

# Gestalten Sie die Zukunft.

Ihre Möglichkeiten bei ZEISS



// INNOVATION  
MADE BY ZEISS

Durch Globalisierung und Digitalisierung verändern sich Kundenerwartungen und Märkte sehr schnell. Wir ermöglichen die digitale Transformation, indem wir auf über 170 Jahre Innovation und die Entwicklung von digitalen Spitzenlösungen aufbauen.

Wir bieten unseren Kunden in den unterschiedlichsten Branchen eine breite Palette an Produkten, die Hard- und Software und Services miteinander verknüpfen. Wir arbeiten an marktprägenden Innovationen und Technologien von Morgen, die auf den Erfolg unserer Kunden ausgerichtet sind, und schaffen damit Mehrwert für Millionen Menschen auf der ganzen Welt.



Wir bieten Ihnen eine Vielzahl von abwechslungsreichen Stellenangeboten. Gestalten Sie gemeinsam mit uns die Zukunft.

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



# LOOKKIT

DAS MAGAZIN FÜR FORSCHUNG, LEHRE, INNOVATION  
THE MAGAZINE FOR RESEARCH, TEACHING, INNOVATION  
AUSGABE/ISSUE #01/2019  
ISSN 1869-2311



# ENERGIE

EXZELLENZCLUSTER POLIS: JENSEITS VON LITHIUM

CLUSTER OF EXCELLENCE POLIS: BEYOND LITHIUM

VERBUNDPROJEKT REFUELS: JENSEITS VON FOSSILEN BRENNSTOFFEN

JOINT PROJECT REFUELS: BEYOND FOSSIL FUELS

LEIBNIZ-PREIS FÜR WOLFGANG WERNSDORFER: JENSEITS DES MAKROKOSMOS

LEIBNIZ PRIZE FOR WOLFGANG WERNSDORFER: BEYOND THE MACROCOSM



*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,

Deutschlands Energieversorgung grundlegend umzustellen, ist ein Generationenprojekt. Die Transformation muss bei laufendem Betrieb erfolgen und darf, auch mit Blick auf globale Klimaziele, die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes nicht gefährden. Am KIT – Der Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft unterstützen wir mit Forschung, Lehre und Innovation die Energiewende und verfügen mit 1 500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie technischem Personal im KIT-Zentrum Energie über eines der größten Energieforschungszentren in Europa. Klare Prioritäten setzen wir in den Themen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien, Energiespeicher und -netze sowie Elektromobilität.

In der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder hat das KIT 2018 zwei Cluster eingeworben – eines davon ist das Exzellenzcluster POLiS (Post Lithium Storage Cluster of Excellence) zu Batterieforschung in Kooperation mit der Universität Ulm. Ziel des Clusters ist es, die wissenschaftlichen Zusammenhänge von Energiespeichermedien jenseits der etablierten Lithiumtechnologie zu ermitteln und sogar erste Batterien anzufertigen. Auf Seite 10 finden Sie ein Interview mit Professor Maximilian Fichtner, Sprecher von POLiS, über neue Konzepte sowie die ökologischen und ökonomischen Aspekte der Energiespeicherung.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des KIT setzen sich im Kopernikus-Projekt ENSURE (Neue EnergieNetzStruktURen für die Energiewende) unter anderem auch dafür ein, dass der notwendige Umbau des Energiesystems nicht an fehlendem Rückhalt in der Bevölkerung scheitert. Um den Diskurs zu intensivieren, wurde gemeinsam mit Partnern ein Dialogprozess mit der Zivilgesellschaft eingeleitet. In vielen Gesprächen und durch den Austausch mit Expertinnen und Experten von ENSURE sind gemeinsame Storylines entstanden, die mögliche Entwicklungen des Energiesystems bis zum Jahr 2030 beschreiben. Mehr über den Entstehungsprozess und Storyline-Skizzen finden Sie auf Seite 24.

Besonders freue ich mich darüber, dass wir den Leiter des ZKM I Zentrum für Kunst und Medien, Peter Weibel, dafür gewinnen konnten, die Lebensleistung von Caroline Y. Robertson-von Trotha für die öffentliche Wissenschaft in einem Beitrag zu würdigen. Die Kulturwissenschaftlerin ist Gründungsdirektorin des Zentrums für Angewandte Kulturwissenschaft und Studium Generale am KIT und geht in diesem Jahr in den Ruhestand.

Ihr

PROF. DR.-ING. HOLGER HANSELKA

PRÄSIDENT DES KIT // PRESIDENT OF KIT

DEAR READER,

Fundamental transformation of Germany's energy supply system is a project that will take generations. This transition will have to take place during ongoing operations and, though it has to address global climate goals, it must not jeopardize the international competitiveness of our country. At KIT – The Research University in the Helmholtz Association – we support the energy transition with our research, teaching, and innovation efforts. The KIT Energy Center, with its 1500 scientists and technical staff members, is one of the biggest energy research centers in Europe. Our clear priorities lie in the areas of energy efficiency and renewable energies, energy storage systems and grids, electric mobility, and reinforcement of international research collaboration.

Within the Excellence Strategy launched by the federal and state governments, KIT successfully acquired two Clusters of Excellence in 2018; one is the POLiS (Post Lithium Energy Storage) Cluster of Excellence covering battery research in cooperation with the University of Ulm. This Cluster of Excellence is aimed at determining scientific relationships of energy storage media beyond the established lithium technology and at producing new types of batteries. Read on page 14 the interview with Professor Maximilian Fichtner, Spokesman of POLiS, about the overall orientation of the Cluster of Excellence, its new concepts, and the ecological and economic aspects of energy storage.

Scientists of KIT's Institute for Technology Assessment and Systems Analysis, who are involved in the ENSURE (New Energy Network Structures) Kopernikus project, also work so that lack of popular support does not prevent the necessary transformation of the energy system. To intensify discourse, we have initiated a dialog process with civil society, together with partners. Many discussions and exchanges of opinions with experts of ENSURE have generated scenarios describing potential developments of our energy system through 2030. Read more about the discourse and the scenarios on page 27.

I am particularly pleased that the director of the ZKM I Center for Art and Media, Peter Weibel, has contributed an article honoring Caroline Y. Robertson-von Trotha for her life's work in public science. The cultural scientist is founding director of the Centre for Cultural and General Studies at KIT and is retiring this year.

