haben ein digitales Abbild von jedem Sitz, von jedem Kabel, von jedem Schalter des ganzen Flugzeugs geschaffen

Documentation of all materials: computers have created a digital image of each seat, of each cable, and of each switch of the whole plane

Photo: wikipedia commons, Roger Green from BEDFORD, UK, derivative work Lämpel

de diese Zeit auf Wochen reduziert. Wir könnten auch komplett Neues entwickeln, was bisher unmöglich ist.“ Um Materialien am Computer zu entwickeln und zu untersuchen, haben die Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler am KIT die seit 2017 geförderte Initiative Virtuelle Materialentwicklung (VirtMat) ins Leben gerufen. Geforscht wird an zwölf ausgewählten Themen, die von grundlegenden Problemen der Quantenphysik bis hin zu angewandten Fragestellungen reichen, beispielsweise wie effizientere Materialien für Handy-Displays hergestellt werden können. „Unser Ziel ist es, mit neuen Methoden die virtuelle Materialentwicklung für einen großen Teil der Materialforschung anwendbar zu machen“, sagt Wolfgang Wenzel.

In VirtMat forschen derzeit rund siebzig Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die in vierzig Arbeitsgruppen theoretisch und experimentell arbeiten

About 70 VirtMat researchers carry out theoretical and experimental work in 40 research groups

Anders als auf der makroskopischen Ebene, wo seit den 1950er Jahren mit der Finite-Elemente-Methode Bauteile simuliert werden können, gibt

es in der Chemie, der Physik und in den Materialwissenschaften kein Standardmodell, mit dem alle winzigen „Bauteile“ gleichzeitig berechnet werden könnten. Es geht um die Bereiche unterhalb des Mikrometers, von mikroskopischen bis hin zu atomaren Dimensionen. Vier Bereiche – oder Skalen – werden voneinander unterschieden: der elektronische, der atomistische, der mesoskopische und der mikroskopische. Auf jeder Stufe gibt es bereits Berechnungsverfahren. Für die Eigenschaften von Molekülen sind es andere als für die Strukturbildung, die den Bereich von 500 bis 50 000 Atomen abdecken. Soll berechnet werden, wie sich ein Material verhält, wenn es mechanischer Belastung ausgesetzt wird, benötigt man die mesoskopischen Simulationsver-

fahren, die im Bereich von 50 000 Atomen (das entspricht Dimensionen von bis zu 100 Nanometern) angewendet werden: „Die große Herausforderung ist, dass die Modelle der unterschiedlichen Skalen miteinander verknüpft werden müssen, um ein kombiniertes Modell zu erschaffen“, sagt Wolfgang Wenzel. „Wir sprechen von Multiskalensimulation. Wenn ich in einer chemi-

sehen Substanz ein Atom durch ein anderes ersetze, hat das Material auf der Größenskala von einem Kubikmikrometer plötzlich andere Eigenschaften. Bei Batteriematerialien können durch geringfügige Veränderung gigantische Verbesserungen in der Leistung oder den Alterungseigenschaften erreicht werden.“

In VirtMat forschen derzeit rund siebzig Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die in vierzig Arbeitsgruppen theoretisch und experimentell arbeiten. Dass in VirtMat so viele Gruppen kooperieren, ermöglicht es, neue Modelle zu entwickeln. Dr. Tobias Schlöder arbeitet im Bereich der organischen Elektronik. Er ist außerdem an der Koordination der Arbeitsgruppen beteiligt: „Wir

## Millions of New Materials

### The VirtMat Research Group Works on the Digital Development and Simulation of Materials

TRANSLATION: RALF FRIESE

For the time being, new materials are not yet computed, but have to be synthesized and their characteristics confirmed experimentally. The goal of materials research, says Wolfgang Wenzel of the Institute of Nanotechnology, is to be able to simulate new materials on a microscopic level, not to determine their properties only by measuring them. To develop and study materials by means of a computer, the KIT materials scientists established the Virtual Materials Development (VirtMat) Initiative, which has been funded since 2017. Research is being conducted in twelve selected topics, ranging from fundamental problems of quantum physics to applied issues, such as how to produce more efficient materials for mobile phone displays. “It is our objective to use the new methods to make virtual materials development possible for a large segment of materials research,” says Wolfgang Wenzel. He is talking about ranges below the micrometer range, between microscopic and atomic dimensions. Four ranges, or scales, are distinguished: electronic, atomistic, mesoscopic, and microscopic. VirtMat currently comprises some seventy scientists working theoretically and experimentally in forty groups.

Another major objective of VirtMat is to design digital twins of materials. Sometimes, the properties of materials change when they come into contact with others. “We want to enable potential users to perform simulations by themselves. This would allow them to make changes to a material and adapt it to their needs,” explains Wolfgang Wenzel. For the development of digital twins, the VirtMat team of KIT, together with the research centers of Jülich, Geesthacht, and Berlin, is building a virtual working environment in which the simulation programs are made available to all scientists of the Helmholtz Association. ■

Contact: wolfgang.wenzel@kit.edu

tauschen uns regelmäßig darüber aus, welche Informationen in welchem Format an die anderen Gruppen weitergegeben werden müssen. Es ist gut, dass wir hier am Institut für Nanotechnologie nah beieinander sind.“ VirtMat hat ein Computerprogramm entwickelt, in dem die unterschiedlichen Simulationsmodelle virtuell verknüpft werden. Wie einen Baukasten mit vielen kleinen Kästchen kann man sich das vorstellen. Jede Gruppe ist für den Inhalt eines Kästchens verantwortlich, nutzt aber auch die Elemente der anderen. Dafür müssen die Gruppen zwar verstehen, was die anderen machen, die Simulation aber nicht selber können, erklärt Tobias Schlöder: „Für jede Skala gibt es besonders geeignete Computerprogramme. Die einen können besonders gut kleine Moleküle im Vakuum berechnen, andere können besonders gut Kristalle berechnen. Wir müssen rund hundert verschiedene Computerprogramme auf verschiedene Arten kombinieren.“ Natürlich werden die neu entwickelten Materialien auch experimentell getestet, sagt Tobias Schlöder: „In einem Projekt haben wir über 30 000 Materialien vorgeschlagen. Vierzig wurden hergestellt und werden jetzt auf ihre Eigenschaften hin getestet. Normalerweise könnten zehn Materialien in einem Jahr getestet werden, innerhalb unseres Verbundes können wir nun circa 100 000 pro Jahr testen.“

Ein weiteres großes Ziel von VirtMat ist es, digitale Zwillinge für die Materialien zu realisieren. Denn manchmal verändern sich Eigenschaften von Materialien, wenn sie mit anderen in Berührung kommen. „Wir wollen den potenziellen Anwender in die Lage versetzen, die Simulation selber durchzuführen. Das würde ihm ermöglichen, Veränderungen am Material vorzunehmen, um es an seine Bedürfnisse anzupassen“, erklärt Wolfgang Wenzel. Für die Entwicklung der digitalen Zwillinge baut das VirtMat-Team vom KIT gemeinsam mit den Forschungszentren Jülich, Geesthacht und Berlin eine virtuelle Arbeitsumgebung auf, in der die Simulationsprogramme für alle Forscherinnen und Forscher der Helmholtz-Gemeinschaft bereitgestellt werden: „Die Idee, dass jeder die fertig entwickelten Ele-

mente zur Beschreibung bestimmter Materialeigenschaften aufgreifen und in immer komplexere Abläufe einbauen kann, ist im Bundesministerium für Bildung und Forschung gut angekommen. Wir streben die Digitalisierung der Materialforschung für ganz Deutschland an. So könnten wir die von uns entwickelten Technologien der deutschen Forschungslandschaft und der deutschen Industrie zur Verfügung stellen.“ An der virtuellen Materialentwicklung fasziniert Wolfgang Wenzel, dass maßgeschneiderte Lösungen für spezielle Anforderungen gefunden werden können, die experimentell mit sehr hohem Aufwand verbunden wären: „Das intellektuell Befriedigende ist, dass man Ideen hundert Mal schneller testen kann.“ Um zu betonen, welche große Errungenschaft die computergestützte Entwicklung neuer Materialien für die Materialwissenschaften wäre, zieht Wolfgang Wenzel das Bild des molekularen Universums heran: „Es gibt an die 10<sup>60</sup> Materialien, die können wir niemals alle vermessen. Wir wollen von den paar Hunderttausend, die wir kennen, auf die nächsten 100 000 Millionen schließen. Wenn das gelingt, wäre das eine gigantische Entwicklung. In der Astronomie wäre das, als ob man vom Ich-guck-mal-in-den-Himmel zum Hubble-Teleskop übergeht.“ ■

Kontakt: wolfgang.wenzel@kit.edu



Die VirtMat-Forschungsgruppen arbeiten mit einem Computerprogramm, in dem die unterschiedlichen Simulationsmodelle verknüpft sind

The VirtMat research groups work with a computer program linking the different simulation models



Forschen gemeinsam in VirtMat:  
Dr. Azam Jeyhanipour Esfahani,  
Professor Wolfgang Wenzel und  
Dr. Tobias Schlöder (von links)

Joint research in VirtMat:  
Dr. Azam Jeyhanipour Esfahani,  
Professor Wolfgang Wenzel, and  
Dr. Tobias Schlöder (from the left)

suchen, die im Bereich von 50 000 Atomen (das entspricht Dimensionen von bis zu 100 Nanometern) angewendet werden: „Die große Herausforderung ist, dass die Modelle der unterschiedlichen Skalen miteinander verknüpft werden müssen, um ein kombiniertes Modell zu erschaffen“, sagt Wolfgang Wenzel. „Wir sprechen von Multiskalensimulation. Wenn ich in einer chemi-



WIE DIE DIGITALISIERUNG DIE MATERIALWISSENSCHAFT VERÄNDERT

# Suchmaschine für den Wissensschatz

Professor Jan Gerrit Korvink leitet das Institut für Mikrostrukturtechnik des KIT. In enger Kooperation mit dem Ernst Ruska-Centrum des Forschungszentrums Jülich und einer Reihe weiterer Institute am KIT arbeiten er und seine Kollegen an einer neuen systemischen Ausrichtung der Materialwissenschaften mit dem Ziel, innovative Materialien von der Anwendungsseite her zu designen und mit Ressourcen so schonend wie möglich umzugehen. Die intensive interdisziplinäre Vernetzung der Materialforschung insbesondere mit der Informatik ist auch Bestandteil der Hightech-Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Neue multiskalige Simulationstechnologien sollen die Entwicklung neuer Werkstoffe beschleunigen und die Konkurrenzfähigkeit der europäischen Industrie langfristig sichern.

Die Entwicklung maßgeschneiderter Materialien soll künftig systematisch möglich sein. Das bedeutet ausgehend von der spezifischen Anwendung, in der ein Werkstoff gebraucht wird, über seine Herstellung, die Struktur, in die man ihn auf der Mikro-

skala bringt, bis zum Verhalten über die gesamte Lebensdauer sollen alle Aspekte von Anfang an in den Blick genommen werden. Wie lässt sich das umsetzen?

Jan Gerrit Korvink: Früher musste der einzelne Materialwissenschaftler über enormes Wissen zu den Materialeigenschaften verfügen. Inzwischen hat das Forschungsfeld so große Fortschritte gemacht, dass niemand mehr alle Bereiche abdecken kann. Chemiker beispielsweise entwickeln heute neue Polymere gleich in hunderttausend Varianten. Da ist jeder einzelne Materialwissenschaftler überfordert. Unsere Strategie ist es, uns vom Trial-and-Error Ansatz zu lösen. Wir gehen von einer gewünschten Anwendung aus, überlegen uns, welche Materialeigenschaften ideal wären, und suchen dann systematisch nach dem passenden Material. Dazu müssen wir Ordnung in dieses Chaos der exponentiell wachsenden Möglichkeiten bringen. Nur so lässt sich der lange Weg von den gesuchten Eigenschaften über industrielle Produktion des Materials effizient zurücklegen. Das schließt auch den Lebenszyklus des Produkts mit ein. Unsere Materialien sollen so lange gut funktionieren, bis das Produkt entsorgt wird. Dann sollten sie sich möglichst umweltfreundlich in ihre Bestandteile auflösen. Das ist eine große Herausforderung, weil wir die tatsächliche Lebensdauer eines Produkts nicht abwarten können. Wir müssen also den experimentellen Nachweis beschleunigen oder Vorhersagen durch numerische Simulation ermöglichen.

Virtuelles Materialdesign wäre ein Instrument, um diesen systematischen Ansatz zur verwirklichen?

Die virtuellen Modelle versuchen, diese Dinge vorherzusagen. Multiskalig bedeutet, dass ganz unterschiedliche Größenskalen zusammengebracht werden müssen. Es gibt Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die Materialien quantenmechanisch, also auf der atomaren Ebene, beschreiben. In der praktischen Anwendung will man aber vielleicht wissen, wie sich ein Klotz

geschmiedetes Eisen verformt. Wir müssen also eine durchgehende numerische Prozesskette durch alle Größenskalen von der atomaren bis zur Makro-Ebene aufstellen. Das muss innerhalb praktikabler Rechenzeiten möglich sein. Am Ende zählt nur, ob das Ergebnis mit den Messungen übereinstimmt. Die Simulation muss verlässlich zum „digitalen Zwilling“ der experimentellen Messung führen. Simulationsprogramme lassen sich aber auch „invers“ nutzen. Man kennt die gewünschten Materialeigenschaften

und sucht simulativ nach der optimalen atomaren Anordnung für eine gegebene Anwendung.

**Der große Wissensschatz der Materialforschung findet sich heute in großen Datenbanken. Welche Rolle spielt Big Data in diesem Zusammenhang?**

Die Menge der Daten hat extrem zugenommen. Gleichzeitig können wir nur sehr schlecht auf Daten der Vergangenheit zugreifen. Für ältere Datenträger fehlen Lesegeräte, aber auch die

Datenformate haben sich geändert. Wir haben auch zu spät bemerkt, dass wir Standards für die Metadaten brauchen. In der Materialforschung ist das besonders kritisch. Wenn ein Material gemessen wird, muss man wissen, bei welcher Temperatur es hergestellt wurde, woher die Rohstoffe kommen, ob es unsichtbare aber wichtige Beimischungen und ähnliches gibt. Es müssen Daten aus sehr vielen verschiedenen Quellen zusammengeführt werden. Wo bei wir oft nicht wissen, ob sie nach dem glei-

Professor Jan Gerrit  
Korvink am Institut für  
Mikrostrukturtechnik

Professor Jan Gerrit  
Korvink at the Institute of  
Microstructure Technology



FOTO: ELLAGRIN/FOTOLIA

chen Verfahren erhoben wurden. Wir müssen also Organisationsprinzipien für diese Datenbanken erarbeiten. Da der Fortschritt der Beobachtungsinstrumente vorausgesetzt werden kann, müssen zukünftig erweiterte oder gar neue Datenarten auch ohne großen Aufwand integrierbar sein.

**Welche Rolle spielen die Deep Learning-Systeme der Künstlichen Intelligenz bei der Auswertung?**

Wir hoffen, dass die maschinelle Intelligenz auf der Grundlage der vorhandenen Daten relativ schnell das richtige Material für eine bestimmte Anwendung herausucht. Wenn beispielsweise ein Material gesucht wird, das säurebeständig ist, hohe Temperaturen aushält und die Lebensdauer eines Autos besitzt, dann sollte die Suchanfrage in der natürlichen Sprache eines Designers gestellt werden können. Aber auch in der Sprache eines Quantenmechanikers. Das sollte frei wählbar sein. Die neuronalen Netze werden dann aus den Daten eine Reihe von Hits generieren. Zugleich würden sie die Zuverlässigkeit der Hits ranken. Das wird wie eine Google-Suchmaschine für Materialien funktionieren.

**Die Beobachtungsinstrumente spielen eine entscheidende Rolle: hochauflösende Elektronenmikroskopie, Röntgen, Kernspin, Optik, jeweils bildgebend und spektrosko-**

**pisch. Auch hier ist ein Paradigmenwechsel zu beobachten. Stichwort „Materials Information Discovery“. Was verbirgt sich dahinter?**

Die Entwicklung neuer Instrumente verläuft zunächst logisch. Immer wieder gibt es eine neue Idee, wie man noch besser messen kann. Mit dem Stichwort Materials Information Discovery aber ist so etwas wie die Digitalisierung der Charakterisierung gemeint. Nehmen wir das Beispiel der Kamera. In Zeiten der analogen Fotografie brauchte man einen professionellen Fotografen, um gute Bilder zu machen. Inzwischen sorgt KI in unseren Handys dafür. In der Materialwissenschaft kann ein Messinstrument heute auch nur von einem Experten benutzt werden. Deshalb wollen wir sie künftig mit KI smart machen. Aus dem Datenmaterial, mit dem es trainiert wurde, weiß dann das neuronale Netz bereits, was möglicherweise relevant ist, sucht selbstständig nach wichtigen Zusammenhängen und schlägt dem Wissenschaftler selbstständig vor, seine Aufmerksamkeit darauf zu richten.

Eine faszinierende Idee kommt hinzu. Zweidimensionale Bilder bilden den dreidimensionalen Raum ab. Dazu kann man sich noch die Zeitdimension hinzudenken. Beispielsweise die Veränderungen unseres Gesichts, während wir älter werden. Das wären bereits vier Dimensionen. Mathematisch kann man sich unendlich

viele solcher Dimensionen vorstellen. Zum Beispiel können wir die Wellenlänge des Lichts betrachten. In jedem Pixel steckt dann auch noch eine spektrale Information. Mit jedem zusätzlichen Messinstrument kommen so neue Dimensionen hinzu, die man alle zusammenführen muss. Und dann brauchen wir wieder KI, um versteckte Korrelationen in dem so entstandenen Datenhyperraum entdecken zu können.