Yours,



## BLICKPUNKT / FOCUS

- 10 Jenseits von Lithium: Interview mit Professor Maximilian Fichtner, Sprecher des Exzellenzclusters POLiS
- 14 Beyond Lithium: Interview with Professor Maximilian Fichtner, Spokesman of the Cluster of Excellence POLiS
- 16 reFuels: Forschungsoffensive zu regenerativen Kraftstoffen gestartet
- 18 reFuels: Research Offensive on Regenerative Fuels Launched
- 20 Photovoltaik: Perowskite versprechen hocheffiziente Solarmodule
- 22 Photovoltaics: Perovskites Promise High-efficiency Solar Modules
- 24 Kopernikus-Projekt ENSURE: Storylines zur Umsetzung der Energiewende
- 28 ENSURE Kopernikus Project: Scenarios for Implementing the Energy Transition
- 30 Brennstoffzelle in der Energiewende: Interview mit Professorin Ellen Ivers-Tiffée und Dr. André Weber
- 32 Fuel Cell in the Energy Transition: Interview with Professor Ellen Ivers-Tiffée and Dr. André Weber
- 34 No Blackout: Reliable Power Supply despite Renewable Energies and Decentralization
- 35 Kein Blackout: Krisenfeste Stromversorgung trotz Erneuerbarer Energien und Dezentralisierung
- 37 Auf eine Frage: Können Straßenbahnen Energie speichern?
- 37 Just One Question: Can Trams Store Energy?
- 38 Alleskönner Flüssigmetall: Metallschmelzen ermöglichen klimafreundliche Energietechnologien
- 40 The All-rounder Liquid Metal: Metal Melts Enable Climate-friendly Energy Technologies
- 42 Aquiferspeicher: Energiesparende Alternative zur Klimaanlage
- 43 Aquifer storage systems: Energy-saving Alternative to Air Conditioning
- 45 Ausgründung Batterieproduktion: Neue Düse erlaubt die schnelle Beschichtung von Elektroden
- 45 Spinoff in Battery Production: New Nozzle for Fast Coating of Electrodes
- 46 ValMoNul: Gemeinschaftsprojekt untersucht Nutzerverhalten in Bürogebäuden, um deren Zufriedenheit zu steigern
- 48 ValMoNul: Joint Project Investigates User Behavior in Office Buildings to Increase Their Satisfaction

- 50 Wabenreaktoren: Verfahren zur Methanisierung von Wasserstoff in Power-to-Gas Anlagen
- 52 Honeycomb Reactors: Process for Methanation of Hydrogen in Power-to-Gas Plants
- 54 Nachrichten
- 54 News

## ORTE / PLACES

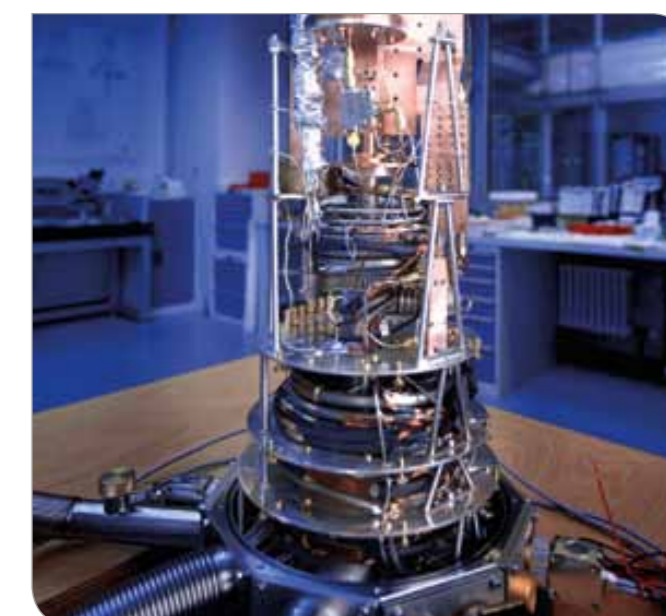
- 56 Neues XR-Labor am IPEK: Frühe Validierung interaktiver Produkte
- 57 New XR Laboratory at IPEK: Early Validation of Interactive Products

## GESICHTER / FACES

- 58 Quantenphysik: Professor Wolfgang Wernsdorfer erhält den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis 2019
- 59 Quantum Physics: Professor Wolfgang Wernsdorfer Receives the Gottfried Wilhelm Leibniz Prize 2019
- 62 ZAK: Peter Weibel, Leiter des ZKM | Zentrum für Kunst und Medien, zum Ruhestand von Caroline Y. Robertson-von Trotha
- 63 ZAK: Peter Weibel, Director of the ZKM | Center for Art and Media, on the Retirement of Caroline Y. Robertson-von Trotha

## WEGE / WAYS

- 64 Architecture: Interview with Slovenian Visiting Professor Aljoša Dekleva
- 66 Architektur: Interview mit dem slowenischen Gastprofessor Aljoša Dekleva
- 67 AUGENBLICKKIT: Treffen im ewigen Eis
- 67 AUGENBLICKKIT: Meeting in the Permanent Ice
- 68 Und sonst: UNESCO-Auszeichnung für das KIT als Lernort für Nachhaltige Entwicklung
- 68 What Else: UNESCO Award for KIT as a Place of Learning about Sustainable Development



## LITHIUM

Lithium und Kobalt gelten als Schlüsselemente der Elektromobilität. Tausende Kilometer von Deutschland entfernt, befindet sich das sogenannte Lithiumdreieck: In Bolivien, Chile und Argentinien werden über 55 Prozent aller Vorräte vermutet, doch der Abbau birgt Umweltrisiken. Das Lithium befindet sich in unterirdischen Wasserläufen. Ist das Material freigelegt, wird es weiterverarbeitet: Einige Millionen Kubikmeter salz- und lithiumhaltige Lösung werden in riesige Becken geleitet (siehe Foto Atacama, Nordchile) und mit Frischwasser angereichert. Durch die intensive Sonneneinstrahlung verdunstet das Wasser. Die so gewonnene Flüssigkeit hat einen Lithiumanteil von fünf Prozent. Die Förderung der Lake aus dem Grundwasser führt dazu, dass der Grundwasserspiegel sinkt, Flussläufe und Feuchtgebiete austrocknen. Weideland geht verloren und das Ökosystem verändert sich drastisch. Darüber hinaus leidet die ansässige, zum Großteil indigene Bevölkerung unter Wassermangel.

## LITHIUM

Lithium and cobalt are considered key elements of electric mobility. Thousands of kilometers away from Germany lies what has been called the lithium triangle. Bolivia, Chile, and Argentina are assumed to hold more than 55 percent of the world's lithium resources. Lithium extraction, however, is associated with environmental risks. Lithium is found in underground water deposits. When the lithium-containing brine is recovered, it is transferred for further processing. Several million cubic meters of salt- and lithium-containing solution are led into gigantic pools (see photo of Atacama, Northern Chile) and enriched with fresh water. Intensive solar irradiation causes the water to evaporate. The resulting liquid has a lithium fraction of five percent. Pumping the brine from the ground lowers groundwater levels, causing rivers and wetlands to dry out. Pastures are lost and the ecosystem is changed drastically. In addition, the local, largely indigenous population suffers from water shortage.

## NACH LITHIUM

„Der Name POLiS steht für unser Vorhaben, die Grundlagen für eine Speicherwelt jenseits der Lithium-Ionen-Batterie zu schaffen. Mit dem neuen Exzellenzcluster werden wir also die wissenschaftlichen Zusammenhänge von Energiespeichermedien jenseits der etablierten Lithium-technologie ermitteln und erste Batterien fertigen“, sagt Professor Maximilian Fichtner, Sprecher des Anfang des Jahres gestarteten Exzellenzclusters POLiS (Post Lithium Storage Cluster of Excellence) des KIT und der Universität Ulm (siehe Seite 10). Auf dem Foto setzt Fichtners Mitarbeiter Dr. Jakob Asenbauer und seine Kollegin Chenxi Geng Magnesiumbatterien an Handschuhboxen unter Argon-Schutzgas zusammen.