**Diese Entwicklung hat eine gewaltige ökonomische Bedeutung. In vielen Bereichen wurden bereits Durchbrüche erzielt. In der Flugzeugindustrie, bei Halbleitern, bei Katalysatoren für die chemische Industrie und auch in den Lebenswissenschaften. Was sind für Sie wichtige Beispiele?**

Ermutigende Beispiele gibt es auch hier am KIT. Die VirtMat-Gruppe von Professor Wolfgang Wenzel etwa hat ein quantenmechanisches Modell für ein Materialsystem von Professor Christof Wöll erarbeitet, sogenannte SURMOFs. Das sind organische Moleküle mit metallischen Zentren, die man wie Legobausteine zusammenbauen kann. Damit lassen sich leicht viele Materialvarianten erzeugen. Das numerische Modell erlaubt jetzt, gezielt die Eigenschaften einer bestimmten Variante vorherzusagen. Jüngste Veröffentlichungen in *Nature* und *Science* berichten ebenfalls über ähnliche Möglichkeiten, mithilfe der Quantenmechanik Materialeigen-

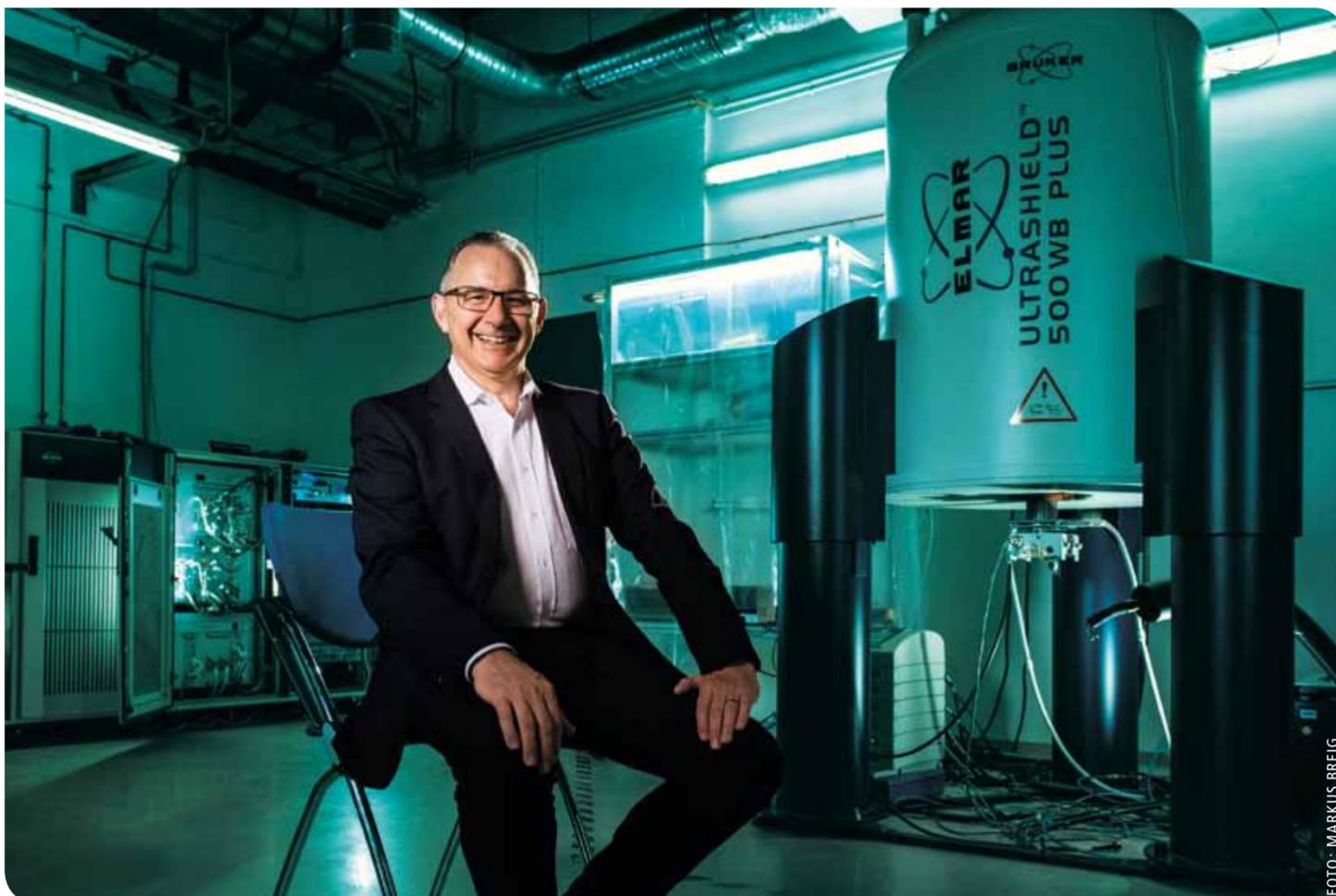


FOTO: MARKUS BREIG

schaften vorherzusagen. Es gibt auch beeindruckende Beispiele aus dem Forschungsfeld der Metamaterialien, wie Professor Martin Wegener sie entwickelt. Ein Metamaterial besteht aus mehreren Materialien, die auf der mikroskopischen Ebene geometrisch so zusammengefügt wurden, dass sie im Makrobereich ganz überraschende neue Eigenschaften zeigen. Die inverse Modellierung hat hier spektakuläre Ergebnisse ermöglicht. Man kennt Material A und Material B und lässt den inversen Entwurfsprozess laufen, bis eine bestimmte Anordnung eine ganz neue Eigenschaft ermöglicht. Das inverse Design ist in der Industrie schon sehr etabliert. Man kann entsprechende Softwarewerkzeuge kaufen. Damit kann die Wärmeleitung bei Halbleitern optimiert, oder das Gewicht-Leistungsverhältnis bei Turbinenschaufeln verbessert werden. ■

Das Gespräch führte Dr. Stefan Fuchs  
Kontakt: jan.korvink@kit.edu

## Search Engine for the Thesaurus of Knowledge How Digitization Changes Materials Science

TRANSLATION: RALF FRIESE

Progress in digitization and artificial intelligence also has caused a paradigm shift in materials science. These tools now allow this research area increasingly to emancipate from the previous problem-solving strategy, which was based mainly on trial and error, and take a systematic approach. This accelerates not only the development of new materials, but also the active and systematic search for suitable materials based on the desired application. The Head of the KIT Institute of Microstructure Technology, Professor Jan Gerrit Korvink, works on this digital re-establishment of materials science in close cooperation with the Ernst Ruska Center in Jülich. One obstacle to be overcome by these scientists is the need to find a system to manage the wealth of information, which has become immense, and is documented in databases of very different formats with respect to materials properties. This is where old data inventories must be made accessible and binding standards for metadata must be developed which can be expanded without creating major problems for new data types in the future. An important aspect in this connection is documenting the behavior of materials over the entire lifecycle of a product employing them. The Deep Learning Technique of artificial intelligence allows databases created in this way to be used like an internet for materials. The AI-controlled search algorithm identifies potential hits as a function of the properties looked for and, at the same time, produces a ranking of the reliability of its findings.

Numerical simulation of material properties, from the level of quantum physics through all scales up to the macroscale, allows predictions to be made faster and more efficiently about material aging. One technique already established in industry is "inverse" use of the respective software tools. Based on the desired properties, simulation determines the optimum atomic arrangement of the material. Thermal optimization of semiconductors and improved turbine blades are only two examples proving the success of this inverse procedure.

Under the keyword of "Materials Information Discovery," the measuring instruments of materials science use AI in such a way that specialized knowledge is no longer required to operate them, and they can independently draw the attention of scientists to potentially relevant correlations in the measured data. At the same time, the information produced by different measuring instruments, from electron microscopes to X-ray units, is to be combined in a multi-dimensional image which, again, includes the aging process as an additional dimension. ■

Contact: jan.korvink@kit.edu



## DURCHBLICK IM MINIATURFORMAT

### MINIATURIZED INSIGHT



Manuel Hermann

Dr. Norbert Schneider

VON REGINA LINK // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER // FOTO: ROBERT PRZYBYSZ/STOCK.ADOBE.COM, PORTRAITS: FOTO SCHÖNTHALER, STEPHAN KAMINSKI FOTOGRAFIE

Rund 0,1 Millimeter, etwa den Durchmesser eines Haares, sollen die Objektive des Start-ups nps (nano polymer solutions) zukünftig messen. Und das Ende der Fahnenstange sei noch nicht erreicht, sagt Gründer Dr. Norbert Schneider. Der Physiker und ehemalige Postdoc am Institut für Photonik und Quantenelektronik des KIT tat sich mit seinem langjährigen Freund, Bankkaufmann Manuel Hermann, zusammen, der die kaufmännische Expertise einbrachte. Ihr Produkt: Mikrooptiken aus Kunststoff, gefertigt aus einem Guss, unter anderem geeignet für Objektive in Endoskop-Kameras. Bei der Produktion der Linsen kombiniert Schneider 3D-Druck mit klassischem Prägedruck. Einerseits kann er damit im kleinsten Maßstab fertigen, andererseits geschieht dies schnell genug, um profitabel zu sein. „Mit unserer patentierten Technik können wir ein ganzes Objektiv aus einem Guss herstellen“ so Schneider. „Wir zielen darauf ab, Objektive mit dem Durchmesser eines menschlichen Haares herzustellen, erste Labortests dazu haben bereits wunderbar funktioniert.“ Die kleinsten momentan verwendeten Linsen sind knapp unter einem Millimeter und bestehen aus Glas. Im Material liegt zugleich auch die Begrenzung, denn unter einem Millimeter lässt sich Glas nicht mehr wirtschaftlich verarbeiten. Auftrieb gab den beiden Entrepreneuren auch eine 200 000-Euro-Spritze aus dem Förderprogramm „Helmholtz-Enterprise“ der Helmholtz-Gemeinschaft. „Wir sind voller Energie und freuen uns über das Projekt“, so Schneider. Während er sich mit der technologischen Seite befasst, ist Manuel Hermann bereits damit beschäftigt, die Marktchancen zu eruieren: „Wir konzentrieren uns auf die Medizintechnik und hier auf die Hidden Champions der Endoskop-Hersteller, weil sie dynamischer als größere Unternehmen sind“, so Hermann. ■

Kontakt: nps@online.de

The objective lenses commercialized by the nps (nano polymer solutions) startup feature diameters of around 0.1 mm, about the diameter of a hair. And their limits have yet to be reached, says founder Dr. Norbert Schneider. The physicist and former post-doc at the Institute of Photonics and Quantum Electronics teamed up with his long-time friend, banker Manuel Hermann, who contributes commercial expertise. Their product: plastic microoptics made in one casting step and, among other applications, well suited for use as objective lenses in endoscope cameras. In order to fabricate the lenses, Schneider combines 3D printing with classical embossing. This way, structures can be produced on the lowest feasible scale, yet the process is quick enough to be profitable. “With our patented technology, we can produce an entire objective in one step,” Schneider says. “We want to produce objectives with a diameter corresponding to that of a human hair. First laboratory tests have worked perfectly.” The smallest lenses presently used have a diameter of slightly below 1 mm and are made of glass. And the material determines the lower limit of production, because glass can no longer be processed efficiently below 1 mm. The entrepreneurs were granted funding of EUR 200,000 under the “Helmholtz Enterprise” program of the Helmholtz Association. “We are highly motivated and very happy about the project,” Schneider says. He deals with the technological part of the project, whereas Manuel Hermann is now analyzing market opportunities. “We are concentrating on medical technology and in particular on the hidden champions of endoscope manufacturers, because they are more dynamic than large companies,” Hermann says. ■

Contact: nps@online.de



+++ NACHRICHTEN | NEWS +++

NACHRICHTEN KIT

### GEBÜNDELTE KOMPETENZEN IN „PROFILREGION MOBILITÄTSSYSTEME KARLSRUHE“

Der starke Wunsch nach Mobilität, zunehmende Gütertransporte und die Frage der Nachhaltigkeit machen die Herausforderungen im Verkehrsbereich immer komplexer. Als Antwort darauf fördert das Land Baden-Württemberg die Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe. Am 10. Mai 2019 wurde offiziell die „Kernphase“ dieses Leistungszentrums eröffnet, das als „One-stop-Shop“ die erste Anlaufstelle für Unternehmen, Planer und politische Entscheider in Sachen neue Mobilitätskonzepte darstellt. Binnen zwei Jahren stehen nun über 9 Millionen Euro für interdisziplinäre Forschungsprojekte bereit. Die Themen reichen vom autonomen Fahren über gesellschaftliche Veränderungen bis zu neuen, umweltschonenden Kraftstoffen.

Kontakt: frank.gauterin@kit.edu Info: www.profilregion-ka.de



FOTO: TANJA MEISSNER

### DIREKTORAT DER NATIONALEN FORSCHUNGSDATEN-INFRASTRUKTUR IN KARLSRUHE

In der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) sollen die wertvollen Datenbestände von Wissenschaft und Forschung für das gesamte deutsche Wissenschaftssystem systematisch erschlossen, vernetzt und nutzbar gemacht werden. Die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz hat nun beschlossen, das Direktorat der NFDI in Karlsruhe anzusiedeln, sowie das KIT und das FIZ Karlsruhe mit den Aufgaben zu betrauen, die in der komplexen Gründungsphase anstehen. Zentrales Element der NFDI werden die Konsortien sein, in denen Nutzer und Anbieter von Forschungsdaten mit Einrichtungen der Informationsinfrastruktur zusammenwirken. Formal wird die NFDI eine eigene Rechtspersönlichkeit werden, geleitet und koordiniert durch das Direktorat mit Geschäftsstelle.



FOTO: MARKUS BREIG



GRAFIK: NATURE COMMUNICATIONS

### CROWD OIL – FUELS FROM AIR-CONDITIONING SYSTEMS

Researchers at the KIT and the University of Toronto have proposed a method enabling air conditioning and ventilation systems to produce synthetic fuels from carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and water in the ambient air. Compact plants would separate CO<sub>2</sub> from the ambient air directly in buildings and produce synthetic hydrocarbons which can then be used as renewable synthetic oil. The team has presented this “crowd oil” concept in Nature Communications. However, the conversion of CO<sub>2</sub> would require large amounts of electrical power to produce hydrogen or synthesis gas. This electricity must be CO<sub>2</sub>-free; that is, it must not come from fossil sources.

DOI: 10,1038/s41467-019-09685-x Contact: roland.dittmeyer@kit.edu

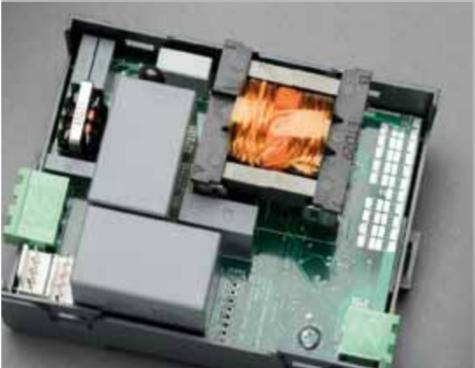
### WEITERE FÖRDERPERIODE VON SFB ZU WELLENPHÄNOMENEN BEWILLIGT

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft bewilligt die Weiterfinanzierung des SFB 1173 „Wellenphänomene: Analysis und Numerik“ für die nächste Förderperiode von vier Jahren. Neben 16 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der KIT-Fakultät für Mathematik arbeiten im SFB bereits seit vier Jahren Forscherinnen und Forscher aus Optik und Photonik, Biomedizintechnik und Angewandter Geophysik gemeinsam mit Mathematikern der Universitäten Stuttgart und Tübingen. Das Ziel des SFB „Wellenphänomene: Analysis und Numerik“ besteht darin, die Ausbreitung von Wellen unter realitätsnahen Bedingungen analytisch zu verstehen, numerisch zu simulieren und letztendlich auch zu steuern. Dabei konzentrieren sich die Wissenschaftler auf charakteristische Wellenphänomene: das Auftreten von stehenden und wandernden Wellen oder Wellenfronten, Oszillationen und Resonanzen, Dispersion, Wellenführung sowie Reflexion, Brechung und Streuung von Wellen.

### NEW POWER SUPPLY UNIT FOR ELECTRICAL DEVICES

Switching power supplies are omnipresent in electrical devices. They convert the alternating current from the house line into the direct current needed by the device. The problem: power supplies are susceptible to errors, which also reduces the service life of end devices. Scientists of KIT's Light Technology Institute (LTI) have now developed a power supply unit with a significantly increased service life that only requires a little more space. The control method runs on a microprocessor integrated in the supply unit and detects disturbing environmental impacts, such as higher voltage fluctuations that can be balanced. Researchers are now looking for industrial partners who would design power supplies for their applications based on the existing prototype.

Contact: michael.heidinger@kit.edu FOTO: MARKUS BREIG



### KÜNSTLICHE INTELLIGENZ VERBESSERT STROMÜBERTRAGUNG

Um die in der Regel volatilen erneuerbaren Quellen in die Energieversorgung zu integrieren, sind höhere Kapazitäten im Stromnetz erforderlich. Der Bedarf an Neubautrassen lässt sich jedoch reduzieren, wenn vorhandene Freileitungen je nach Witterungsbedingungen besser ausgelastet werden können. Dazu arbeiten am KIT Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Technik der Informationsverarbeitung im Verbundvorhaben „PrognoNetz“ an selbstlernenden Sensornetzwerken, welche die Kühlwirkung des Wetters anhand realer Daten modellieren. So lässt sich bei günstigen Bedingungen mehr Strom über die Leitung schicken. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt ist Anfang 2019 gestartet und läuft drei Jahre.