## POST LITHIUM

“The name POLiS stands for our project to create the basis for a world of storage systems beyond the lithium-ion battery. Within our new Cluster of Excellence, we will identify scientific relationships of energy storage media beyond the established lithium technology and produce new batteries,” says Professor Maximilian Fichtner, Spokesman of the POLiS (Post Lithium Storage) Cluster of Excellence of KIT and Ulm University (see also page 10). The photo shows Fichtner’s colleagues Dr. Jakob Asenbauer and Chenxi Geng, who assemble magnesium batteries in a glove box in an argon inert gas atmosphere.



# Jenseits von Lithium

EXZELLENZCLUSTER  
POLIS WILL GRUNDLAGEN  
FÜR NACHHALTIGE UND  
EFFEKTIVE BATTERIE-  
SPEICHER SCHAFFEN



FOTO: MARKUS BREIG

*Professor Maximilian Fichtner ist Sprecher des neuen Exzellenzclusters POLIS und Mitglied im Direktorium des Helmholtz-Instituts Ulm. Seit 2013 ist er Professor für Festkörperchemie an der Universität Ulm*

*Professor Maximilian Fichtner is spokesman of the new cluster of excellence POLIS and Member of the Board of Directors of Helmholtz Institute Ulm. Since 2013, he has been Professor for Solid-state Chemistry at Ulm University*

Das KIT hat in der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder 2018 zwei Exzellenzcluster eingeworben – eines davon ist das Exzellenzcluster POLIS zu Batterieforschung in Kooperation mit der Universität Ulm. Für Professor Maximilian Fichtner, den Sprecher von POLIS (Post Lithium Storage Cluster of Excellence), bedeutet dies einen ersten sichtbaren Erfolg der neuen gemeinsamen Batterieforschungsplattform CELEST. Fichtner ist Direktoriumsmitglied des Helmholtz-Instituts Ulm (HIU), eines vom KIT gegründeten Instituts in Kooperation mit der Universität Ulm und den assoziierten Partnern DLR und ZSW. Mit lookKIT-Autor Dr. Martin Heidelberger spricht er über die Ausrichtung des Exzellenzclusters, neue Speicherkonzepte und das Ende der Ölförderung.

lookKIT: Herr Professor Fichtner, der Zuschlag für ein Exzellenzcluster Batterieforschung bestätigt die gute Zusammenarbeit zwischen KIT, Universität Ulm und den anderen Partnern – was ist Ihr Erfolgsrezept? Professor Maximilian Fichtner: „Die Aktivitäten der Universität Ulm und des KIT passen sehr gut zusammen. Ulm bringt die elektrochemische

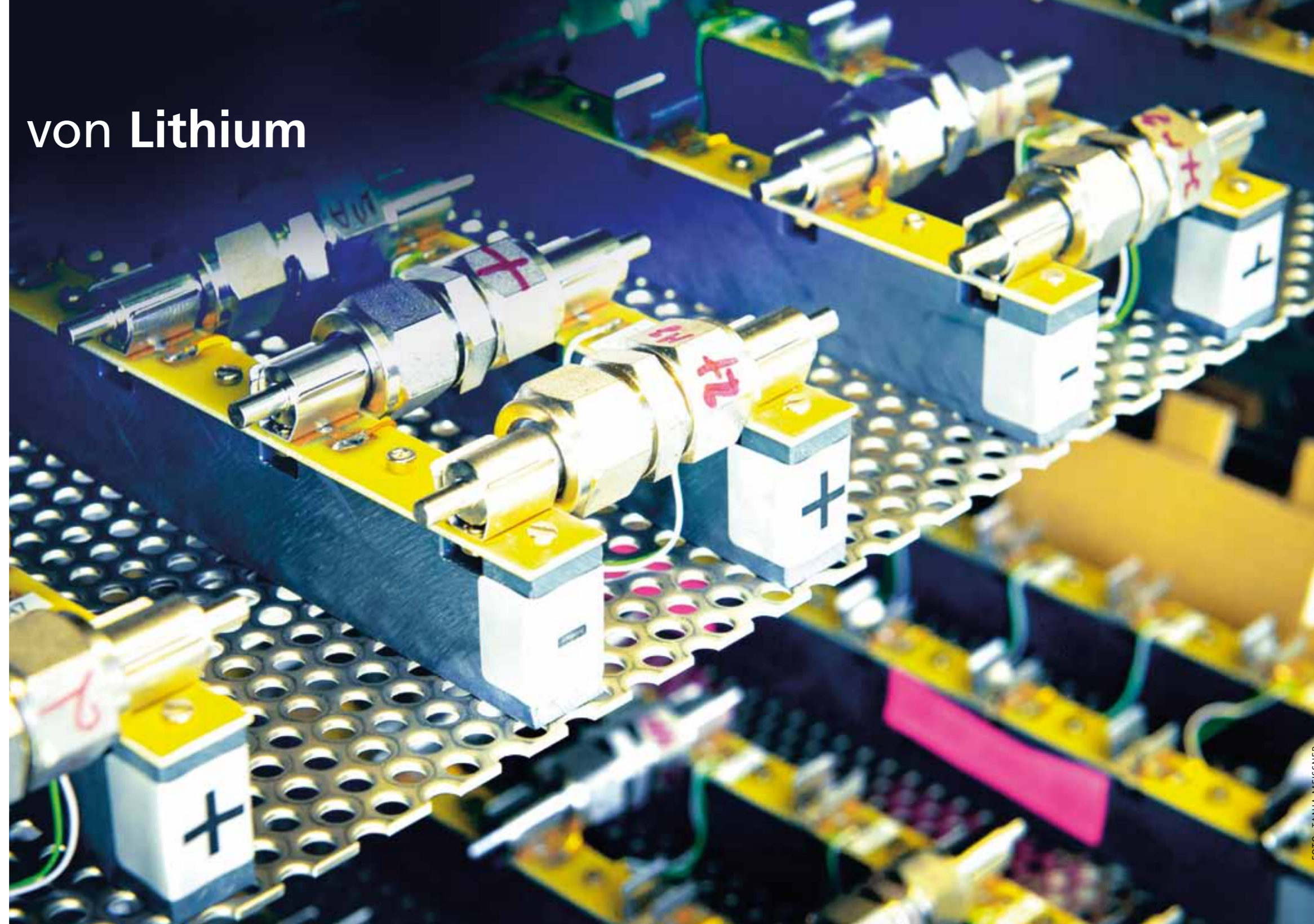


FOTO: TANJA MEISSNER

*Oben: Im Batterietester durchlaufen Zellen tausende Lade- und Entladezyklen bei bestimmten Temperaturen*

*Top: In the battery tester, cells are subjected to thousands of charge and discharge cycles at certain temperatures*