Kontakt: wilhelm.stork@kit.edu



GRAFIK: ITIV, KIT

**Deutschland habe mit der ersten Welle der Digitalisierung und der E-Mobilität wichtige Zukunftstrends verschlafen und innovationsfreudigere Länder wie die USA oder China liefen der einstigen Technologienation immer mehr den Rang ab, so ein oft zu hörendes Lamento. Marion Weissenberger-Eibl, Professorin für Innovations- und TechnologieManagement am Institut für Entrepreneurship, Technologie-Management und Innovation des KIT, sieht dennoch optimistisch in die Zukunft: Deutschland könne bei der Transformation ganzer Sektoren wie Energie, Mobilität oder Gesundheit punkten, meint die Institutsleiterin des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI. Die Ingenieurin und Wirtschaftswissenschaftlerin erforscht, wie aus Ideen am besten marktfähige Produkte und Dienstleistungen werden. Ihre Forschungsergebnisse unterzieht sie als Aufsichtsrätin mehrerer DAX-Unternehmen postwendend dem Realitätstest. Mit Erfolg: Weissenberger-Eibl wird von einem Fachmagazin nicht nur zu „Deutschlands Top-Aufsichtsrätinnen“ gezählt, sondern auch zu den „Top 100 einflussreichsten Managerinnen der deutschen Wirtschaft“. lookKIT-Autor Dr. Felix Mescoli wollte wissen, wo es am Innovationsstandort Deutschland schon gut läuft – und wo es Handlungsbedarf gibt.**

**Frau Professorin Weissenberger-Eibl, Ihr Interessensgebiet ist die Innovationsforschung. Wie erklären Sie einem Laien Ihren Forschungsgegenstand?**

Kurz gefasst untersuche ich, wie das Neue in die Welt kommt. Wichtig ist dabei auch, welche Unterstützung eine Idee braucht, damit sie am ehesten zur einer marktfähigen Anwendung wird. Und: Was haben wir als Gesellschaft davon? Als Innovationsforscherin verstehe ich mich als Brückenbauerin zwischen den Welten von Wissenschaft und Anwendung. Mir ist es wichtig, Forschungsergebnisse in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zu tragen. Deshalb engagiere ich mich auch stark im Wissens- und Technologietransfer.

**Das Wort „Innovation“ wird inflationär gebraucht. Alles und jedes soll irgendwie innovativ sein. Was bedeutet der Begriff für Sie? Unter Innovation verstehe ich die wirtschaftliche Anwendung einer Problemlösung. Wenn**

man den Begründer der Innovationsforschung Joseph Alois Schumpeter zitieren möchte, dann ist Innovation „die Durchsetzung neuer Kombinationen, die zu wirtschaftlichen Entwicklungen führen.“ Auf Deutschland als ressourcenarmes Land gemünzt: Nicht nur neue Produkte oder Dienstleistungen treiben unseren Wohlstand, sondern die Entwicklung ganzer Systeme. Unsere größte Ressource ist der Mensch. So können wir ganze Sektoren wie Energie, Mobilität oder Gesundheit transformieren. Damit aus einer Problemlösung wirtschaftliche

*Marion Weissenberger-Eibl, Professorin für Innovations- und TechnologieManagement am Institut für Entrepreneurship, Technologie-Management und Innovation des KIT*

*Marion Weissenberger-Eibl, Professor of Innovation and Technology Management at the KIT Institute for Entrepreneurship, Technology Management and Innovation*

Anwendungen entstehen können, bedarf es völlig neuer Methoden und Herangehensweisen. Eine Methode ist das „Corporate Foresight“, die Strategische Vorausschau. So können Unternehmen Veränderungen frühzeitig erkennen, ihre Konsequenzen und Implikationen abschätzen, sich für ein Szenario von Zukünften entscheiden und ihre Unternehmensstrategie erfolgsversprechend ausrichten. Das sichert den langfristigen Unternehmenserfolg. Darum ist es auch für uns in Deutschland eine Notwendigkeit, hier vorwärts zu gehen und ei-

## „Zukunftsfähigkeit gestalten“



FOTO: FRANZ WAMHOF



GRAFIK CHRISTINE HEINRICH

### DIE INNOVATIONSFORSCHERIN MARION WEISSENBERGER-EIBL HILFT UNTERNEHMEN, SICH FÜR DIE ZUKUNFT ZU WAPPEN

nen von Neugier und Offenheit geprägten Austausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zu pflegen.

**Wie funktioniert Strategische Vorausschau?** Mithilfe von Methoden der Strategischen Vorausschau können wir in die Zukunft blicken. Wir analysieren den gesellschaftlichen und technologischen Wandel und schaffen so die Basis für strategische Entscheidungen. Bei einem Projekt mit einer Wirtschaftsprüfungsgesellschaft zu den Folgen der Digitalisierung stellte sich zum Beispiel die Frage, wie Beratung und Wirtschaftsprüfung der Zukunft aussehen und welche Rolle die Digitalisierung dabei spielt – kurz, ob es eines neuen Geschäftsmodells bedürfe. Um diese Frage zu beantworten, haben wir am Lehrstuhl verschiedene Methoden der Strategischen Vorausschau eingesetzt: Im ersten Schritt haben wir technologische Trends durch qualitative Interviews mit Unternehmen identifiziert; wir nennen das Future Scanning und Scouting. Anschließend haben wir den Wirtschaftsprüfern in Workshops die identifizierten Technologien und Trends vorgestellt, diskutiert und auf deren Unternehmensprofil angewendet. Gemeinsam erarbeiteten wir dann ein Roadmapping-Konzept. Dieses Roadmapping ist essenziell, am Ende steht ein Fahrplan in die Zukunft – eine Gesamtrroadmap. Diese erlaubt Feinjustierung am Portfolio, die Auswirkungen auf Prozesse, Methoden, Firmenkultur sowie Organisation und Infrastruktur haben können.

**Wo läuft es in Deutschland bei der Innovationsfähigkeit gut und wo gibt es noch Blockaden, die es aufzulösen gilt?**

Ein positives Beispiel aus der Politik ist der Zukunftsdialog der Bundeskanzlerin. Dabei ging es 2011 in einem „Expertendialog“ und einem „Bürgerdialog“ um die Innovationskultur in Deutschland, also die Frage, wovon wir als Gesellschaft leben wollen. Damals haben wir in der Expertenarbeitsgruppe vorgeschlagen, regionale Innovations-Experimentieräume oder auch „Living Labs“ zu schaffen. In diesen Räumen können Experten und Nutzer kreativ Dinge gemeinschaftlich ausprobieren, die in die Gesellschaft hineinwirken. Das steht heute im Koalitionsvertrag. Nicht so schön sind natürlich die großen Zeiträume zwischen der bereits vor Jahren entstandenen Idee und ihrer Umsetzung. In Deutschland sind wir noch nicht spritzig genug. Ein Negativbeispiel ist die mangelnde steuerliche Förderung von Forschung und Entwicklung bei Unternehmen, die jetzt wohl endlich kommen soll. Hier sollten allerdings auch eingekaufte Forschungs- und Entwicklungsleistungen gefördert werden. Das wäre gerade für mittelständische Unternehmen wichtig, die aufgrund ihrer fehlenden Größe oft nicht selbst forschen können. Es bleibt spannend, wie nun die steuerliche FuE-Förderung ausfallen wird.

**Sie sind als Ingenieurin und Betriebswirtschaftlerin salopp gesagt eine wandelnde Schnittstelle zwischen Wissenschaft und**

**Wirtschaft. Ist der Dialog zwischen den beiden Sphären schwierig?**

Nach meiner Erfahrung nicht. Das mag aber auch daran liegen, dass ich in der Industrie gearbeitet habe und die Sprache der Wirtschaft spreche. Was eher Schwierigkeiten bereitet, sind die unterschiedlichen Zeithorizonte. Die Wirtschaft denkt tendenziell kürzer, die Wissenschaft länger. Unterschiedliche Ansichten gibt es auch bei den Publikationen. Wir Forscherinnen und Forscher richten unsere Publikationen auf die Wissenschaftscommunity aus. Für die Wirtschaft ist das dann oft unverständlich, zu wenig anwendungsnahe oder zu unspezifisch. Im besten Fall entstehen aus der Forschung nach meiner Überzeugung sowohl wissenschaftlich relevante Publikationen, als auch Beiträge für die Wirtschaft, die etwa neue Methoden oder Erkenntnisse für die Praxis aufzeigen. Gemeinsame Themen gibt es genug, es mangelt in manchen Fällen lediglich an zielgruppenspezifischer Kommunikation seitens der Wissenschaft.

**Vor ihrem Ingenieursstudium und dem anschließenden Wirtschaftsstudium haben sie eine Ausbildung zur Bekleidungsschneiderin gemacht. Haben sie diesen Bildungsweg bewusst eingeschlagen oder hat sich das so ergeben?**

Ich wollte Ingenieurin werden und zwar in der Bekleidungsindustrie. Das ist eine Industrie, die einerseits sehr kreativ, aber auch sehr strategisch ausgerichtet ist. Schließlich muss sie sich mindestens viermal im Jahr neu erfinden. Mir war klar, wenn ich hier als Führungskraft arbeiten will, muss ich etwas von der Sache verstehen. Nach dem Ingenieursstudium war ich auf der ganzen Welt in der Produktion unterwegs. Dabei wurde mir klar, wie wichtig betriebswirtschaftliche Kenntnisse sind. Dann bin ich meiner Neugier

folgend ins BWL-Studium eingestiegen. Ich gehe den Dingen eben gerne auf den Grund.

Schlagen da bei manchen Entscheidungen ein Ingenieurs- und ein BWLer-Herz in Ihrer Brust oder ergänzen sich die beiden Bereiche?

Wir stehen als Gesellschaft vor großen Transformationen: Energie, Mobilität, Gesundheit. Solche komplexen Fragestellungen bedürfen einer Vielfalt an Perspektiven, da kommt man – ich sage es etwas flapsig – mit der rein technologischen Brille nicht wirklich weiter. Auch muss man die Gesellschaft einbeziehen. Dazu gehören Wirtschaft und Industrie genauso wie die Zivilgesellschaft und die Bürgerinnen und Bürger. Wenn wir deren Erwartungen und Befürchtungen nicht aufgreifen, werden wir die genannten Herausforderungen nicht meistern, da es immer Blockaden von der einen oder anderen Seite geben wird. Wir müssen die Zukunft aber gemeinsam gestalten. Dabei helfen komplementäre Sichtweisen.

Wenn man sich den anhaltenden Streit um die Energiewende, die Verkehrswende und das Gesundheitswesen anschaut, scheint das in Deutschland bislang nicht so gut zu funktionieren.

Es ist immer schwierig aus bestehenden Mustern auszubrechen, wenn es gut läuft. Bildhaft gesprochen: Damit ein Diamant entsteht, braucht es Druck und Zeit. Handlungsdruck kann aus der Technologie kommen, von den Nutzerinnen und Nutzern oder von der Zivilgesellschaft. Nehmen wir das Beispiel Verbrennungsmotor. Da waren wir in Deutschland perfekt und haben dabei die Entwicklung der Elektromobilität übersehen. Dafür bekommen wir jetzt die Quittung. Wir sind nicht vorne mit dabei und die Aufholjagd wird extrem schwierig. Wir müssen also offen sein, neugierig sein und den Mut haben, aus gewohnten Bahnen auszubrechen. In meinen Vorlesungen, Seminaren und der Zusammenarbeit mit vielen Start-ups erlebe ich aber genau diese Offenheit und Neugier, deswegen bin ich für die Zukunft sehr optimistisch. In meinen Vorlesungen stellen sich KIT-Start-ups vor und dann diskutieren wir mit den Studierenden: Sowohl über die Geschäftsidee als auch darüber, was Gründerinnen und Gründer tun können, um erfolgreich zu sein, und schließlich über die Rahmenbedingungen, die Universitäten oder die Politik bereitstellen könnten, um Unternehmensgründungen in Deutschland zu stärken. Studierende Gründer

Gruppenbild beim Zukunftsdialog mit Bundeskanzlerin Angela Merkel 2011. Thema war unter anderem die Innovationskultur in Deutschland

Group picture at the Future Dialog with Federal Chancellor Angela Merkel in 2011, which focused on innovation culture in Germany among others



## “Shaping Sustainability”

### Innovation Researcher Marion Weissenberger-Eibl Helps Companies Equip for the Future

TRANSLATION: RALF FRIESE

That Germany failed to get involved in the first wave of digitization and e-mobility, and more innovative countries, such as the USA and China, increasingly outperformed the former technology nation, is the gist of a frequent lament. Marion Weissenberger-Eibl, Professor of Innovation and Technology Management at the Institute of Entrepreneurship, Technology Management and Innovation of KIT, nevertheless takes an optimistic view of the future: Germany might score in the transformation of entire sectors, such as energy, mobility or health. The engineer and economist, who is also the Director of the Fraunhofer Institute of Systems and Innovation Research, ISI, investigates how ideas are best turned into commercially viable products and services. She studies the conditions in which innovation and its impact occur. Her research is focused on such things as the management of innovation and technologies, roadmapping, strategic forecasting and planning, corporate networks, and knowledge management.

As one of “Germany’s top engineers,” Marion A. Weissenberger-Eibl was recently elected one of the “top 100 most influential women in German industry.” In acknowledgement of her scientific merits, the innovation scientist was appointed to the German Academy of Engineering Sciences in 2012. Since 2018, she has supported the Research Committee of the Science Council, adding her expert knowledge especially in writing the position paper on “application-oriented research.”

Marion A. Weissenberger-Eibl is an expert also held in high regard in politics. In 2011/12, she accompanied the Expert Dialog organized by the Federal Chancellor, where she headed the working group on culture of innovation and advised the Chancellor on the future design of industry and society in Germany. In the ensuing International German Forum in 2015, a format for interdisciplinary exchange on issues of worldwide relevance about the future, she moderated the group on “the future needs holistic solutions.” ■

Contact: marion.weissenberger-eibl@kit.edu

wiesen beispielsweise darauf hin, dass es oftmals nicht das große Finanzvolumen ist, das ganz zu Beginn der Gründung fehlt, sondern die Vernetzung und die Kontaktabbauung. Oftmals würden auch kleinere Finanzvolumen in der sehr frühen Phase den Start-ups helfen. Zudem sei die Venture Capital-Struktur und die Alumni-Netzwerkstruktur, wie wir sie aus den USA kennen, nicht besonders stark in Deutschland ausgeprägt.

Sie sind in verschiedenen Aufsichtsräten engagiert. Dass mehr Frauen in solche Positionen kommen sollen, ist ein viel diskutiertes Thema. Haben Sie selbst Widerstände erlebt? Wenn ja, wie können sie überwunden werden.

Das ist eine Frage, die mir in letzter Zeit häufig gestellt wird. Wenn ich in meine Vita schaue, war ich relativ früh mit dem Studium fertig und habe früh auf einer Managementebene direkt unter dem Vorstand gearbeitet. Da hat jeder seine Leistung und seine Kompetenzen eingebracht und im gemeinsamen Konzert mitgespielt. Ich glaube, das Thema wird im Moment ein wenig überzeichnet. Auf der anderen Seite war vor kurzem die Auszeichnung der Top 100 einflussreichsten Frauen in Deutschland, zu denen ich mich zählen darf. In Gesprächen merke ich schon, dass es hilft, so etwas sichtbar zu machen. Aber nicht, weil es um die Stärkung von Frauen geht, sondern um die Vielfalt von Perspektiven. Ich bin felsenfest davon überzeugt, dass gerade die komplexen Fragestellungen, über die wir uns bereits unterhalten haben, nur aus einer solchen Vielfalt heraus beantwortet werden können – wenn man diese Vielfalt vernetzt. Ich bin in Aufsichtsräten tätig, weil ich etwas von Technik und BWL verstehe, die Industrie von innen kenne und weil ich mich mit Themen beschäftige, die dort zentral sind: Innovation, Strategie, Digitalisierung, Foresight und Nachhaltigkeit.

Haben Sie bei Ihren zahlreichen Engagements eigentlich noch Freizeit?

Gott sei Dank, ja! Mein Mann und ich sind mit unseren E-Bikes viel in der Natur unterwegs oder führen unseren Oldtimer aus. Meine große Leidenschaft ist die Kunst. Ich beschäftige mich gerne mit neuen Künstlerinnen und Künstlern, besuche Galerien und auch das ein oder andere Mal eine Auktion. Besonders faszinieren mich abstrakte und zeitgenössische Kunst. Da gibt es in Karlsruhe und der Region viel zu entdecken. Das Neue fasziniert mich eben. ■

Kontakt: marion.weissenberger-eibl@kit.edu

Messen und  
Ausstellungen  
2019 – 2020

**SCHALL**  
MESSEN FÜR MÄRKTE

2019

**Motek** 38. Motek  
Internationale Fachmesse für Produktions- und Montageautomatisierung  
07. – 10.10.2019  
Messe Stuttgart

**Bondexpo** 13. Bondexpo  
Internationale Fachmesse für Klebtechnologie  
07. – 10.10.2019  
Messe Stuttgart

**Faszination Modellbau** 18. Faszination Modellbau FRIEDRICHSHAFEN  
Internationale Messe für Modellbahnen und Modellbau  
01. – 03.11.2019  
Messe Friedrichshafen

**Blechexpo** 14. Blechexpo  
Internationale Fachmesse für Blechbearbeitung  
05. – 08.11.2019  
Messe Stuttgart

**Schweisstec** 7. Schweisstec  
Internationale Fachmesse für Fügetechnologie  
05. – 08.11.2019  
Messe Stuttgart

2020

**Faszination Modellbahn** 8. Faszination Modellbahn  
Internationale Messe für Modelleisenbahnen, Specials & Zubehör  
13. – 15.03.2020 Maimarkthalle Mannheim

**Control** 34. Control  
Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung  
05. – 08.05.2020  
Messe Stuttgart

**Optatec** 15. Optatec  
Int. Fachmesse für optische Technologien, Komponenten und Systeme  
12. – 14.05.2020  
Frankfurt / M.