*Ganz rechts: Das Röntgendiffraktometer dient zur Identifizierung von kristallinen Substanzen und zur Quantifizierung von Gemischen*

*Far right: The X-ray diffractometer is used to identify crystalline substances and to quantify mixtures*



FOTO: MARKUS BREIG



FOTO: TANJA MEISSNER

Grundlagenforschung, die Oberflächenwissenschaften und Modellierung ein. Das KIT wiederum ist stark in der Materialforschung und bei den Ingenieursaktivitäten. Ein erstes Zeichen, dass man das erkannt hat, war die Gründung des Helmholtz-Instituts Ulm im Jahr 2011. Mit der Gründung von CELEST im Jahr 2018 haben wir dann unsere gesamten Aktivitäten in der Batterieforschung und Lehre sowie die Entwicklungsarbeiten auf einer gemeinsamen Plattform zusammengeführt, an der sich noch das ZSW in Ulm als weiterer Partner beteiligt. Damit haben wir weltweit einzigartige Voraussetzungen für die Batterieforschung geschaffen und das hat auch in der Exzellenzinitiative überzeugt.“

lookKIT: Das Exzellenzcluster trägt nun den programmatischen Titel „POLIS – Post Lithium Storage Cluster of Excellence“ – was verbirgt sich dahinter?

Maximilian Fichtner: „Der Name steht für unser Vorhaben, die Grundlagen für eine Speicherwelt jenseits der Lithium-Ionen-Batterie zu schaffen. Zwar sind Lithium-Ionen-Batterien anderen Batterietypen technologisch bislang überlegen, aber Alternativen sind durchaus denkbar. Mit dem neuen Exzellenzcluster werden wir also die wissenschaftlichen Zusammenhänge von Energiespeichermedien jenseits der etablierten Lithiumtechnologie ermitteln und erste Batterien fertigen.“

lookKIT: Lithium-Ionen-Batterien funktionieren gut, sind weltweit etabliert und werden zudem kontinuierlich verbessert. Warum wollen Sie denn Speichertechnologien ohne Lithium entwickeln?

Maximilian Fichtner: „Dafür gibt es viele gute Gründe. Ein besonders guter Grund sind bessere Batterien. Wir wollen kleinere Batterien mit grö-



FOTO: MARKUS BREIG

Bereits Speicherkapazitäten entwickeln – was mit alternativen Materialien theoretisch möglich ist. Außerdem werden wir Elemente verwenden, die sehr viel häufiger verfügbar und besser recycelbar sind als Lithium. Die Ressourcenlage in der Batterieindustrie ist ja sehr angespannt. Für Lithium-Ionen-Akkus wird Kobalt benötigt, das voraussichtlich in den 2020er Jahren knapp werden wird und heute teilweise unter zweifelhaften sozialen Standards abgebaut wird. Es kann also gut sein, dass in Ihrem Smartphone das Ergebnis von Ausbeutung und Kinderarbeit steckt. Zudem ist auch Lithium nicht unendlich verfügbar. Wenn es uns aber rechtzeitig gelingt, die Lithiumtechnologie zumindest teilweise durch Alternativen zu ersetzen, könnte man diese Situation entschärfen.“

*Bei der Röntgenphotoelektronenspektroskopie wird die chemische Zusammensetzung von Materialoberflächen bestimmt*

*By means of X-ray photoelectron spectroscopy, chemical composition of material surfaces is determined*

**lookKIT: Einige spektakuläre Unfälle mit Elektroautos haben gezeigt, dass Lithium-Ionen-Batterien unter Umständen auch ein Sicherheitsrisiko darstellen können. Werden**

**die Batterien der nächsten Generation denn sicherer sein?**

**Maximilian Fichtner:** „Davon gehen wir aus. Sie sprechen im Zusammenhang mit der Lithium-Ionen-Technologie von einem möglichen Sicherheitsrisiko, aber Tatsache ist, dass man bei dieser Technologie ja bereits jetzt einige Kompromisse eingeht, um die Sicherheit zu gewährleisten. Wir verdünnen das Lithium beispielsweise sehr stark um den Faktor 10, wenn wir in der Anode der Batterie Graphit als Wirtsmaterial für die Lithium-Ionen verwenden. Wenn wir reines Lithium verwenden, bilden sich mit der Zeit sogenannte Dendriten. Das sind kleine Nadeln, die beim Laden und Entladen auf dem Lithium wachsen und Kurzschlüsse in der Batterie auslösen können. Doch wenn man das Lithium verdünnt, senkt man gleichzeitig die Leistungsfähigkeit der Batterie. Wir wollen nun in POLiS beispielsweise Magnesiumbatterien entwickeln, bei denen dieses Problem nicht auftritt.“

**lookKIT: Über die Magnesiumbatterie wird in der letzten Zeit vermehrt berichtet – gibt es, neben der fehlenden Dendritbildung, weitere Vorteile dieses Batteriekonzepts?**

**Maximilian Fichtner:** „Magnesium hat eine höhere Speicherkapazität als Lithium und ermöglicht theoretisch leichtere und kleinere Batterien. Außerdem ist Magnesium ungiftig, breit verfügbar und lässt sich gut recyceln. Magnesiumbatterien wären also günstiger in der Herstellung und nachhaltig verfügbar. Allerdings stehen wir in der Entwicklung noch am Anfang – im Wesentlichen gilt es, zwei Schwierigkeiten zu lösen: Zum einen altern unsere Labormuster noch zu schnell. Wir müssen besser verstehen, warum das so ist. Das andere ist der Wirkungsgrad. Augenblicklich stecken wir zu viel Energie hinein und bekommen zu wenig heraus. Aktuell bewegt sich das etwa auf dem Niveau der konventionellen Bleibatterie. Aber es gibt Hoffnung: Wir haben am HIU einen vielversprechenden Elektrolyten entwickelt, der bessere Werte ermöglicht. Das ist nicht trivial. Ein Elektrolyt muss das Magnesium leicht aufnehmen und wieder abgeben können, er muss mit den Materialien in den Polen harmonieren und er darf sich nicht zersetzen.“

**lookKIT: Welche weiteren Batteriekonzepte wollen Sie mit dem Exzellenzcluster erforschen und warum?**

**Maximilian Fichtner:** „Da wäre zum einen die Natrium-Ionen-Batterie, die vor allem als Drop-

*lookKIT zu Besuch im Institut für Nanotechnologie (INT) des KIT*

*lookKIT visiting the Institute of Nanotechnology (INT) of KIT*



FOTO: MARKUS BREIG

in-Technologie im Gespräch ist. Drop-in bedeutet in diesem Zusammenhang, dass man an den jetzigen Fertigungsverfahren der Lithiumbatterien ansetzen kann, da sich die verwendeten Materialien ähnlich wie die bei der Lithium-Ionen-Batterie verhalten. Wir müssen also nur – wobei auch das nicht ganz so einfach ist – die Materialien ersetzen, um Natriumbatterien zu bauen. Natrium ist deutlich günstiger zu beschaffen als Lithium. Allerdings werden die Batterien etwas größer und schwerer ausfallen als die heutigen Lithium-Ionen-Batterien, sie werden aber höheren ökologischen und sozialen Standards genügen. Neben Natrium und Magnesium wollen wir auch Kalzium, Aluminium und Chlorid als Ladungsträger einsetzen. Chlorid ist aber ein negativer Ladungsträger und bisher wurde in der Forschung primär auf positive Ladungsträger geschaut. Wir haben gezeigt, dass es technologisch möglich ist, Negativbatterien bei Raumtemperaturen zu betreiben und haben dafür das Grundpatent.“

**lookKIT: Für Laien wirken die vielen Stränge der Batterieforschung manchmal verwirrend. Wäre es nicht sinnvoller gewesen, sich im Exzellenzcluster auf ein Konzept zu konzentrieren?**

**Maximilian Fichtner:** „Die Vielfalt in den verschiedenen Systemen ist nicht nur für die Laien verwirrend. Aber bislang wurde noch nie systematisch versucht, den besten Ansatz zu ermitteln. Wer hätte das auch machen können? Das geht nur mit einem koordinierten Ansatz und großen Ressourcen. Mit dem CELEST-Exzellenzcluster POLiS haben wir nun die einmalige Chance, die besten Materialien und Konzepte systematisch zu identifizieren. Wir wollen in großer Detailschärfe verstehen, wie die Prozesse in einer Batterie ablaufen und wie sie miteinander zusammenhängen. Um Trends und Unterschiede zu er-

## CELEST: Center for Electrochemical Energy Storage Ulm & Karlsruhe

- **Gründung 2018:** Partner sind KIT, Universität Ulm sowie das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).
- **Breiter Ansatz:** Forschung und Entwicklung zur Lithium-Ionen-Technologie, zur Energiespeicherung jenseits von Lithium sowie zu alternativen Technologien der elektrochemischen Energiespeicherung.
- **Internationale Relevanz:** Mit 29 beteiligten Instituten und 45 Arbeitsgruppen an den Partnereinrichtungen eine der weltweit größten und wichtigsten Aktivitäten in der Forschung und Entwicklung elektrochemischer Energiespeicher.
- **Exzellente Forschung:** z. B. im Rahmen des neuen Exzellenzclusters POLiS.
- **Verantwortung in der Lehre:** z. B. interdisziplinäre Graduiertenschule „Elektrochemische Energiespeicherung“ für 80–100 Doktorandinnen und Doktoranden.
- **Aktiver Innovationstransfer:** Angebot eines einfachen und direkten Austauschs mit interessierten Industrieunternehmen sowie vielfältiger Kooperationsmöglichkeiten.

## CELEST: Center for Electrochemical Energy Storage Ulm & Karlsruhe

- **Established in 2018:** Partners are KIT, Ulm University, and the Center for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg (ZSW).
- **Broad Approach:** Research and development relating to lithium-ion technology, energy storage beyond lithium, and alternative technologies for electrochemical energy storage.
- **International Relevance:** With 29 participating institutes and 45 working groups at the partner institutions, CELEST represents one of the biggest and most important projects for research into and development of electrochemical energy storage systems worldwide.
- **Excellent Research:** Within the framework of the new POLiS cluster of excellence.
- **Responsibility for Academic Education:** Interdisciplinary graduate school “Electrochemical energy storage” for 80 – 100 doctoral researchers.
- **Active Innovation Transfer:** Easy and direct exchange with interested industrial companies, many collaboration options.



FOTO: LAILA TKOTZ

kennen, braucht man dabei mehrere Projekte zur Datensammlung. Im Moment haben wir fünf Elemente, an denen wir arbeiten. Während der Laufzeit des Exzellenzclusters wird es sicherlich auch noch die eine oder andere Fokussierung geben. Wir müssen aber so breit anfangen, um Zusammenhänge überhaupt erkennen zu können.“

**lookKIT: Das Exzellenzcluster ist ja zunächst auf eine Förderdauer von sieben Jahre angelegt. Was sind die wissenschaftlichen Ziele – werden Sie in dieser Zeit marktreife Batterien entwickeln oder geht es eher um Grundlagenforschung?**

**Maximilian Fichtner:** „Sowohl als auch. In den ersten drei Jahren werden wir ein Programm abarbeiten, das wir dann begutachten lassen. Wir wollen flexibel bleiben, was die Ziele und die Ausführung der Forschung betrifft. Da können neue Projekte dazukommen und Projekte abgeschlossen werden. In den ersten drei Jahren haben wir uns dabei das Ziel gesetzt, eine Natrium-Ionen-Batterie zu bauen. Auch Labormuster von Magnesium-Batteriezellen sollen entwickelt werden. Andere Batteriekonzepte sind noch nicht so weit. Bei diesen befinden wir uns noch in der Grundlagenforschung und wir können noch nicht abschätzen, wann wir in welches Stadium kommen. Wir wollen die Lebensdauer dieser neuen Systeme verbessern und die kinetischen Barrieren verstehen, die den Wirkungsgrad bestimmen. Dafür werden wir das Verhaltensmuster der verschiedenen Elemente vergleichen und auf molekularer Ebene miteinander in Bezug stellen. Wir wollen Zusammenhänge erkennen und auf möglichst einfache Art beschreiben.“

**lookKIT: Die Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien wird heute von asiatischen Herstellern dominiert. Ergibt sich mit den Batterien der nächsten Generation für Deutschland und Europa eine Chance, wieder Marktsegmente zurückzugewinnen?**

**Maximilian Fichtner:** „Das bleibt zu hoffen. Zunächst müssen wir Systeme entwickeln, die konkurrenzfähig sind, und dann müssten Industriepartner gefunden werden, die bereit sind, hohe Kosten und Risiken zu tragen. Es besteht durchaus die Chance, da einen Fuß in die Tür zu bekommen, weil wir mit neuen Batteriekonzepten auch auf neue Fertigungstechnologien umstellen müssen. Interessanterweise haben augenblicklich aber vor allem südkoreanische und chinesische Firmen Interesse an unserer Arbeit.

*Eine Testzelle wird in einen Batterietester eingesetzt*

*A researcher inserting a test cell into a battery tester*



FOTO: TANJA MEISSNER

## Beyond Lithium

### POLiS Cluster of Excellence to Establish the Foundations of Sustainable and Effective Battery Storage

TRANSLATION: RALF FRIESE

KIT acquired two Clusters of Excellence in the 2018 Excellence Strategy of the federal and state governments. One of them is the POLiS (Post Lithium Storage Cluster of Excellence) on battery research that is operated cooperatively with the University of Ulm. In an interview with LookKIT author Dr. Martin Heidelberger, Professor Maximilian Fichtner, Member of the Board of Directors of the 8-year-old Helmholtz Institute Ulm (HIU), and spokesman of POLiS, talks about the line followed in the Cluster of Excellence, new storage concepts, and the end of oil production.

POLiS stood for projects designed to create the foundations of a world of storage beyond lithium ion batteries, says Fichtner. Though lithium ion batteries so far had been technically superior to other types of batteries, there were credible alternatives. The new Cluster of Excellence would serve to study the scientific situation of energy storage media beyond established lithium technology up to the fabrication of some first batteries.