**Stanztec** 7. Stanztec  
Fachmesse für Stanztechnik  
23. – 25.06.2020  
CongressCentrum Pforzheim

**Motek** 39. Motek  
Internationale Fachmesse für Produktions- und Montageautomatisierung  
05. – 08.10.2020  
Messe Stuttgart

**Bondexpo** 14. Bondexpo  
Internationale Fachmesse für Klebtechnologie  
05. – 08.10.2020  
Messe Stuttgart

**Fakuma** 27. Fakuma  
Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung  
13. – 17.10.2020  
Messe Friedrichshafen

**Alle Termine online:**  
schall-messen.de/services/messekalender



**P. E. Schall GmbH & Co. KG**  
Gustav-Werner-Straße 6 · D-72636 Frickenhausen  
+49 (0)7025 9206-0 +49 (0)7025 9206-880  
info@schall-messen.de  
www.schall-messen.de



**Messe Sinsheim GmbH**  
Gustav-Werner-Straße 6 · D-72636 Frickenhausen  
+49 (0)7025 9206-100 +49 (0)7025 9206-88100  
info@messe-sinsheim.de  
www.messe-sinsheim.de



Professor  
Holger Hanselka

## MIT EINEM UNVERWECHSELBAREN PROFIL GUT GERÜSTET

JAHRESFEIER DES KIT

## WITH ITS UNMISTAKABLE PROFILE WELL PREPARED FOR THE FUTURE

KIT'S ANNUAL CELEBRATION

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER // FOTO: ROBERT FUGE

Visionen und Fragen, die sich um Künstliche Intelligenz (KI) auch im Kontext der Digitalisierung drehen, standen im Mittelpunkt der Jahresfeier 2019 des KIT. Ein Höhepunkt war der Vortrag von Theresia Bauer, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. „Künstliche Intelligenz ist eine Schlüsseltechnologie und als solche wird sie unsere Welt verändern. Sie wird unser Leben in vielen Bereichen anders und – entgegen aller Bedenken – besser machen“, sagte die Ministerin. Wichtigste Grundlage und unverzichtbare Voraussetzung dafür sei die Forschung. „Wir brauchen Erfindergeist und kreative Ideen, gepaart mit einem profunden Fachwissen und Einblicken in die verschiedenen Anwendungsumgebungen in Wirtschaft und Wissenschaft. Das KIT bietet hierfür die besten Voraussetzungen. Als ‚Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft‘ zeigt es ein unverwechselbares Profil und verbindet die Lehre hervorragend mit aktueller Forschung. In diesem Umfeld können wissenschaftlich fundierte Antworten auf die großen Herausforderungen unserer Zeit erarbeitet werden. Das KIT ist also gut gerüstet, um im Zeitalter der Digitalisierung voranzuschreiten und mit wissenschaftlicher Exzellenz den Weg zu bahnen.“

Die Geschwindigkeit und den revolutionären Charakter von KI betonte auch der Präsident des KIT, Professor Holger Hanselka, in seiner Ansprache. Dabei gelte es, KI zum gesellschaftlichen Nutzen einzusetzen. „Am KIT sehen wir unsere Verantwortung deshalb genau darin, nicht nur die Entwicklung neuer Technologien voranzutreiben, sondern auch deren Auswirkungen zu untersuchen und Risiken von Anfang an mitzudenken.“ Die Aufsichtsratsvorsitzende des KIT, Professorin Renate Schubert, hob sichtbare Erfolge, wie die erfolgreiche Einwerbung der beiden Cluster in der Exzellenzstrategie, als wichtige Meilensteine hervor. Der Aufsichtsrat werde auch künftig engagiert und verlässlich an der Seite des KIT stehen. Der Oberbürgermeister der Stadt Karlsruhe und Vorsitzende der TechnologieRegion, Dr. Frank Mentrup, betonte in seinem Grußwort die gelungene Vernetzung von Öffentlicher Hand, Wirtschaft und Wissenschaft als Glücksfall für die ganze Region und würdigte die zukunftsweisenden Ideen der vielen innovativen Köpfe am KIT. ■

Visions and questions relating to artificial intelligence (AI) in the context of digitization were in the focus of KIT's Annual Celebration 2019. A highlight was the speech by Theresia Bauer, Baden-Württemberg Minister of Science, Research, and the Arts. "Artificial Intelligence is a key technology and, as such, it will change our world. It will change many areas of our life and – despite all misgivings, make it better," said the Minister. She thinks that research is the most important basis and indispensable prerequisite for this. "We need inventive talent and creative ideas, combined with profound expert knowledge and insights into the different application environments in industry and science. KIT offers the best prerequisites for this. As 'The Research University in the Helmholtz Association,' it has an unmistakable profile and excellently combines academic education with the latest research. In this environment, scientifically consolidated responses to the big challenges of our time can be developed. The KIT is thus well prepared to further advance in the era of digitization and to pave the way with scientific excellence."

The speed and the revolutionary character of AI were also emphasized by the President of KIT, Professor Holger Hanselka, in his speech. He underscored the importance of using AI for the benefit of society. "As KIT, we see our responsibility as not only pushing the development of new technologies, but also studying their impacts and considering their risks from the very beginning." The Chairperson of the Supervisory Board of KIT, Professor Renate Schubert, highlighted visible successes, such as the recent acquisition of two clusters of excellence, as important milestones. The Supervisory Board is committed to KIT's success and will be a reliable ally of KIT in future, she said. The Lord Mayor of the City of Karlsruhe and Chairman of the Technology Region, Dr. Frank Mentrup, emphasized the successful collaboration of public authorities, industry, and science in the region and acknowledged the future-oriented ideas of the many innovative minds at KIT. ■



## SMART MIT DER CAMPUS-KOLLEKTION

[www.kit-shop.de](http://www.kit-shop.de)



KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft

[www.kit.edu](http://www.kit.edu)



Innovationsfabrik  
Heilbronn

## COWORKING-PLÄTZE

SCHON AB 98€\*

EINZIGARTIGES AMBIENTE –  
AUCH FÜR EUER STARTUP!

Ideal für die ersten Schritte ins Business mit **Büros für Startups** und **Coworking-Plätzen**, zentralem **Service-Point** und Postadresse! Weitere Infos zu unseren Räumlichkeiten und Veranstaltungen unter [www.innovationsfabrik.de](http://www.innovationsfabrik.de) und auf Facebook.

Innovationsfabrik Heilbronn (IFH)  
Weipertstr. 8-10 | 74076 Heilbronn



Bistrobereich



Chillzone mit Ideenboard

\* monatlich (zzgl. USt.) bzw. ab 980€ (zzgl. USt.) bei Jahresbuchung.



Modell der Überdachung des Münchner Olympiageländes von Frei Otto: 2011 hat Otto das Werkarchiv mit über 400 Modellen an das saai übergeben

Model of the roofing of the Olympic site in Munich by Frei Otto: In 2011, Otto handed over the archive with over 400 models to the saai

## Schatzkammer und

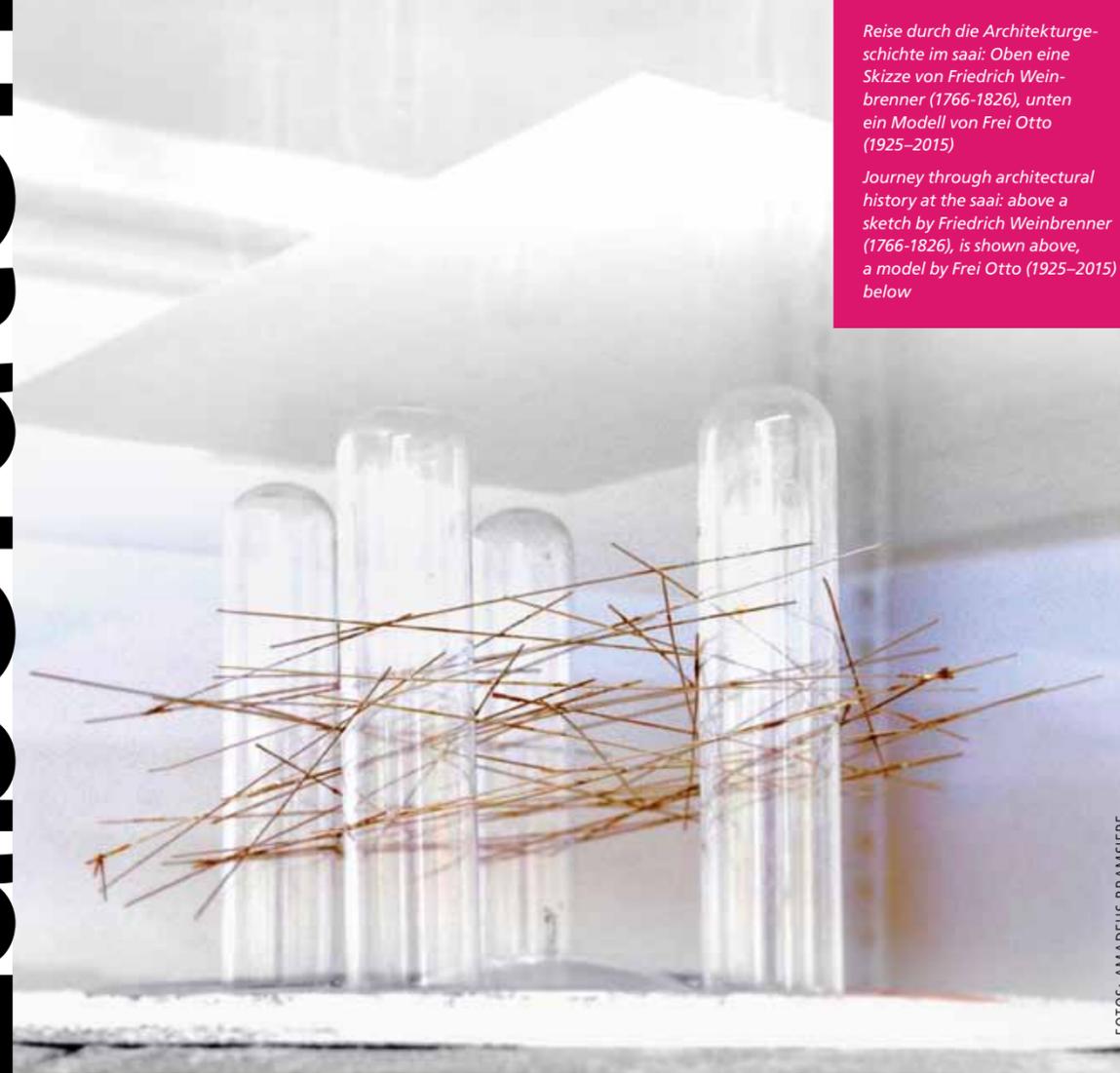
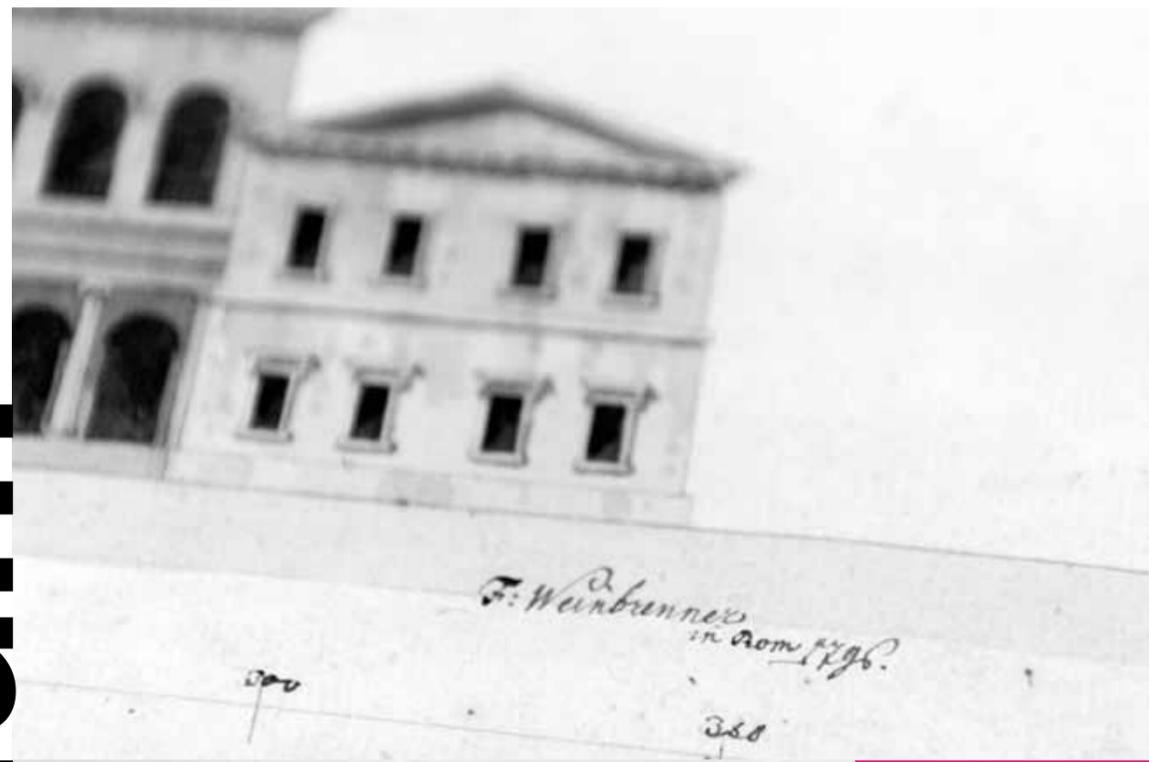
### EIN BESUCH IM SÜDWEST-DEUTSCHEN ARCHIV FÜR ARCHITEKTUR UND INGENIEURBAU

VON JUSTUS HARTLIEB

Ins Weichbild des östlichen Karlsruhe drückt sich der Universitätscampus des KIT wie ein zackig geschwungener Bumerang. Das eineinhalb Quadratkilometer große Areal zwischen Schlossgarten, Kaiserstraße und Fasanengarten hat auch dem Architekturinteressierten einiges zu bieten. Hörsäle, Institute, Verwaltungsgebäude und Laboratorien von der Gründerzeit bis zur zeitgenössischen Moderne geben einen Eindruck vom universitären Bauen im Wandel der Zeit. Das älteste Gebäude des Campus liegt in Sichtweite des Durlacher Tores. In dem von 1777 bis 1779 errichteten „Zeughaus“ bewahrte Markgraf Karl Friedrich einst seine umfangreiche Jagdausrüstung auf; im 19. Jahrhundert diente das symmetrisch angelegte Gebäudeensemble im Louis-Seize-Stil als Militärdepot und wurde zu einem Brennpunkt der Badischen Revolution.

So viel Geschichtlichkeit ist ein gutes Omen für die heutigen Nutzerinnen und Nutzer. In einem der ockerfarben getünchten Nebengebäude des Zeughauses, nur sechs Treppenstufen von der geschäftigen Kaiserstraße getrennt, hat das Südwestdeutsche Archiv für Architektur und Ingenieurbau, kurz: saai, sein Quartier. Den Zeitläufen gerecht zu werden, ist hier gewissermaßen Mission: Das saai sammelt, archiviert, kon-

# Laboratorium



Reise durch die Architekturge-schichte im saai: Oben eine Skizze von Friedrich Weinbrenner (1766-1826), unten ein Modell von Frei Otto (1925-2015)

Journey through architectural history at the saai: above a sketch by Friedrich Weinbrenner (1766-1826), is shown above, a model by Frei Otto (1925-2015) below



Dr. Gerhard Kabierske, wissenschaftlicher Mitarbeiter des saai und früherer Karlsruher Stadtkonservator

Dr. Gerhard Kabierske, scientific assistant at saai and former Karlsruhe municipal curator

serviert und erforscht Materialien zum Werk bedeutender Architekten, Ingenieure, Bauhistoriker und Architekturfotografen, die im deutschen Südwesten oder von dort aus in aller Welt tätig gewesen sind. „Unsere Sammlung“, erläutert Dr. Gerhard Kabierske, wissenschaftlicher Mitarbeiter und früherer Karlsruher Stadtkonservator, „besteht aus themenbezogenen, vor allem jedoch aus rund 250 personenbezogenen Einheiten, vom kleineren Konvolut bis zum kompletten Werkarchiv.“ Im Einzelnen umfasst der Bestand 530 000 Pläne, Zeichnungen und Skizzen, 680 000 Fotos, Film- und Tondokumente, 900 Modelle, 50 Möbelstücke sowie 1,5 Regalkilometer an Bauakten, Büchern und Fachzeitschriften. Im Kavaliershäuschen an der Kaiserstraße ist das längst nicht mehr unterzubringen. Von der angemieteten Lagerhalle im Gewerbegebiet bis zu einem Trakt der schlossnah gelegenen staatlichen Münzprägestalt verteilen sich die Schätze des saai deshalb auf sieben Außenmagazine.

Denn um Schätze handelt es sich. Die filigranen Präsentationsansichten des Rastatter Schlosses aus der Hand des Barockbaumeisters Domenico Rossi, die kolorierten Schaubilder des badischen Baudirektors und klassizistischen Neuerers Fried-

FOTOS: AMADEUS BRAMSIEPE

## Das saai erleben

Das Südwestdeutsche Archiv für Architektur und Ingenieurbau wurde 1990 auf Beschluss der baden-württembergischen Landesregierung gegründet und als Dienstleistungseinrichtung am KIT angesiedelt. Das Archiv fußt auf der Lehrsammlung des Karlsruher Polytechnikums, einer Vorgängereinrichtung des KIT. Seit den 1970er Jahren wird das saai durch Schenkungen bedeutender Nachlässe zeitgenössischer Architekten sowie durch Ergänzungen der Altbestände erweitert. Heute zählt es zu den umfassendsten und wichtigsten Architektursammlungen Deutschlands.

Einen guten Einstieg in das saai bietet die Homepage [www.saai.kit.edu](http://www.saai.kit.edu). Forschende finden hier u. a. eine differenzierte Beschreibung der nach Themen und Personen geordneten Archivalien. An die interessierte Öffentlichkeit wendet sich das saai mit jährlichen Ausstellungen in der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe, mit Sonderausstellungen an wechselnden Orten sowie mit Publikationen zu Architekten und Epochen. Die nächste saai-Ausstellung ist für das Frühjahr 2020 geplant und widmet sich Fotografien von Bauten Egon Eiermanns, eines Hauptvertreters der deutschen Nachkriegsmoderne. Ebenfalls in Vorbereitung ist eine Ausstellung zu Frei Otto an der Yale University. ■



FOTOS: AMADEUS BRAMSTIEPE



Archivbestand Weinbrenner: gerettete Reste der opulenten Stuckausstellung aus dem kriegszerstörten Markgräflichen Palais am Rondellplatz (Foto ganz oben)

Darunter eine Studienzeichnung aus der Lehrzeit des Architekten Heinrich Hübsch (1795–1863) an der Bauschule Friedrich Weinbrenners

Weinbrenner archive: rescued remains of the opulent stucco exhibition from the margrave's palace on Rondellplatz (top photo)

Including a study drawing by architect Heinrich Hübsch (1795–1863) made at the building school of Friedrich Weinbrenner

## Treasury and Laboratory

### Visiting the Archive for Architecture and Engineering in Southwest Germany

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

In 1990, the Archive for Architecture and Engineering in Southwest Germany (saai) was established as a service institution of KIT by the Baden-Württemberg state government. The Archive is based on the academic collection of Karlsruhe Polytechnical College, one of KIT's predecessors. Since the 1970s, saai's old inventories have been extended continuously with the addition of donations from the estates of contemporary architects. The current inventory of saai consists of 530,000 plans, drawings, and sketches, 680,000 photos, film and audio documents, 900 models, 50 pieces of furniture, and 1.5 kilometers of construction files, books, and journals. It is one of the most comprehensive and important collections of architecture in Germany today.

Information on saai is provided on the homepage (in German), including a detailed description of the archive documents ordered by topics and persons. For the interested public, saai organizes annual exhibitions at the Baden State Library in Karlsruhe or special exhibitions at various places and issues publications on architects and epochs. The next saai exhibition will take place in spring 2020 and will be dedicated to photographs of buildings designed by Egon Eiermann, one of the main representatives of German post-war modernism. In addition, an exhibition on Frei Otto at Yale University (Connecticut, USA) is being planned. ■

Information: [www.saai.kit.edu](http://www.saai.kit.edu) (in German)

Contacts: [gerhard.kabierske@kit.edu](mailto:gerhard.kabierske@kit.edu) and [georg.vrachliotis@kit.edu](mailto:georg.vrachliotis@kit.edu)

rich Weinbrenner, die Entwürfe seines Nachfolgers Heinrich Hübsch für die mondäne Baden-Badener Wandelhalle, aber auch die im saai schwerpunktmäßig versammelten Zeugnisse aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts: Egon Eiermanns Pläne für den auf neue Leichtigkeit und Transparenz abzielenden deutschen Expo-Pavillon 1958, die Konstruktionszeichnungen Fritz Leonhardts für den Maßstäbe setzenden Stuttgarter Fernsehturm, die kühnen Zelt-Modelle des Leichtbau-Revolutionärs Frei Otto und so vieles mehr. Den säurebeständigen Mappen, den metallenen Schubfächern und den hohen Regalen entnommen, beeindruckend, ja bewegen diese Unikate als Quasi-Kunstwerke wie als historisch ferne Anfänge einer auch im Maßstab 1:1 oft noch zugänglichen gebauten Welt.

„Architektur ist ein Generator von Wissen und Emotionen“, sagt Georg Vrachliotis, „man muss kein Fachmann sein, um das wahrzunehmen.“ Vrachliotis ist Professor für Architekturtheorie an der renommierten KIT-Fakultät für Architektur und leitet das saai. Gemeinsam mit einem kleinen, aber hochprofessionellen Team aus Architekten, Kunsthistorikern und Restauratoren arbeitet er daran, das Archiv seiner Bedeutung entsprechend als internationalen Akteur und als lokalen Standortfaktor zu positionieren. „Gerade in einer Zeit der Umbrüche“, ist Vrachliotis überzeugt, „sind Archive, wenn man sie als Laboratorien versteht, wichtiger denn je.“ Als Maßnahmen der Wahl stehen – unterstützt

ANZEIGE



ziehl-abegg.de

## Ausbildung oder Studium dann Karriere

Starte jetzt deinen Weg in die Königsklasse





Die Königsklasse

Mehr Volumen bei kleinerer Größe

der Lufttechnik

Regeltechnik und Antriebstechnik



Ausgezeichneter Ausbildungsbetrieb

Die Königsklasse in Lufttechnik, Regeltechnik und Antriebstechnik

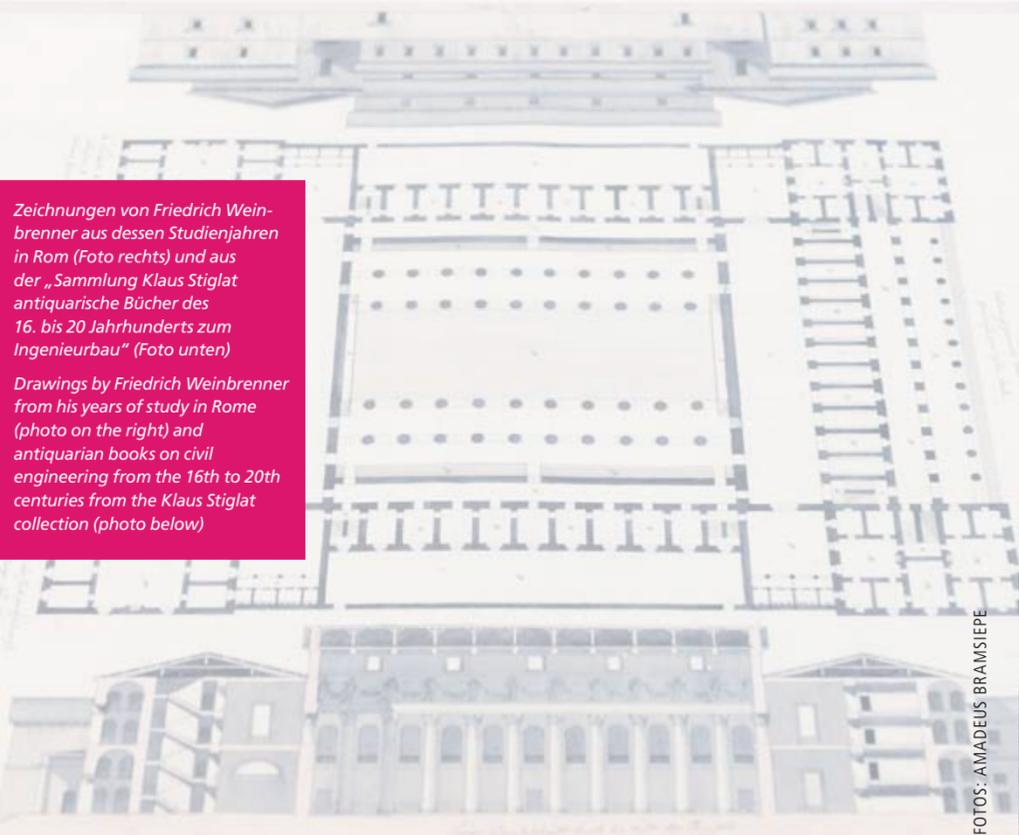
ZIEHL-ABEGG wurde zum **besten Ausbildungsbetrieb Deutschlands 2018** von FOCUS und FOCUS-MONEY im Bereich Elektroindustrie ausgezeichnet.



FOTO: PRIVAT



Georg Vrachliotis ist Professor für Architekturtheorie an der KIT-Fakultät für Architektur und leitet das saai  
Georg Vrachliotis is professor of architectural theory at the KIT Department of Architecture and heads the saai



Zeichnungen von Friedrich Weinbrenner aus dessen Studienjahren in Rom (Foto rechts) und aus der „Sammlung Klaus Stiglat antiquarische Bücher des 16. bis 20 Jahrhunderts zum Ingenieurbau“ (Foto unten)  
Drawings by Friedrich Weinbrenner from his years of study in Rome (photo on the right) and antiquarian books on civil engineering from the 16th to 20th centuries from the Klaus Stiglat collection (photo below)

FOTOS: AMADEUS BRAMSIEPE

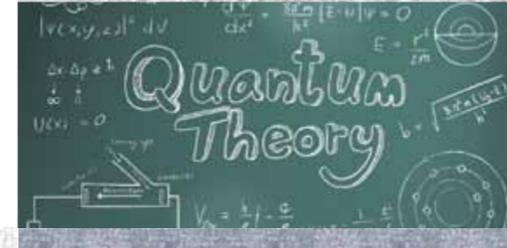
durch private und institutionelle Förderer – die schrittweise Digitalisierung des Bestandes und der Aufbau eines dem Archiv angegliederten Studienzentrums an.

Hinzu kommt ein kulturpolitisches Engagement, für welches der Kampf um den Erhalt der Mannheimer Multihalle ein prägnantes Beispiel ist. Der zur Bundesgartenschau 1975 von Joachim Langner, Carlfried Mutschler und Pritzker-Preisträger Frei Otto (letztere mit umfangreichen Werkarchiven im saai vertreten) entworfene Bau mit der Kuppel aus frei geformten Holzgitterschalen gilt als Meilenstein zwischen Architektur und Ingenieurskunst.

Gleichwohl stand der Abriss des Kulturdenkmals bis vor Kurzem im Raum. Mit seiner großen Frei-Otto-Ausstellung 2017 im Karlsruher ZKM, einem Auftritt zur Multihalle auf der Architekturbiennale 2018 sowie in Gesprächen mit Ministerien, Bürgermeistern und Gemeinderäten hat, wie Georg Vrachliotis berichtet, das saai maßgeblich dazu beigetragen, die Millionen für eine Sanierung doch noch zu mobilisieren.

Der stillere, doch nicht minder interessante Normalbetrieb des Archivs geht unterdessen weiter. Heute sitzt Gerhard Kabierske sozusagen auf ungepackten Koffern. Mit einem Kastenwagen voller Transportkisten geht es ins Schwäbische, zur Nachlass-Übernahme im Haus des Stuttgarter Architekten und Hochschullehrers Roland Ostertag. ■

Kontakt: gerhard.kabierske@kit.edu und georg.vrachliotis@kit.edu



### 9.1 MILLION EUROS FOR TRINATIONAL QUANTUM RESEARCH

The project "Quantum Science and Technologies at the European Campus" (QUSTEC) has been selected by the European Commission as a joint international and interdisciplinary doctoral program in quantum sciences and technologies. Led by Eucor – The European Campus, it will bring together the universities of Basel, Freiburg and Strasbourg, Karlsruhe Institute of Technology, and IBM Research Zurich. Together, they provide 39 doctoral candidates a training experience in this key emerging area. The program is funded for a five-year period with a total amount of 9.1 million euros. In addition to 4.2 million euros from the European Union, there is co-financing from the participating partner organizations as well as from Santander through its own Santander Universities division. The QUSTEC project has been launched with the support of the Franco-German University.

Contact: serviola.beqiraj@kit.edu  
FOTO: GOW27/FOTOLIA



### HIGHER DAAD FUNDING FOR MOBILITY AT KIT

Supporting mobility in the ERASMUS+ program, the German Academic Exchange Service (DAAD) provides KIT with more than 1 million euros in 2019. This offers roundabout 425 students – with higher funding rates than before – and 30 employees the opportunity to gain experience in a foreign country. In the past, the favorites were France, Spain, and Sweden. In their reports, students who went abroad describe the benefit for their studies. They also talk about the way they enjoyed getting to know culture, language, and food of a certain region and, moreover, finding friends. Since 2016, the DAAD funding for European mobility at KIT has increased by more than 40 percent.

Contact: Julia.johnsen@kit.edu  
FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE



### STUDENTS DEBATE ON CLUSTER BENEFITS

Student representatives from all CLUSTER members, among them KIT, have presented their ideas about the European science network during the Steering Committee Meeting and the General Assembly in Lisbon in April. They suggested for example to make the network more visible to students and its academic offers easier accessible. The CLUSTER members promised to take up the students' ideas and invited them to continue their discussion at another meeting in Barcelona in July. Besides, the members reflected the role of associated partners. A working group will work out a draft on a potentially stronger involvement of these partners. A further topic was the celebration of 30 years of CLUSTER in 2020 on April 2, there will be an open conference symposium dealing with the "future of engineering education."

Contact: klaus.ruemmele@kit.edu  
FOTO: PRIVAT

# INTERNATIONAL NEWS

FOTO: ZBYNEK JIROUSEK/FOTOLIA // COLLAGE: CHRISTINE HEINRICH



Aussicht aus einem Start-up-Office in einem etwas außerhalb liegenden Stadtteil von Kampala, Uganda

View from a startup office in an outer district of Kampala, Uganda

# Start-up Ostafrika: Ein Hub für Innovation oder zum Scheitern verurteilt?

**EIN REISEBERICHT ÜBER EINE START-UP TOUR VOLLER ERKENNTNISSE UND INSPIRATIONEN**

Ostafrikas Gründerszene: jung, inspiriert, hoffnungsvoll – und mit einer Menge Problemen. Vor einigen Wochen waren zehn Studierende des KIT mit der studentischen Gründungsinitiative PionierGarage in Ostafrika, um dort in Austausch mit der lokalen Start-up-Szene zu treten. Die PionierGarage besteht mittlerweile seit zehn Jahren in Karlsruhe, hat ein Netzwerk aus Gründern, Investoren und Unterstützern aufgebaut und gibt viele Hilfestellungen, um Studierenden den Einstieg in die Gründerszene zu erleichtern. Zusätzlich fährt jedes Semester eine Gruppe in die Start-up-Zentren dieser Welt. Bisherige Touren gingen unter anderem ins Silicon Valley, Indien und China. Dieses Semester war Ostafrika das Ziel: Kenia, Uganda und Ruanda. Doch was

haben die Start-ups dort wirklich zu bieten und wie beurteilen die Karlsruher Studierenden nun die Gründerszene? Wo liegt das Potenzial, wo die Probleme? Für lookKIT berichtet die Vorstandsvorsitzende der PionierGarage, Antonia Lorenz, von der spannenden Reise.

*Das Start-up-Ökosystem in Ostafrika blüht auf und ist eines der fortschrittlichsten auf dem Kontinent. Vorne mit dabei: Kenia. Das Land ist seit Jahren der Start-up-Hub in Ost- und Zentralafrika. Doch auch Uganda und Ruanda holen auf. Ein paar Fakten zur Tour: 17 spannende Tage haben wir in Afrika verbracht. Wir sind in Kenia eingeflogen, dann nach Uganda gereist und haben zuletzt ein paar Tage in Ruanda ver-*

*bracht. Von dort sind wir wieder zurück nach Deutschland gereist. Innerhalb Afrikas sind wir ausschließlich Bus gefahren. Wir haben auf der Tour über 25 Start-ups und Start-up-Hubs besucht, haben mit Gründern, Beschäftigten und Unterstützern der Gründerszene gesprochen. Die Reiseplanung haben wir selbst organisiert, die meisten Kontakte sind über Webrecherche und LinkedIn entstanden. Potenzial und Herausforderungen: Die Lebensumstände in Ostafrika führen einerseits zu unglaublichen Herausforderungen, bieten andererseits aber auch unglaubliche Möglichkeiten. Dabei spreche ich über Themen wie Demographie und Bevölkerungswachstum, zurückgebliebene Entwicklung und fehlende Strukturen. Doch was macht diese Gegebenheiten aus und warum könnten gerade diese zu einer besonders florierenden Gründerszene führen? Afrikas Bevölkerung besteht aus circa 1,3 Milliarden Menschen. Bis 2050 soll sich diese Zahl verdoppeln. Die Bevölkerung wächst aber nicht nur rasant, sondern ist auch sehr jung. Über 40 Prozent der Menschen sind unter 15 Jahre alt. Diese Ausgangssituation kann zwar zu Problemen führen, allerdings kann die Bevölkerung auch zu einem „demographischen Bonus“ werden, da es viele Menschen im erwerbstätigen Alter gibt und kaum alte Menschen, um die sich gekümmert werden muss. Der demographische Bonus kommt aber nur zum Tragen, wenn alle Kinder,*

*die geboren werden, auch die nötige Bildung erhalten und Menschen tatsächlich arbeiten und genug Geld verdienen, um damit ihren Lebensunterhalt bestreiten zu können. Und hier liegt oft das Problem, so unser Eindruck.*

*Fehlende Strukturen und Arbeitslosigkeit führen zu Gründungen aus Notwendigkeit. Jobs werden regelrecht künstlich erschaffen, indem für kleinste Dienstleistungen wie „Tasche im Supermarkt einräumen“ eine Person eingestellt wird. Dass diese Jobs nicht für den Lebensunterhalt ausreichen und zu Frustration führen, ist offensichtlich. Daher versuchen viele Menschen, nebenher weiteres Geld zu verdienen. „Die meisten müssen auch abends zusätzlich arbeiten“, erzählte uns ein Gründer in Nairobi.*

*Dennoch haben wir viel Hoffnung und Initiative erlebt: Mit dem stabilen Zugang zum Internet ist der Weg zum nötigen Wissen vorhanden. So können aus Problemen Möglichkeiten werden, die mithilfe von Innovation und der Kreativität der Gründer auf eine Weise gelöst werden, die Lösungen aus Industrieländern in nichts nachstehen. Zusammengefasst war unser Eindruck: Es gibt viele tiefgreifende Probleme und auch viele Menschen, die sie theoretisch lösen können, sofern sie die nötige Bildung erhalten. Dass das zum Großteil ein politisches Problem ist, steht außer Frage. Durch einen guten Zugang zum Internet ist In-*



Das Team der PionierGarage zu Besuch bei den zwei Start-ups in Nairobi: Lynk (links), eine Plattform, die Handwerker mit Auftraggebern vernetzt, und BRCK (unten), ein Start-up, das kostenloses Internet an öffentlichen Plätzen bereitstellt

The PionierGarage team visiting the two startups in Nairobi: Lynk (left), a platform that links craftsmen with clients, and BRCK (below), a startup that provides free Internet access at public places

*formation zugänglich, was wiederum eine gute Ausgangslage für Innovation und eine florierende Gründerszene bietet. Die meisten von uns besuchten Start-ups haben sich mit elementaren Problemen wie Gesundheitsversorgung, Internetzugang, Logistik und Transport oder Stromversorgung beschäftigt. Damit bearbeiten sie sehr weitrei-*

*chende Themen und haben sogar erste Strukturen geschaffen. Unser Eindruck war, dass Afrika die Industrialisierung sogar an manchen Stellen regelrecht übersprungen hat. Ob es ein Röntgengerät ist, welches man ans Smartphone anschließen kann, oder eine Logistikköpfung, die als „Uber für Trucks“ fungiert.*

*Trotz der Menge an innovativen Lösungen, könnten Kenia, Uganda und Ruanda dennoch nicht unterschiedlicher sein. Sowohl die Mentalität und Kultur als auch die Entwicklung, die Politik und nicht zuletzt die Gründerszene. Kenia ist aufstrebend und Anlaufstelle für ausländische Investoren, das Bruttoinlandsprodukt ist pro Kopf über doppelt so groß wie das von Uganda und Ruanda. Außerdem ist die Gründerszene sehr etabliert und die meisten ausländischen Investments gehen dorthin. Zusammengefasst in Stichworten: Wirtschaftshub, Korruption, ausländisches Investment, lowtrust und „hustle“, was übersetzt so viel bedeutet wie „hart arbeiten“. Das beschreibt auch die Arbeitsmentalität maßgeblich. Kenias wirtschaftliches Aufstreben hat verschiedene Gründe, die Zielstrebigkeit der Menschen ist sicherlich einer davon. Zusätzlich geht ein Großteil der wohlhabenden Bevölkerung für ihr Studium in die USA oder nach Europa. Wir haben*



FOTOS: PIONIER GARAGE

## Startup Scene in East Africa: Innovation Hub or Doomed to Failure?

### A Report on a Startup Tour Full of Insights and Inspiration

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

The startup scene in East Africa is young, inspired, and full of hope – and it faces a lot of problems. Some weeks ago, ten students of KIT's students' startup initiative PionierGarage traveled to East Africa to share their experiences with the startup scene there. The PionierGarage Launchpad has operated in Karlsruhe for ten years now. It provides support to help students establish startups. Each semester, a group travels to the startup centers of the world. This semester, their destination was East Africa: 17 days in Kenya, Uganda, and Rwanda. The students visited more than 25 startups and startup hubs and talked to founders, staff, and supporters.