There were many good reasons for this development: Smaller batteries with higher storage capacities were sought, which was theoretically possible when alternative materials were used. Moreover, elements were to be employed which were much more abundant and more recyclable than lithium, as the resource availability was critical in the battery industry. Lithium ion batteries needed cobalt, which probably will become scarce in the 2020s and was sometimes mined under dubious social standards. Likewise, lithium was not available in unlimited quantities either, the scientist argued. Replacing lithium technology, at least in part by alternatives, could ease the situation. In addition, Maximilian Fichtner presumes that oil production might drop fifty percent by 2025, which would have massive effects. Unfortunately, no ideal way existed to prepare quickly for this development, so they have sought instead to create new approaches that will make faster progress in energy storage possible. ■

Contact: [m.fichtner@kit.edu](mailto:m.fichtner@kit.edu)

Information about CELEST: [www.celest.de](http://www.celest.de)

Twitter: @CELEST\_18

Einige der Koreaner sagen ganz klar, dass Lithium-Ionen-Systeme keine langfristige Lösung sind. Aber auch mit BMW, Daimler und einigen europäischen Zulieferern sind wir bereits im Gespräch. Wir sagen ja schon lange, dass wir eigentlich eine eigene Zellfertigung bräuchten. Es ergibt einfach keinen Sinn, riesige Mengen Batterien mit Schiffen aus Asien hierherzuschaffen. Das ist im Übrigen auch ein großes Sicherheitsrisiko, aber es wurde auf Seiten der Industrie immer gesagt, dass sich eine Fertigung in Europa monetär nicht lohnen würde. Jetzt baut ein chinesischer Hersteller in Thüringen eine Fabrik und argumentiert, dass man die Zellen dort bauen sollte, wo sie gebraucht werden.“

**lookKIT: Der letzte UN-Klimabericht hat es einmal mehr deutlich gemacht: Die Zeit für eine Mobilitätswende und die Umrüstung**



FOTO: WIKIPEDIA COMMONS

*Cobalt ist bislang essenziell für die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien – in den 2020er Jahren könnte es knapp werden*

*So far, cobalt has been essential for the production of lithium-ion batteries – in the 2020s, it might not suffice*

**des Energiesystems drängt – werden die notwendigen Speichersysteme denn rechtzeitig verfügbar sein?**

**Maximilian Fichtner:** „Ich möchte da etwas ergänzen. Es ist natürlich sehr wichtig, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren. Das ist aber auch mit der Ressourcensituation bei den fossilen Brennstoffen gekoppelt. Neuere Analysen dazu finden sich im World Energy Outlook 2018 der IEA, der gewissermaßen als Goldstandard gilt, was mittel- bis langfristige Vorhersagen angeht. Wer möchte, kann dort lesen, dass sich die Ölförderung bis 2025 halbieren wird, wenn keine neuen Felder

erschlossen werden. Und neue große Ölfelder sind leider nicht in Sicht. Das ist immerhin die Prognose einer der erdölfreundlichsten Organisationen der Welt. Es könnte also auch der Fall eintreten, dass eine CO<sub>2</sub>-Reduktion sowieso eintritt, weil das Nachlassen der Ölförderung vielleicht schneller kommt als erhofft – was allerdings massive Auswirkungen haben würde. Es gibt im Moment leider keinen Königsweg, um uns auf eine solche Entwicklung schnell vorzubereiten. Wir haben aber das Ziel, im Rahmen von CELEST neue Wege aufzuzeigen, wie wir in Sachen Energiespeicherung besser vorankommen können. Das kann und soll ein wichtiger Beitrag zur Zwischenspeicherung Erneuerbarer Energien werden.“ ■

Kontakt: [m.fichtner@kit.edu](mailto:m.fichtner@kit.edu)

Info zu CELEST: [www.celest.de](http://www.celest.de)

Twitter: @CELEST\_18

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**



## FORSCHUNGSOFFENSIVE REFUELS ZU REGENERATIVEN KRAFTSTOFFEN GESTARTET

# Kraftstoffe neu denken



*In der bioliq-Anlage auf dem Campus Nord des KIT wird daran geforscht, aus Reststoffen wie Stroh und anderen trockenen pflanzlichen Bestandteilen alternative Kraftstoffe herzustellen*

*The bioliq facility on KIT Campus North conducts research to produce alternative fuels from residual materials, such as straw and other dry plant constituents*

„Die Lücke beim Klimaschutz lässt sich nicht allein durch den Umstieg auf umweltfreundliche Verkehrsmittel oder E-Mobilität, sondern nur durch ein Paket verschiedener Maßnahmen schließen“, sagt Winfried Hermann, Verkehrsminister in Baden-Württemberg. Deshalb habe er gemeinsam mit anderen Bundesländern vorgeschlagen, den Anteil erneuerbarer Energien im Kraftstoffmix deutlich zu erhöhen. Dazu soll die Forschungsoffensive reFuels einen wesentlichen Beitrag leisten.

Aktuell trägt der von fossilen Kraftstoffen getriebene Individual- und Schwerlastverkehr in Deutschland mit 20 Prozent zum Ausstoß von CO<sub>2</sub> und damit wesentlich zum Klimawandel bei. Synthetische Kraftstoffe können aus regenerativen Kohlenstoffquellen wie Restbiomasse hergestellt werden und so dazu beitragen, das Klima zu schützen. Dazu zählt unter anderem auch die direkte Umwandlung von CO<sub>2</sub> und erneuerbarem Wasserstoff, aber auch Reststoffen aus Land- und Forstwirtschaft in synthetische Kraftstoffe.

„Mit dem Projekt reFuels wollen wir das Potenzial synthetischer Kraftstoffe von deren Herstellung mit erneuerbaren Energien über den Einsatz in Fahrzeugen bis hin zu den Szenarien einer Markteinführung zum ersten Mal in seiner gesamten Bandbreite untersuchen. Für den Klimaschutz müssen wir alle Register ziehen, das heißt alle Technologien nutzen. Regenerative neue Kraftstoffe können den Verbrennungsmotor klimafreundlich machen“, so Hermann bei der Auftaktveranstaltung im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft auf dem Gelände der Mineralölraffinerie Oberrhein (MiRO) in Karlsruhe. Durch gemeinsame Anstrengungen von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik – wie bei diesem Vorhaben – seien Einsparungen beim Ausstoß von Kohlendioxid möglich. Das Land sehe es deshalb als bedeutsamen Schritt an, gemeinsam mit dem KIT, der MiRO und vielen weiteren Partnern (siehe Kasten), insbesondere den Firmen der Automobilbranche, dieses bislang einmalige Projekt auf den Weg gebracht zu haben.

Auch Verfahren zu betrachten, mit denen Otto- und Dieselmotoren auf Basis erneuerbarer Energien in größerem Maßstab produziert werden können, ist Ziel des Projektes „reFuels – Kraftstoffe neu denken“. Darüber hinaus wird untersucht, wie sich die regenerativ erzeugten Kraftstoffe auf den Schadstoffausstoß der bestehenden Flotte und auf die Funktion der Fahrzeuge sowie einzelner Komponenten auswirken. Weiterer Aspekt soll die Akzeptanz von neuartigen Kraftstoffen in Wirtschaft und Gesellschaft sein.