Antonia Lorenz, Chairwoman of PionierGarage, concludes: the region urgently needs money and education – money to implement business ideas and education to take advantage of a coming demographic bonus, Investments are lacking, especially in the seed phase, resulting in a gap between validated ideas and implementation that cannot be closed. In the industrialized world, a seed investment would range from 100,000 to 500,000 Euros, whereas in East Africa 10,000 Euros would be sufficient. Currently, some funds flow into incubators and hubs offering offices, workshops, etc. However, it would be much more helpful if the money would be invested directly into local startups. For this, a network of local ambassadors, who are highly familiar with the market, would be required to select and fund promising startups. Lorenz points out that relationships between founders and the market need to be based on an equal footing. She thinks that East Africa has a great economic potential that can be promoted by sincere and sustainable business relationships only. Looking ahead, Lorenz thinks that it is worthwhile to regard Africa as a place of new business opportunities and partners rather than a backward continent. Above all, it is a location of many new and creative ideas. ■

List of and links to the startups: [tour.pioniergarage.de](http://tour.pioniergarage.de)  
Information and contact: <https://pioniergarage.de>

kaum Gründer besucht, die ausschließlich Bildung in Afrika genossen haben. Gründer mit westlicher Prägung bringen Kontakte und vor allem Wissen über die westliche Mentalität mit. Nur so ist es möglich, an Geld aus den USA oder Europa zu kommen. Die Mentalität unterstützt also merklich harte Arbeit und aggressives wirtschaftliches Handeln. Korruption und fehlendes Vertrauen innerhalb der Gesellschaft verhindern allerdings nachhaltige und offene Geschäftsbeziehungen.

In Uganda sieht es wieder völlig anders aus. Wirtschaftlich sicher weniger aufstrebend, dafür lebensfroh und kreativ. „We are the most entrepreneurial country“, haben wir öfters gehört. Außerdem, dass die Bevölkerung (in Uganda) als eine der glücklichsten gelte, und nicht ganz so fleißig sei, wie uns eine Gründerin scherzhaft mitteilte: „Zumindest im Vergleich zu Kenia.“ Unsere Wahrnehmung zeigte ähnliches. In Kampala, der Hauptstadt haben wir uns wesentlich sicherer gefühlt als in Nairobi. Die Gründer waren sehr kontaktfreudig und freundlich. Sie haben auch offener über ihre Fehler und Rückschläge gesprochen. Wir haben außerdem eine Inspiration und Hoffnung in den Menschen gespürt, wenn sie von Zielen und Plänen gesprochen ha-

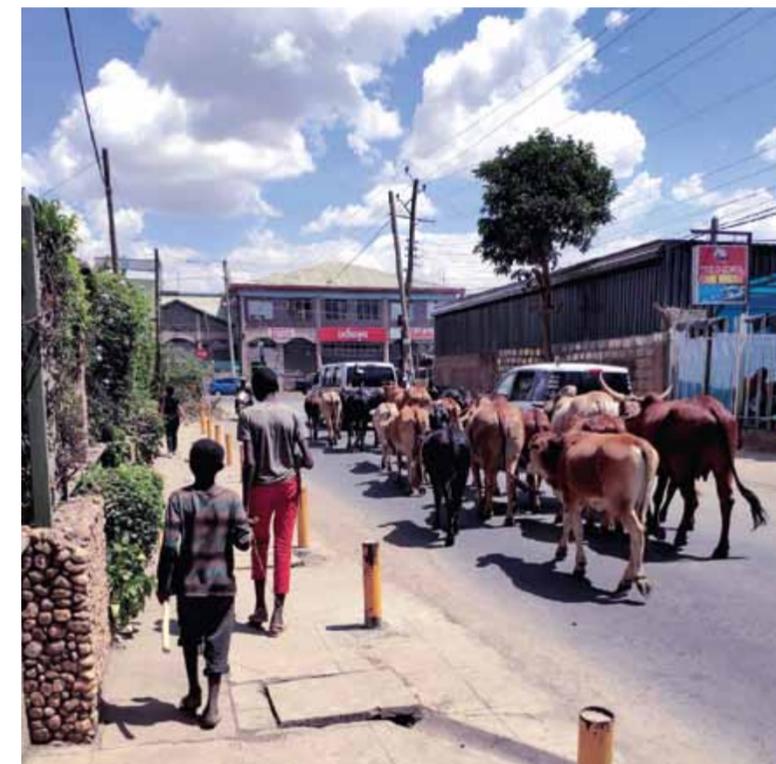
kermord stattgefunden, bei dem wahrscheinlich bis zu eine Million Menschen der Volksgruppe Tutsi von Anhängern der Hutu ermordet wurden. Das Land lag brach, die Bevölkerung war traumatisiert und kulturell zerstört. Seit nun fast 20 Jahren ist Präsident Paul Kagame an der Macht. Sein Ziel: Ruanda soll das Singapur Afrikas werden. Mit einer strikten Versöhnungskultur, zielorientierter Politik, einem Sozialsystem und Gesetzen, die tatsächlich ausgeführt werden, ist er auf einem guten Weg. Die Straßen sind neu und alle Häuser sind gemauert. Alles wirkt geordnet und ruhig. Eine Firma zu gründen, könnte wohl nicht leichter sein. Das Ausfüllen eines Formulars reicht aus, um ein eingetragenes Unternehmen zu sein. Das geordnete Leben erinnert tatsächlich eher an Singapur, trotzdem bleiben die Geschäftsmöglichkeiten des afrikanischen Marktes erhalten. Mit diesen Voraussetzungen ist Ruanda auch ein Anziehungspunkt für Gründer aus Europa oder den USA. Investments für einheimische Gründer sind allerdings auch hier Mangelware.

Fazit unserer Reise durch Ostafrika: Die Region braucht dringend Geld und Bildung. Bildung, damit der demographische Bonus zum Tragen kommt und Geld, damit die Geschäftsideen auch flächendeckend umgesetzt werden können. Be-

sonders in der Seed Phase fehlt es an Investment, da die Lücke zwischen einer validierten Idee und der wirklichen Umsetzung nicht geschlossen werden kann. In der industrialisierten Welt wird bei einem Seed Investment über 100 000 bis 500 000 Euro verhandelt, in Ostafrika wären 10 000 Euro für ein Start-up in dieser Phase schon ausreichend. Momentan fließen einige der Gelder in Inkubatoren und Hubs, die Büroräume, Workshops et cetera bieten. Viel hilfreicher wäre es doch, wenn das Geld unmittelbar in lokale Start-ups investiert würde, wurde uns oft gesagt. Dafür wären allerdings ein Netzwerk aus Botschaftern vor Ort nötig, die den Markt sehr gut kennen und vielversprechende Start-ups aussuchen und fördern könnten. Das ist aber sehr aufwändig

und am Ende gäbe es nicht mit Sicherheit ein vorzeigbares Projekt. Was sich mit Sicherheit sagen lässt ist, dass man Gründern und dem Markt auf Augenhöhe begegnen muss. In Ostafrika liegt viel ökonomisches Potenzial und dieses wird nur mit aufrichtigen und nachhaltigen Wirtschaftsbeziehungen gefördert. Besonders im Hinblick auf die Zukunft lohnt es sich, Afrika nicht als einen zurückgebliebenen Kontinent zu betrachten, sondern als Ort, an dem man Geschäftsmöglichkeiten und Partner findet. Und vor allem eine Menge neuer und kreativer Ideen. ■

Auflistung und Links zu den Start-ups: [tour.pioniergarage.de](http://tour.pioniergarage.de)  
Info und Kontakt: [www.pioniergarage.de](http://www.pioniergarage.de)



Mitten in Nairobi, Kenia: Zwei Kinder begleiten eine Kuhherde vor einem Bürogebäude

In the middle of Nairobi, Kenya: two children accompany a herd of cows in front of an office building

ANZEIGE



Zu Besuch bei Safeboda, dem „Uber für Motorräder“ in Kampala, Uganda

Visiting Safeboda, the „Uber for Motorcycles“ in Kampala, Uganda

ben. Allerdings hatte fast keines der Start-ups in Kampala ein Investment. Ausländische Investoren gibt es kaum und inländische investieren ihr Geld lieber in konventionellere Anlagen wie den Immobilienmarkt. Das Geld ist da, aber es landet nicht bei Start-ups.

Dieses Problem ist nicht nur in Uganda, sondern auch in Ruanda allgegenwärtig, einem kleinen Land voller Veränderungen, das uns nochmal eine ganz andere Seite von Ostafrika zeigte. Last stop Kigali. Vor 25 Jahren hat in Ruanda der Völ-



## Ausdruck innerer Stärke. Der neue GLE.

Der neue GLE verbindet Design, Empathie und Intelligenz auf beeindruckende Weise. Seine aktivierenden Komfortsysteme lassen Sie stets erholt ankommen und er merkt sich Ihre Gewohnheiten – so wird jede Fahrt zu einem persönlichen Erlebnis.

Mercedes-Benz  
Das Beste oder nichts.



Anbieter: S&G Automobil AG, Schoemperlenstraße 14, 76185 Karlsruhe.  
Sie fahren gut mit **S&G** - Weltweit ältester Mercedes-Benz Partner -

**S&G Automobil AG**, Autorisierter Mercedes-Benz Verkauf und Service  
Schoemperlenstraße 14, 76185 Karlsruhe, 0721-9565-0, [www.sug.de](http://www.sug.de)

EXPERTEN DER  
 MATERIALPRÜFUNGS- UND  
 FORSCHUNGSANSTALT  
 MPA KARLSRUHE DES KIT  
 MESSEN UND BEWERTEN  
 SCHWINGUNGEN

VON REGINA LINK

# Wenn Glocken

entschleunigen müssen

Da dürfte sich so mancher Anwohner in Stuttgart Mitte gewundert haben: Ab 14 Uhr läuteten im Herbst vergangenen Jahres die sieben Glocken der katholischen Kirche St. Maria aus voller Brust. An diesem Tag rief jedoch nicht der Herr die Gläubigen ins Gotteshaus, sondern ein dreiköpfiges Messteam der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt MPA Karlsruhe des KIT prüfte, ob die Glocken in den beiden Türmen

den richtigen Schwung haben. Die MPA Karlsruhe ist dank jahrzehntelanger Erfahrung eine der führenden Stellen für Schwingungsmessungen – vor allem an Kirchtürmen. Das Team um Bauingenieur Oliver Rösch war gerufen worden, weil sich am Mauerwerk der Kirche Risse gebildet hatten. Ein Ingenieurbüro, das Karlsruher Büro für Baukonstruktionen, erstellte ein Gutachten und empfahl eine Schwingungsprüfung an den Glockentürmen. lookKIT-Autorin Regina Link stieg mit den Schwingungsfachleuten in die Glockenstuben der beiden Türme.

Insgesamt zwei Tage dauert die Schwingungsmessung, aber schon am ersten Tag ist sich Rösch sicher: Die kleinen Glocken läuten zu schnell und damit zu dicht an der Eigenschwingungsfrequenz des Turmes. Schwingen Turm und Glocke im selben Takt, können auch kleine Glocken mit ihrem Geläut einen Turm buchstäblich zum Wackeln bringen. Durch diese Resonanz können Risse im Mauerwerk entstehen. In St. Maria entlarven die Messkurven innerhalb von drei Stunden den Übeltäter: Mindestens Glocke 7 muss entschleunigen, wahrscheinlich auch die 5 und 6. Bevor jedoch die Sensoren dieses Ergebnis ausspucken, bedarf es einer mehrstündigen Vorbereitung.

Für mich beginnt der Messtag um 8:45 Uhr im Büro von Oliver Rösch an der MPA in Karlsruhe. Der Auftrag ist Routine für den Schwingungsexperten. Er untersucht seit neun Jahren Glocken-

türme, rund 100 hat er schon bestiegen. Der Sprinter von Jens Veith und Kevin Altinger mit MPA-Aufschrift und KIT-Logo parkt schon vor dem Hauptportal der Kirche, als wir gegen 10 Uhr eintreffen. Die beiden jungen Feinmechanikermeister kümmern sich oben im Turm um die Messungen, während Oliver Rösch unten im Messwagen die Instrumente steuert. Glockenmessung scheint ein Generationending zu sein, auch Veiths Vater war 16 Jahre „am Turm“. Inzwischen überlässt er die Arbeit seinem Sohn. Es sei ihm mittlerweile zu anstrengend, so der Vater. Warum, wird sofort klar: Ehe es losgehen kann, müssen die beiden die Ausrüstung, also diverse Kabelrollen, einen Koffer mit rund zwei Kilogramm schweren Messsensoren und einen etwa 50 Kilo schweren Unwuchterreger in die Glockenstube schleppen. Und die erreicht man über eine gerade mal mannsbreite gemauerte Wendeltreppe. Genau 90 steile Stufen führen nach oben, Kondition ist gefragt. Vor uns liegt nun der Dachstuhl der Kirche, ein Balkengewirr, in dem glücklicherweise ein weiß-rotes Messband den Weg zu den beiden Glockentürmen weist. Von dort steigen wir auf Leitern in die Glockenstube. Schwindelfrei sind hier eindeutig im Vorteil. Diejenigen, die Arbeitskleidung anhaben, auch. Schmutz hin oder her, der Blick in die Glockenstube ist beeindruckend. Das Geläut mit der Tonfolge G, H, d', e', g', a', h' kommt aus der Stuttgarter Glockengießerei Heinrich Kurtz. Sechs Glocken, jeweils zwei neben- und übereinander, hängen im stählernen Glockenstuhl des Südturms, im Nordturm passt nur Glocke 1 mit dem großen G hinein. Und das gerade eben so. Die Wuchtbrumme aus Bronze wiegt imponierende 5 850 Kilogramm bei einem Durchmesser von über zwei Metern. Sie ist nicht nur die größte jemals bei Kurtz gegossene Glocke, sondern auch die größte Glocke Stuttgarts. Würde sie voll ausschlagen, könnte sie glatt zwei Löcher in den Turm hauen. Daher wurde sie gekröpft, wie die Fachleute sagen, das heißt die Aufhängung am sogenannten Joch, dem beweglichen Tragebalken, an dem die Glocke hängt, wurde so verändert, dass der Drehradius kleiner wurde. Damit bleibt der Turm intakt, aber die „G“ scheppert. Ein guter Glockenklang ist eine Wissenschaft für sich und von ziemlich vielen Faktoren abhängig. Kröpfen und Metall mag die Glocke nicht. „Schade, wenn man so eine tolle Glocke hat“, bedauert Oliver Rösch. „Im Holzglockenstuhl würde die sich noch besser anhören.“ Zumindest das scheint möglich:



Oliver Rösch, wissenschaftlicher Angestellter der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Karlsruhe

Oliver Rösch, scientific employee at the Karlsruhe Materials Testing and Research Institute



Der Glockenstuhl aus Stahl, in Nachkriegsjahren ein günstiger Holzersatz, soll wieder durch das Ursprungsmaterial ersetzt werden und das wiederum tut der Stimme der Glocke gut.

Während ich noch in der Glocke im Nordturm stehe – vier Personen würden locker hineinpassen – turnen und kriechen Veith und Altinger bereits im Südturm herum, um am Mauerwerk über den Glocken und an den Jochen Messfühler anzubringen. Erfasst werden zwei verschiedene Werte. Am Mauerwerk messen zwei Sensoren die Beschleunigung, die der Turm durch das Glockengeläut erfährt; einmal in Schwingungsrichtung der Glocke, einmal um 90 Grad gedreht. Über diesen Wert errechnet Rösch die Frequenz, mit der die Glocke schwingt. Auch wie oft der Klöppel an die Glocke schlägt, die Schlagzahl, lässt sich so errechnen. Zusätzlich erfassen Winkelgeschwindigkeitssensoren an der Glocke das Tempo, mit der diese schwingt. Hieraus ergibt sich auch der Lätewinkel, der anzeigt, wie weit die Glocke ausschwingt. Beides ist wichtig, um zu beurteilen, ob die Glocke dem Turm schwingungstechnisch zu sehr auf die Pelle rückt und dann gewissermaßen abgeregelt werden müsste.

Nachdem Jens Veith und Kevin Altinger alle Sensoren angebracht und verkabelt haben, lassen sie die Kabel durch die Maueröffnungen nach unten zum Messwagen, Oliver Rösch stöpselt unten die Stecker an der richtigen Stelle ein und bereitet alles vor. Dann meldet die Glockenstufenfraktion via Funkgerät, dass sie bereit ist. Unten startet der Mann am Messpult sein Programm, oben setzen alle in Glockennähe den Gehörschutz auf. Veith legt den Schalter für Glocke 2 um. Es ertönt ein tiefer Glockenklang. Etwa zwei Meter von der Glocke entfernt, mache ich die Erfahrung, dass meine Kopfhörer trotz Rauschunterdrückung nur bedingt als akustischer Schutzschirm geeignet sind. Ich presse die Kopfhörermuscheln fest an die Ohren, es lässt sich gerade so aushalten. Die Vibration des großen Glocken-H's, fährt durch Herz und Magen. Fünf Minuten darf die 2 läuten, dann legt Veith den Schalter wieder um, die Glocke schwingt aus. Ein diffuses Brummen wandert noch sekundenlang durch die Glockenstube.

## When Bells Have to Slow Down

### Experts from the Materials Testing and Research Institute MPA Karlsruhe Measure and Evaluate Vibrations

TRANSLATION: RALF FRIESE

Experts at the Karlsruhe Materials Testing and Research Institute (MPA) of KIT measure and evaluate vibrations.

Decades of experience have made MPA Karlsruhe one of the leading institutions for measuring vibrations – especially those of church steeples. The team of civil engineer Oliver Rösch was called because cracks had developed in the brick walls of a church. An engineering consultant, the Karlsruhe Office of Building Structures, wrote an expert opinion recommending that the belfries be subjected to vibration tests.

Vibration testing took all of two days, but Oliver Rösch was certain on the very first day: the small bells ring too fast, which brings them too close to the eigenmode of the tower. When belfry and bell vibrate in the same mode, even small bells can shake a steeple. This resonance can give rise to cracks in the walls. In St. Mary's, the measurements revealed the culprit within a matter of three hours: at a minimum, bell No. 7 must slow down, and Nos. 5 and 6 probably should too. ■

Kontakt: [oliver.roesch@kit.edu](mailto:oliver.roesch@kit.edu)



Aufstieg in den Glockenturm in Stuttgart

Ascent to the belfry in Stuttgart



Jens Veith, Werkstattmitarbeiter der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Karlsruhe

Jens Veith, workshop employee of the Karlsruhe Materials Testing and Research Institute

Eine nach der anderen dürfen die sieben Glocken nun zeigen, was sie akustisch draufhaben. Zum Schluss ertönt in voller Pracht das Vollgeläut aller sieben Glocken. Unten schlagen die Nadeln des Messgeräts aus und zeichnen Sinuskurven aufs Papier. Darin steckt alles, was Rösch wissen muss, um über Integralrechnungen aussagefähige Werte zu ermitteln. Und die besagen, dass die Kleinsten den größten Ärger machen.

Nachdem die Glocken ihre Arbeit getan haben, geht's an den Turm, auch dessen Eigenschwingungsfrequenz soll nun genau gemessen werden. Für Jens Veith und Kevin Altinger noch einmal ein Kraftakt, denn sie müssen nun mit dem 50 Kilogramm schweren Unwuchterreger auf die Leiter, zu zweit die Sprossen hoch und durch die enge Luke in die Glockenstube vom Nordturm. Zwei knallrote Schwunggewichte werden nun aufmontiert. Über einen Motor angetrieben bewegen sie sich gegenläufig um eine Drehachse und setzen, wann immer sie zusammentreffen, einen gerichteten Kraftimpuls in eine Richtung, in diesem Fall die Richtung, in der die Glocken ausschlagen würden. Im Grunde genommen ein Glockensimulator mit dem kontrolliert Schwingungsfrequenzen abgefahren werden. „Die Glocken zwingen den Turm, wenn sie schwingen, mit gleicher Frequenz zu antworten“, erklärt Rösch das Prinzip. Der Unwuchterreger tut dies auch, nur dass hier Rösch die Schwingfrequenz vorgibt. Rösch fährt die Geschwindigkeit hoch, die beiden Metallplatten drehen immer schneller

vor und zurück, allmählich fühle ich mich nicht mehr ganz sicher auf meinen Beinen. Es fühlt sich an, als stünde man auf einem Boot, das leicht und diffus schaukelt. Irgendwie ungut. „Ab einer Schwingungsgeschwindigkeit von 1,5 Millimeter pro Sekunde fühlt man sich unwohl“, bestätigt Rösch, der inzwischen mit seinen Messungen den Resonanzbereich des Turms ausgemacht hat und sich nun genauer an die exakte Frequenz heranschiebt, indem er den Regler langsam wieder herunterfährt. „Jetzt hat er sie!“, ruft Kevin Altinger zu mir herüber. Aber ob der Turm nun wirklich schaukelt und in welche Richtung? Ich bin nicht sicher. Oliver Rösch dagegen kann es aus seinen Kurven herausrechnen. Genau 1,5 Hertz ist die Resonanzfrequenz des Turmes, 2,5 Millimetern pro Sekunde hat ihn der Unwuchterreger nach beiden Richtungen ausschlagen lassen. Zuvor hatte die kleine Glocke 7 mit ihrem Läuten dafür gesorgt, dass der Turm mit einer Geschwindigkeit von 2,5 Millimetern pro Sekunde hin- und herschaukelte, alle sieben Glocken zusammen brachten es sogar auf 8,6 Millimeter pro Sekunde. Erlaubt sind laut DIN für diese Türme 5 Millimeter pro Sekunde, 10 Prozent Sicherheitsabstand müssen die Eigenfrequenzschwingungen von Turm und Glocken mindestens haben. Bei einer Frequenz von 1,55 Hertz pro Sekunde für Glocke 7 ist das nicht mehr gegeben. „Da muss auf jeden Fall etwas gemacht werden“, urteilt Rösch. „Für die Kirchengemeinde hat sich die Messung gelohnt. Das Problem mit der kleinen Glocke konnte man so nämlich nicht ahnen“, sagt er. Glocke 7, vielleicht auch noch 5 und 6 bekommen nun wahrscheinlich eine Bremse in Form eines Zusatzgewichts auf das Joch gepackt. Das jedenfalls wird seine Empfehlung sein.

Für heute ist Schluss mit Messen. Kurz nach 17:00 Uhr steigen Jens Veith und Kevin Altinger zum letzten Mal die 90 Stufen herunter. Gemeinsam machen wir uns auf den Rückweg. Für mich endet hier das Glockenturm-Abenteuer. Das MPA-Team rückt morgen noch einmal aus, um auch den Südturm mit Schwingungen zu traktieren. Und dann wird Oliver Rösch seinen Prüfbericht mit Entschleunigungsempfehlung schreiben. ■

Kontakt: [oliver.roesch@kit.edu](mailto:oliver.roesch@kit.edu)



Professor David Capitant, Präsident der Deutsch-Französischen Hochschule und Staatsministerin Dorothee Bär

Professor David Capitant, President of the Franco-German University and Dorothee Bär, Minister of State

## VIVA TECHNOLOGY: BESUCH VON STAATSMINISTERIN DOROTHEE BÄR

## VIVA TECHNOLOGY: VISIT BY MINISTER OF STATE DOROTHEE BÄR

VON SABINE FODI // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER // FOTO: PRIVAT

9 000 Start-ups, 1 900 Investoren, 450 Speaker: Die Messe „Viva Technology“ in Paris ist ein Riese im Kreise der Innovationsevents. Bereits zum vierten Mal trafen sich über 100 000 Besucherinnen und Besucher sowie Fachpublikum zum „The world’s rendezvous for startups & leaders“ Mitte Mai auf dem Messegelände Paris Expo Porte de Versailles. Die Staatsministerin für Digitalisierung, Dorothee Bär, und der Präsident der Deutsch-Französischen Hochschule, David Capitant, eröffneten den Gemeinschaftsstand „Deutschland & die Regionen“ und den Gemeinschaftsstand „Espace Franco-Allemand pour l’Industrie du Futur“, auf dem acht Hochschul- und Wirtschaftsakteure aus Deutschland und Frankreich – das KIT, die Arts et Métiers ParisTech, die TU München, das Institut Mines-Télécom, die Universität Passau, die französische Hochschule INSA Lyon, die Deutsch-Französische Industrie- und Handelskammer sowie die Deutsch-Französische Hochschule – ihr Know-how und länderübergreifende Kooperationsprojekte zum Thema Industrie 4.0 präsentierten.

Das KIT und die Arts et Métiers nutzten das Event, um das von ihnen gegründete „French-German Institute for Industry of the Future“ vorzustellen und ihre Forschungsarbeiten auf den Gebieten Virtual and Augmented Reality, Production Systems, Advanced Manufacturing Processes und Robotics zu zeigen. Darüber hinaus waren die vier Start-ups Ineratec, Memetis, Kinemic und Usertimes Solutions aus dem Umfeld des KIT präsent, die in den Feldern User Experience (UX), Mensch-Maschinen-Interaktion und Gestensteuerung, Mikrofluidik und Miniaturaktuatorik sowie innovative chemische Energieumwandlung arbeiten. ■

Info: [www.vivatechnology.com](http://www.vivatechnology.com) und [www.institute-industry-of-the-future.eu](http://www.institute-industry-of-the-future.eu)

9000 startups, 1900 investors, 450 speakers: the “Viva Technology” trade show in Paris is a giant among innovation events. For the third time, more than 100,000 interested visitors and experts met for “the world’s rendezvous for startups & leaders” in mid-May at the Paris Expo Porte de Versailles. State Minister for Digitization, Dorothee Bär and the President of the Franco-german University, David Capitant, opened the joint stand “Deutschland & die Regionen” and “Espace Franco-Allemand pour l’Industrie du Futur,” where eight universities and economic players from Germany and France – KIT, the Technical University Arts et Métiers, TU München, Institut Mines-Télécom, the University of Passau, the University INSA Lyon, the German-French Chamber of Industry and Commerce, and the German-French University – presented their know-how and collaboration projects on Industry 4.0.

KIT and Arts et Métiers seized the opportunity to introduce the recently established “French-German Institute for Industry of the Future” and their research in virtual and augmented reality, production systems, advanced manufacturing processes, and robotics. In addition, the four KIT startups Ineratec, Memetis, Kinemic, and Usertimes Solutions presented their work in user experience (UX), human-machine interaction and gesture control, microfluidics and miniaturized actuators, as well as innovative chemical energy conversion. ■

Info: [www.vivatechnology.com](http://www.vivatechnology.com) und [www.institute-industry-of-the-future.eu](http://www.institute-industry-of-the-future.eu)

## IMPRESSUM / IMPRINT

Herausgeber/Editor  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)  
Präsident Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka  
Postfach 3640 // 76021 Karlsruhe // Germany  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)



KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft  
KIT – The Research University in the Helmholtz Association

### AUFLAGE/CIRCULATION

15 000

### REDAKTIONSANSCHRIFT/EDITORIAL OFFICE

Strategische Entwicklung und Kommunikation/  
Strategic Corporate Development and Communication  
Leiterin: Alexandra-Gwyn Paetz  
SEK-Gesamtkommunikation, Leiterin: Monika Landgraf  
Postfach 3640 // 76021 Karlsruhe

### REDAKTION/EDITORIAL STAFF

Domenica Riecker-Schwörer (verantwortlich/responsible) <drs>  
Tel./Phone: 0721 608-21163 // E-Mail: [domenica.riecker-schwoerer@kit.edu](mailto:domenica.riecker-schwoerer@kit.edu)

### BILDREDAKTION/COMPOSITION OF PHOTOGRAPHS

Gabi Zachmann und Dienstleistungseinheit Allgemeine Services/Dokumente  
General Services Unit/Documents Group

Nachdruck und elektronische Weiterverwendung von Texten und Bildern nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Redaktion.

Reprint and further use of texts and pictures in an electronic form require the explicit permit of the Editorial Department.

### ÜBERSETZUNG/TRANSLATION

Dienstleistungseinheit Internationales/Sprachendienst  
International Affairs Service Unit/Translation Services  
Byron Spice

### KORREKTORAT/PROOFREADING

Timo Schreck (SEK-GK), Maike Schröder (INTL)

### ANZEIGENVERWALTUNG/ADVERTISEMENT MANAGEMENT

ALPHA Informationsgesellschaft mbH // E-Mail: [info@alphapublic.de](mailto:info@alphapublic.de)

### LAYOUT UND SATZ/LAYOUT AND COMPOSITION

modus: medien + kommunikation gmbh // Albert-Einstein-Str. 6  
76829 Landau // [www.modus-media.de](http://www.modus-media.de)  
Mediengestaltung: Julia Eichberger

Grafik-Design: Christine Heinrich // [www.christine-heinrich.design](http://www.christine-heinrich.design)

### DRUCK/PRINT

Krüger Druck + Verlag GmbH & Co. KG // Handwerkstraße 8–10 // 66663 Merzig

lookKIT erscheint viermal pro Jahr, jeweils zum Ende eines Quartals.  
lookKIT is published four times per year at the end of three months' intervals.

Gedruckt auf 100 Prozent Recyclingpapier mit dem Gütesiegel „Der Blaue Engel“

lookKIT

Gepflegtes  
Schrägsitzventil  
sucht neugierige  
Ingenieure,  
die einen  
untrüglischen  
Riecher für  
Innovationen  
haben.



Bürkert Fluid Control Systems  
Christian-Bürkert-Straße 13-17  
74653 Ingelfingen

Wir sind ständig auf der Suche nach neuen Ideen. Unser Anspruch ist es, Produkte zu entwickeln, die echte Meilensteine sind. Dabei zögern wir auch nicht, mit Gewohnheiten zu brechen und ganz neue Wege zu gehen. Deshalb suchen wir immer Leute, die im besten Sinne neugierig sind. Die ihr ganzes Wissen und ihre Leidenschaft ins Team einbringen. Gehören Sie dazu?

Wir bieten für Studierende Praktika, Werkstudententätigkeiten und Abschlussarbeiten.

**Mutige gesucht.**

[www.buerkert.de](http://www.buerkert.de)



# Energetische/r Netz werker/in

Wir suchen Menschen, die unsere Leidenschaft für die Energiewende teilen und andere mit ihrer Energie anstecken. [www.mvv.de/karriere](http://www.mvv.de/karriere)

Wir begeistern  
mit Energie.



GPA-Jakob ...automatisch schneller

Individuell auf unsere Kunden angepasst, gehören unsere Produkte für die Automation von Pressen wie Transfer-Systeme, Feeder-Systeme, Platinenlader und Stapelanlagen im internationalen Markt zur Spitze. Als dualer Student hast du während der Praxisphasen von Anfang an viel Verantwortung und bekommst in den Theoriephasen an der DHBW Karlsruhe die nötigen Grundlagen beigebracht.



Wir bieten für das Jahr 2019 / 2020 folgende duale Studiengänge an:

✓ **Maschinenbau**

✓ **Elektrotechnik – Automation**

✓ **Mechatronik**

Was du mitbringen solltest:

- Guter Schulabschluss (Abitur)
- Deine Stärke sollte in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Schulfächern liegen
- Interesse an technischen Tätigkeiten
- Lernbereitschaft, Motivation, Teamfähigkeit
- Flexibilität, um sich auf wechselnde Tätigkeiten einstellen zu können

**Ausbildungsbeginn:** 01.10.2019 / 01.10.2020  
**Ausbildungsdauer:** 3 Jahre

Jetzt per Mail bewerben und Karriere starten:  
[bewerbung@gpa-jakob.de](mailto:bewerbung@gpa-jakob.de)

Fragen? Wir beantworten sie gerne!  
Tel.: 0721/6202-0

GPA-Jakob Pressenautomation GmbH • Im Sonnenschein 8 • 76467 Bietigheim • [www.gpa-jakob.de](http://www.gpa-jakob.de)



## Software Inbetriebnehmer (m/w/d)

Für die Softwareinbetriebnahmen auf unseren hochmodernen vollautomatisierten Logistikanlagen suchen wir mehrere IT-Spezialisten, die die Vor-Ort-Betreuung unserer Kunden im Raum Berlin-Großbeeren (Brandenburg) unterstützen.

### #yourmission

Du bereitest die KNAPP Software für ihren Einsatz vor. Dann installierst du die Software beim Kunden und unterstützt ihn bei Schulungen und weiteren Tests. Dabei arbeitest du im Team mit verschiedenen Spezialisten zusammen.

### #youareknapp

Du verfügst über eine abgeschlossene IT-Ausbildung. Du hast Grundkenntnisse in der objektorientierten Programmierung (C++, C' oder JAVA). Du bist gerne unterwegs und sprichst sehr gut deutsch.

### #weareknapp

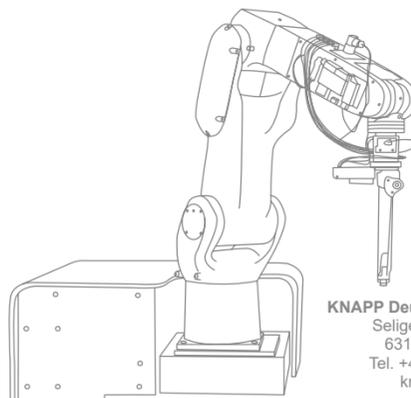
Wir bieten dir eine anspruchsvolle Tätigkeit in einem international führenden Technologieunternehmen mit sehr guten Entwicklungsperspektiven, einer attraktiven Vergütung mit Zulagen und arbeitgeberfinanziert betrieblicher Altersvorsorge. Du wirst umfassend eingearbeitet und individuell weitergebildet.

Wenn du dich für diese Stelle bei KNAPP Deutschland bewerben möchtest, dann sende deine Unterlagen an: [personal.de@knapp.com](mailto:personal.de@knapp.com)

**KNAPP**

[knapp.com](http://knapp.com)

*Wir, die internationale KNAPP-Gruppe, sind spezialisiert auf vollintegrierte, intelligente Lösungen für Logistik, Intra-logistik und Produktion. Unser Netzwerk umspannt den gesamten Globus - mit unseren rund 35 Standorten weltweit sind wir immer in der Nähe unserer Kunden. Unsere 4200 Mitarbeiter leben Logistik und sichern mit ihrer Erfahrung, ihrem Fachwissen und vor allem ihrer Leidenschaft den Erfolg unserer Kunden.*



KNAPP Deutschland GmbH  
Seligenstädter Grund 1  
63150 Heusenstamm  
Tel. +49 6104 406888 0  
[knapp.com/karriere](http://knapp.com/karriere)

## Du entwickelst es. Du planst es.

Bei andrena erwarten Dich im ersten Jahr nicht nur erste Projekte, sondern auch unser Trainingsprogramm zum ASE Developer. Das ergänzt die frische Praxiserfahrung um Fach- und Hintergrundwissen.