Leiter des Projektkonsortiums ist Professor Thomas Hirth, Vizepräsident des KIT für Innovation und Internationales. Für ihn ist reFuels ein wichtiger Schritt hin zum Wirtschaften in einem geschlossenen Kohlenstoffkreislauf: „Regenerative Kraftstoffe können entlang der gesamten Wertschöpfungskette zukünftig ganz neue Geschäftsfelder eröffnen. Da Effizienzgewinne bei Benzin- und Dieselmotoren in den vergangenen



## Partner im Projekt

AUDI AG, BorgWarner Inc., Caterpillar Energy Solutions GmbH (MWM), Daimler AG, Eberspächer GmbH & Co. KG, EnBW AG, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Ineratec GmbH, KS Kolbenschmidt GmbH, Mahle GmbH, Mann + Hummel GmbH, Mineralölraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG (MiRO) mit Unterstützung des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV), Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Robert Bosch GmbH, Rolls-Royce PowerSystems AG (MTU). Der Mineralölwirtschaftsverband (MWV) und der Verband „Zukunft Erdgas“ sind assoziierte Mitglieder.

Die Partner (siehe Kasten Seite 17) der breit angelegten Forschungs-offensive trafen sich im Januar im Rahmen des „Strategiedialogs Automobilwirtschaft“ auf dem Gelände der Mineralö Raffinerie Oberrhein (MiRO) in Karlsruhe

The partners (see box on page 17) of the broad-based research initiative met in January as part of the "Policy Dialog on Automotive Industry" on the site of the Mineral Oil Refinery Oberrhein (MiRO) in Karlsruhe



FOTO: MARKUS BREIG

Jahren durch die Zunahme des Verkehrs und größere Fahrzeuge ausgeglichen wurden, aber Verbrennungsmotoren bei der Beförderung schwerer Lasten und auf weiten Strecken auf absehbare Zeit weiter eine wichtige Rolle spielen werden, können umweltfreundliche und motorenverträgliche synthetische Kraftstoffe einen substanziellen Beitrag für einen nachhaltigeren Verkehr leisten“, so Hirth.

MiRO-Geschäftsführer Ralf Schairer sieht die Mitarbeit Deutschlands größter Raffinerie an

Forschung für die Energiewende: Sprit aus Stroh

Research for the energy transition: Gasoline from straw



FOTO: ROBERT FUGE

## Rethinking Fuels

### reFuels Research Offensive on Regenerative Fuels Launched

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

“The gap in climate protection cannot be closed just by switching to environmentally compatible means of transport or electric mobility, but only by a package of combined measures,” says Winfried Hermann, State Minister of Transport. Hermann, together with politicians from other federal states, have therefore proposed to significantly increase the share of renewable energy sources in the fuel mix. The reFuels research offensive will contribute greatly to reaching this goal.

Fossil fuel-based private and heavy-duty traffic now accounts for 20% of total CO<sub>2</sub> emissions and is a major factor in climate change. Synthetic fuels, by contrast, can be produced from non-fossil carbon sources and can thus help protect the climate. Among the technologies considered for this purpose is the direct conversion of CO<sub>2</sub> and renewable hydrogen.

“Within the framework of the reFuels project, we want to study the potential of synthetic fuels, from manufacture using renewable energy sources to use in vehicles to commercialization. That is, we want to cover the complete range of processes,” said Winfried Hermann during the kickoff event of the Policy Dialog on Automotive Industry on the premises of the Upper Rhine Mineral Oil Refinery (MiRO) in Karlsruhe. The project consortium is headed by Professor Thomas Hirth, KIT Vice President for Innovation and International Affairs. He considers reFuels an important step towards closing the CO<sub>2</sub> cycle: “Regenerative fuels will open up entirely new fields of business along the value-added chain. As efficiency gains of gasoline and diesel engines in the past years were compensated by increased traffic and larger vehicles and combustion engines will continue to play an important role in transportation of heavy loads and long-distance traffic, environmentally friendly and engine-compatible synthetic fuels can decisively contribute to enhancing the sustainability of traffic in the foreseeable future,” Hirth says.

Ralf Schairer, Managing Director of MiRO, considers the involvement of Germany’s largest refinery in the project and support by the Petroleum Industry Association (MWV) an opportunity to make an active contribution to climate protection. “Production of synthetic fuels at existing refineries will enable a stepwise energy transition and even greenhouse gas-neutral fuels in the long term. The known advantages of liquid fuels, such as high energy density, and the fact that they can be stored and transported easily, are used and, at the same time, our climate objectives are reached,” Ralf Schairer adds. ■

Contact: joerg.sauer@kit.edu and thomas.koch@kit.edu



FOTO: MARKUS BREIG

Auftakt zu reFuels: Verkehrsminister Winfried Hermann (Mitte) mit Thomas Hirth, Vizepräsident des KIT für Innovation und Internationales (links) und MiRO-Geschäftsführer Ralf Schairer (rechts)

Kickoff for reFuels: Transport Minister Winfried Hermann (center) with Thomas Hirth, Vice-President of KIT for Innovation and International Affairs (left) and MiRO CEO Ralf Schairer (right)

dem Projekt mit Unterstützung des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV) als Chance, einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten: „Die Herstellung synthetischer Kraftstoffe in vorhandenen Raffinerie-Infrastrukturen ermöglicht einen schrittweisen Übergang und perspektivisch sogar treibhausgasneutrale Kraftstoffe. Die bekannten Vorteile flüssiger Kraftstoffe wie hohe Energiedichte und einfache Speicher- und Transportierbarkeit bleiben erhalten und gleichzeitig werden die Klimaziele erreicht.“

Das KIT bietet eine hervorragende Infrastruktur für die Forschung zu alternativen Kraftstoffen: Mit „bioliq“ und dem „Energy Lab 2.0“ verfügt das KIT über zwei Plattformen für die Herstellung von reFuels. Für das bioliq-Verfahren, mit dem hochwertige Kraftstoffe aus biogenen Roh- und Reststoffen wie etwa Stroh erzeugt werden, existiert eine Pilotanlage, die Ottokraftstoffe liefert. Das Energy Lab 2.0 ist ein weltweit einmaliger Anlagenverbund, der modernste Technologien zur Erzeugung und Nutzung elektrischer, thermischer und chemischer Energie wie beispielsweise Gasturbinen, Power-to-Methan und Wasserelektrolyse verknüpft und in Kürze unterschiedliche Kraftstoffkomponenten wie Dieselkraftstoffe oder Jetfuels produzieren soll. ■

Kontakt: joerg.sauer@kit.edu und thomas.koch@kit.edu

ANZEIGE

Theoretisch  
bringt Ihnen die Uni  
alles bei.

Praktisch  
lernen Sie bei uns  
jeden Tag dazu.