Im Jahr Zwei zertifizierst Du dich beispielsweise als Professional Scrum Master. Begleitet wirst du von Kolleginnen und Kollegen, die Wissenstransfer groß schreiben. Und in Deutschland zu den Vorreitern im agilen Software Engineering gehören.

Und wann gehörst Du zu uns?

**andrena**  
OBJECTS



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

# rehm – Software für die Wasserwirtschaft

Sie möchten Ihre Karriere starten oder ihr eine entscheidende Wendung geben? Dann sollten wir uns kennenlernen!

Wir sind ein Unternehmen in der Region Oberschwaben/Bodensee und entwickeln Software in den Bereichen Stadtentwässerung, Wasserversorgung und Gewässerausbau. Unsere Kunden sind Ingenieurbüros, Kommunen und Behörden, hauptsächlich im deutschsprachigen Raum.

Wir erweitern unser Team. Folgende Stellen möchten wir neu besetzen:

**Bauingenieur** (m/w/d)  
(1D/2D-Simulationen, Softwareentwicklung, Kundenbetreuung)

**Informatiker** (m/w/d)  
(.NET (C#)-Anwendungen, C++, MS Access, SQLite, UI-Design)

**Geoinformatiker** (m/w/d)  
(.NET (C#)-GIS-Anwendungen, ArcGIS, MS Access, SQLite)

Details über die einzelnen Stellenprofile finden Sie hier:

[www.rehm.de/karriere](http://www.rehm.de/karriere)

## Wir bieten Ihnen

- Einen modernen Arbeitsplatz mit flachen Hierarchien
- Ein hohes Maß an Selbstverantwortung
- Eine interessante, herausfordernde Tätigkeit in einem Team von Bauingenieuren und Informatikern
- Attraktives Gehalt und betriebliche Altersvorsorge
- Gute Vereinbarkeit von Beruf und Familie
- Hoher Freizeitwert der Region Bodensee-Oberschwaben

Für telefonische Informationen steht Ihnen gerne Herr Rehm oder Herr Herzog unter der Tel.-Nr. 0751/560200 zur Verfügung.



## Sägen. Lager. Mehr.

KASTO bietet mehr als hochproduktive Sägen und Lager für Langgut und Blech: mehr Engagement, mehr Verantwortung, mehr Ideen, mehr Innovation. Nur qualifizierte und engagierte Mitarbeiter ermöglichen dies. Deshalb bieten wir Schulabgängern Ausbildungsplätze im kaufmännischen, technischen und gewerblichen Bereich sowie Möglichkeiten für Praxisarbeiten, (Vor-) Praktika und Abschlussarbeiten.

Mehr über das „Mehr“ unter [www.kasto.com](http://www.kasto.com)

Sägen. Lager. Mehr. **KASTO®**

EUROPAS FÜHRENDES SIGNAL

Wir bieten:

### Praktika/Praxissemester und Stellen für den Berufseinstieg

WERMA Signaltechnik GmbH + Co. KG ist ein expandierendes Unternehmen mit mehr als 360 Mitarbeitern und 8 Standorten weltweit. Mit modularen Signalsäulen hat das Unternehmen einen Industriestandard etabliert. Heute liefert WERMA optische und akustische Signalgeräte sowie Systeme zur Prozessoptimierung für die Industrie und Logistik.

Wir sind ein inhabergeführtes, mittelständisches Unternehmen und sind stolz auf:

- unsere mitarbeiterorientierte Personalpolitik
- unser sehr gutes Betriebsklima
- zahlreiche Sozialleistungen

Unsere Mitarbeiter/innen machen den Erfolg aus. Um weiter führend in der Signaltechnik zu bleiben investieren wir in jeden Einzelnen – gerne auch in Sie!

Zur Klärung offener Fragen steht Ihnen Frau Dagmar Bühler unter 07424 9557- 210 gerne zur Verfügung oder bewerben Sie sich unter [www.werma.com/karriere](http://www.werma.com/karriere).

#### Studiengänge:

- Elektrotechnik
- Mechatronik
- Maschinenbau
- Informatik

#### Voraussetzungen:

- Neugier
- Motivation
- Innovationsfähigkeit
- Sprachkenntnisse in Deutsch und Englisch



## IABG. Die Zukunft.



YOU ARE WANTED!

**iABG**  
als Arbeitgeber

Die IABG bietet integrierte, innovative Lösungen in den Branchen **Automotive • InfoKom • Mobilität, Energie & Umwelt • Luftfahrt • Raumfahrt • Verteidigung & Sicherheit.**

**Sie freuen sich auf eine neue Herausforderung?** Wir bieten moderne Arbeitsplätze mit den sehr guten Leistungen eines Industrieunternehmens. Entdecken Sie unsere Stellenangebote und bewerben Sie sich online auf [www.iabg.de/karriere](http://www.iabg.de/karriere).

Bei Interesse hilft Ihnen unser Recruiting-Team gerne unter Telefon +49 89 6088-2070 weiter. [www.iabg.de](http://www.iabg.de)

Sie finden uns auf

## beraten - planen - überwachen - vermessen - erkunden

wir suchen SIE!

Diplomingenieur / Bachelor of Engineering / Bautechniker (m/w/d)



**WALTER+PARTNER GbR**  
BERATENDE INGENIEURE VBI

Verkehrsanlagen - Abwasseranlagen - Wasserversorgung - Stadt- und Entwicklungsplanung - Wasserbau - Umwelttechnik - Geotechnik - Vermessung - GIS

[www.walter-und-partner.de](http://www.walter-und-partner.de)



**Heilbronn**  
Neckgartacher Straße 90  
74080 Heilbronn  
Telefon: 07131 48840 - 0  
Telefax: 07131 48840 - 50  
E-Mail: [walter.partner@wup-hn.de](mailto:walter.partner@wup-hn.de)

**Adelsheim**  
Marktstraße 19  
74740 Adelsheim  
Telefon: 06291 9207 - 0  
Telefax: 06291 6206 - 50  
E-Mail: [walter.partner@wup-ad.de](mailto:walter.partner@wup-ad.de)

**Tauberbischofsheim**  
Johannes-Kepler-Straße 1  
97941 Tauberbischofsheim  
Telefon: 09341 9207 - 0  
Telefax: 09341 9207 - 50  
E-Mail: [walter.partner@wup-tb.de](mailto:walter.partner@wup-tb.de)

**Teuchern**  
Kleingärtnerstraße 10  
06682 Teuchern  
Telefon: 034443 50 - 0  
Telefax: 034443 50 - 150  
E-Mail: [walter.partner@wup-te.de](mailto:walter.partner@wup-te.de)

Wir lieben was wir tun und tun es mit Leidenschaft

# INNOVATIVE SYSTEMLÖSUNGEN

+made by LAPP.

Global Player oder Familienunternehmen? Warum entscheiden?

LAPP ist beides in Einem

Finde Deine passende Einstiegsmöglichkeit unter:  
[www.karriere.lappgroup.com](http://www.karriere.lappgroup.com)



Choose Scandinavian trust



Nemko ist zur Stelle, wenn es darum geht, Geräte und Installationen sicher zu machen. Seit über 80 Jahren prüfen und zertifizieren wir alles, für das es eine Norm gibt - vom Küchenmixer bis zur Zentrifuge, von der Kochplatte bis zur Heizungsanlage. Und nicht nur Deutschland und Europa machen wir ein Stückweit sicherer. Auch bei internationalen Zertifizierungen sind wir ein verlässlicher Ansprechpartner und sorgen für stressfreien Marktzugang zu über 150 Ländern.

Und neben sicheren Geräten sorgen wir auch für sichere Fahrtreppen, Fluchtwege, Blitzableiter, Feuerlöschanlagen... und was sonst an öffentlichen Gebäuden oder Einrichtungen noch geprüft und abgenommen werden muss.

Einen Einblick in unsere Dienstleistungen finden Sie auf [www.nemko.com/de](http://www.nemko.com/de).

Und weil es bei Prüfung und Zertifizierung viel Potential gibt, sind wir am Standort Pfingstal auf der Suche nach Verstärkung durch

### Prüfingenieure und Techniker (w/m/d)

Wenn Sie ein Studium der Fachrichtungen Maschinenbau oder Elektrotechnik erfolgreich abgeschlossen haben und einen verantwortungsvollen und abwechslungsreichen Job suchen, bewerben Sie sich bei Nemko. Bei uns finden Sie flache Hierarchien, offene Kommunikationskultur und echte Teamarbeit bei einer herausfordernden Aufgabe, die auf langfristige Zusammenarbeit baut.

Schauen Sie auf unserer Webseite unter <https://www.nemko.com/de/karriere> und finden Sie heraus, welche Stellenangebote für Sie passen. Wir freuen uns auf Ihre Bewerbungen!

Nemko GmbH & Co. KG

- Bewerbung -

Reetzstr. 58

76327 Pfingstal

e-mail: [bewerbungen@nemko.com](mailto:bewerbungen@nemko.com)



Bei uns einsteigen heißt aufsteigen! Starten Sie Ihre Karriere bei der SV.

Hochschulabsolventen (m/w/d) der Bereiche

Informatik  
Mathematik  
Ingenieurwesen  
Physik



sind bei der SV goldrichtig. Steigen Sie ein mit unserem SV Nachwuchsprogramm und nutzen Sie die zahlreichen Aufstiegs- und Entwicklungsmöglichkeiten. Bei uns können Sie Themen übergreifend bewegen, eigenverantwortlich in Projekten arbeiten und Sie werden professionell dabei begleitet.

Mit knapp 5.000 Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen ist die SV SparkassenVersicherung ein Konzern, der sich durch ein partnerschaftliches Miteinander und eine hohe Aufgabenvielfalt auszeichnet.

Die Leistungen können sich sehen lassen; flexible Arbeitszeiten bieten Spielraum.

Interessiert?  
Dann bewerben Sie sich online über [www.sv-karriere.de](http://www.sv-karriere.de)



Die Significant Bit Software AG ist ein junger, konsequent agiler Softwarehersteller für IT Asset Management Software, Warenwirtschaftssysteme und Web Rich Client Frameworks mit Sitz in Ettlingen.

## WIR SUCHEN SIE!

- Softwareentwickler (m/w/d)
- Werkstudent im Bereich Softwareentwicklung (m/w/d)

Bewerben Sie sich jetzt

Significant Bit Software AG  
Personalmanagement  
Pforzheimer Str. 134, D-76275 Ettlingen

[karriere@sibitag.com](mailto:karriere@sibitag.com)  
Tel. 07243 20000 225

[www.sibitag.com](http://www.sibitag.com)

Fächerstadt Karlsruhe – innovativ, jung und lebendig. Digitale Zukunftskommune und zweitgrößte Stadt Baden-Württembergs. Führend in Technologie, Wissenschaft und Mobilität – eine Stadt mit hoher Lebensqualität. Arbeitgeberin für über 6.000 Mitarbeitende in mehr als 200 Berufen.

Stadt Karlsruhe  
Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft

### INGENIEURINNEN/INGENIEURE

Als interner Dienstleister kümmert sich das Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft der Stadt Karlsruhe um die Bereitstellung und Unterhaltung von Flächen, Räumen und Gebäuden der Kommune. Zu den städtischen Objekten gehören insbesondere Schulen, Kindergärten, Sportstätten, Mehrzweckhallen und Verwaltungsgebäude. Zu den drei größten technischen Abteilungen im Amt zählen:

- **Abteilung Projektmanagement:** Wahrnehmung der Bauherrenfunktion bei extern vergebenen Planungsleistungen mit Schwerpunkt Neu-, Um- und Erweiterungsbau sowie größere Modernisierungsmaßnahmen
- **Abteilung Objektmanagement:** Betreuung der städtischen Objekte, Begleitung und Durchführung von Bauunterhaltungsmaßnahmen für Bau- und Technikgewerke (Instandsetzungen, Modernisierungen und kleinere Umbaumaßnahmen)
- **Abteilung Technische Gebäudeausrüstung:** Festlegung der anlagentechnischen Standards des Amtes sowie Beratung der strategischen Ebene der Abteilungen Projektmanagement und Objektmanagement

#### IHRE AUFGABEN

- Wahrnehmung der Bauherrenfunktion als Projektleitung bei extern vergebenen Planungsleistungen
- Projektsteuerung (Kosten-, Termin- und Qualitätssicherung)
- Entwicklung von Maßnahmen zur Werterhaltung und Modernisierung unter Beachtung von Wirtschaftlichkeit und Funktionalität
- Modernisierung von technischen Anlagen
- Mitarbeit an strategischen Projekten des Amtes

Ihre konkreten Aufgaben richten sich nach dem jeweiligen Einsatzbereich und können daher variieren.

#### IHR PROFIL

- Abgeschlossenes Studium in der Fachrichtung Architektur, Bauingenieurwesen, Versorgungstechnik oder einer vergleichbaren Fachrichtung
- Ausgeprägte Kommunikationsfähigkeit, Teamfähigkeit, sicheres Auftreten
- Selbstständige und gewissenhafte Arbeitsweise, Organisationsfähigkeit
- Motivation und Engagement

#### WIR BIETEN

- spannende und herausfordernde Tätigkeiten
- eine wertschätzende Willkommenskultur sowie eine qualifizierte Einarbeitung mit Patensystem
- attraktive Karriereoptionen und Förderung der persönlichen Weiterentwicklung
- eine individuelle Balance zwischen Beruf und Privatleben
- ein modernes Arbeitszeitmanagement und flexible Arbeitszeiten, Möglichkeit zu Homeoffice
- einen umfassenden Blick auf die Gesundheit und Bewegung

#### SIND SIE INTERESSIERT?

Unter [www.karlsruhe.de/karriere](http://www.karlsruhe.de/karriere) erhalten Sie weitere Informationen zur Stadt Karlsruhe als Arbeitgeberin.

Lernen Sie uns kennen und was uns ausmacht.

Weitere Auskünfte erteilt Ihnen gerne Jürgen Kehrer, Bereichsleiter Personal und Organisation, Telefon 0721 133-2650



Steffen Pippig  
Ingenieurbau

„Join the Team. Wirken Sie

Kompetenz ist unsere Referenz. Steigen Sie ein. Wir bieten

dabei mit, Unmögliches

Praktika, Ausbildung, Studium, Karrierechancen weltweit.

machbar zu machen.“

[www.meva.de](http://www.meva.de)

...mehr als nur Schalung



**HUBER**  
AUTOMOTIVE

DU BIST AUF DER SUCHE  
NACH SPANNENDEN  
PROJEKTEN UND HERAUS-  
FORDERUNGEN IN EINEM  
TOLLEN TEAM?

DANN BIST DU BEI UNS  
GENAU RICHTIG!

HUBER AUTOMOTIVE AG  
INDUSTRIE- UND BUSINESSPARK 213,02  
D-73347 MÜHLHAUSEN  
CAREER@HUBER-AUTOMOTIVE.COM  
WWW.HUBER-AUTOMOTIVE.COM



**AV** AUTONOMOUS  
VEHICLES

FESTANSTELLUNG,  
PRAXISSEMESTER,  
ABSCHLUSSARBEIT  
RUND UM DIE THEMEN:

- HYBRID-/E-DRIVE
- BATTERY  
MANAGEMENT
- CONNECTED  
DRIVING
- AUTONOMOUS  
DRIVING (ADAS)

IN DIESEN THEMEN-  
FELDERN ERWARTEN  
DICH SPANNENDE  
AUFGABENGEBIETE:

- SYSTEM DEVELOPMENT
- FUNCTIONAL SAFETY
- MOBILE APPLICATION
- AI-SYSTEM DEVELOPMENT
- AUTOSAR EMBEDDED  
SOFTWARE
- HARDWARE DEVELOPMENT
- SOFTWARE APPLICATION
- TESTING

Haben Sie Spaß an interessanten Aufgaben  
und herausfordernden Zukunftsprojekten?

**miRO**



## Mineraloelraffinerie Oberrhein

Deutschlands größte Raffinerie

Die Mineraloelraffinerie Oberrhein in Karlsruhe ist eine der leistungsfähigsten Raffinerien in Europa und der größte Benzinhersteller in Deutschland. Jeder dritte bis vierte Liter Benzin stammt von uns. Für unsere Gesellschafter Shell, Esso, Rosneft und Phillips 66 veredeln unsere 1.000 Mitarbeiter den Rohstoff Rohöl zu hochwertigen Mineralölprodukten wie Benzin, Diesel und Heizöl: ca. 15 Millionen Tonnen im Jahr.



**Hitex sucht Verstärkung:**  
Funktionale Sicherheit, Embedded-Systems und mehr ...

Wir sind seit über 40 Jahren Embedded-Partner der Industrie, besonders für Safety, Security und Connectivity.

Am Standort Karlsruhe suchen wir die Experten der Zukunft für die Entwicklung und Integration von Hard- und Software, vor allem für sicherheitskritische Anwendungen in Embedded-Systemen:

- > Software-Testmanager (w/m/d)
- > Trainee Functional Safety (w/m/d)
- > Support/Helpdesk Mitarbeiter Embedded Systems (w/m/d)

**hitex**

EMBEDDED TOOLS & SOLUTIONS

Auch studienbegleitend oder zum Studienabschluss bieten wir regelmäßig spannende und interessante Aufgaben.

Bewerben Sie sich noch heute!

Christiane Spiegel-Hock  
E-Mail: [personal@hitex.de](mailto:personal@hitex.de)  
[www.hitex.com/jobs](http://www.hitex.com/jobs)



### Einstiegsmöglichkeiten bei MiRO

Hochschulpraktika

Masterarbeit

Direkteinstieg als Ingenieur (m/w)  
für Verfahrenstechnik oder  
Chemische Technik

**Interesse geweckt?**  
Weitere Infos  
und Bewerbung  
direkt unter  
[www.miro-ka.de](http://www.miro-ka.de)

Mineraloelraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG / 76187 Karlsruhe / [www.miro-ka.de](http://www.miro-ka.de)  
Kontakt: Absolventen – Heidemarie Schultze / Tel. 0721 958-3341 / [bewerbung@miro-ka.de](mailto:bewerbung@miro-ka.de)  
Studierende – Claudia Zöller / Tel. 0721 958-3226 / [zoeller.c@miro-ka.de](mailto:zoeller.c@miro-ka.de)