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

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

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



Wir machen das schon.

EnBW



## PEROWSKITE VERSPRECHEN HOCHEFFIZIENTE SOLARMODULE – TINTENSTRAHLDRUCK ERLAUBT FARB- UND FORMVIELFALT

VON DR. SIBYLLE ORGELDINGER

Sie erzeugen immer mehr elektrische Energie aus Sonnenlicht: Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis von Perowskit-Halbleitern haben ihre Effizienz in den vergangenen Jahren rasant gesteigert und erreichen im Labor bereits Wirkungsgrade von über 23 Prozent. Bei Perowskiten handelt es sich um Materialien mit spezieller Kristallstruktur. Dabei gelten in der Photovoltaik metallorganische Perowskite – hybride Halbleiter, die organische und anorganische Verbindungen enthalten – als besonders vielversprechend. Die derzeit im Labor üblichen Verfahren zur Fertigung von Perows-

kit-Solarzellen lassen sich allerdings noch nicht auf größere Flächen übertragen. Kostengünstige Prozesse für die industrielle Produktion zu entwickeln, ist Ziel des Projekts PRINTPERO, an dem Akteure aus Forschung und Industrie in Deutschland und Griechenland beteiligt sind.

PRINTPERO steht für „Printed Perovskite Solar Modules for Building Integrated Photovoltaics“. In dem Projekt entstehen Perowskit-Solarmodule, die erstens druckbar und zweitens für die Integration in Gebäuden geeignet sind. „Wir arbeiten an Ver-

fahren des digitalen Tintenstrahlendrucks, die bei niedrigen Temperaturen ablaufen“, erklärt Dr. Ulrich W. Paetzold, Leiter der Forschungsgruppe „Advanced Optics and Materials for Next Generation Photovoltaics“ am Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) und am Lichttechnischen Institut (LTI) des KIT, der das Projekt koordiniert. „Die gedruckten Solarmodule sollen in Zukunft nicht nur effizient und stabil sein, sondern auch gewisse architektonische Kriterien erfüllen, damit sie sich vielseitig in Dächer, Fassaden und Fenster integrieren lassen.“ Dies verspricht Vorteile für den Einsatz in

# Photovoltaik die nächste Generation



Die Forschung in der Gruppe von Dr. Ulrich W. Paetzold konzentriert sich auf die Wechselwirkung zwischen Licht und strukturierter Materie mit dem Ziel, neue Materialien und Konzepte für die Photovoltaik zu entwickeln

Research of Dr. Ulrich W. Paetzold and his team focusses on the interaction between light and structured matter, the goal being to develop new optical concepts and materials for photovoltaics

Foto: Institut

Städten, wo der Energiebedarf hoch ist, die Freiflächen für Photovoltaik allerdings knapp sind.

Um die Perowskit-Solarmodule ansprechend in Gebäude integrieren zu können, arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Prototypen, die sich in Größe und Form sowie in Farbe und Lichtdurchlässigkeit maßschneidern lassen. Vor allem die Farbe stellt die Forscher vor Herausforderungen: „Der Farbeindruck entsteht in den meisten Fällen durch die Reflexion des Lichts eines speziellen Spektralbereichs der Sonneneinstrahlung“, erläutert Paetzold. „Reflektiertes Licht lässt sich allerdings nicht weiter zur Stromerzeugung in dem Solarmodul nutzen.“ Um zu vermeiden, dass die Farbgestaltung den Wirkungsgrad signifikant herabsetzt, versehen die Wissenschaftler die Solarzellen mit sogenannten lumineszierenden Lichtkonversionsschichten (LDS). Diese nehmen Strahlung aus dem Ultraviolettbereich des elektromagnetischen Spektrums auf – Strahlung, die von den Solarzellen ohnehin nicht absorbiert werden kann – und emittieren das Licht wieder im gewünschten Spektralbereich.

So bewirken die LDS nicht nur den angestrebten Farbeindruck, sondern schützen die Solarzellen auch vor der für sie schädlichen UV-Strahlung. Neben den für die Stromerzeugung erforderlichen Schichten des Solarmoduls sollen auch die lumineszierenden Schichten über digitale Tin-

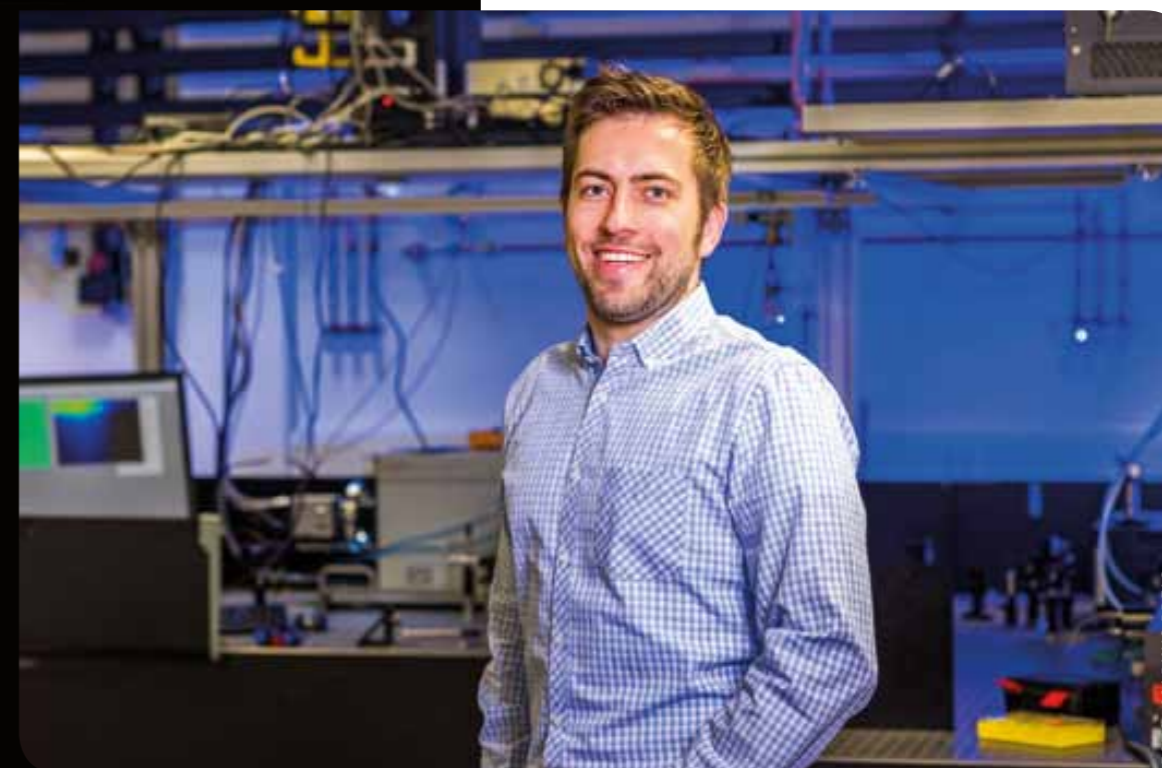


FOTO: MARKUS BREIG

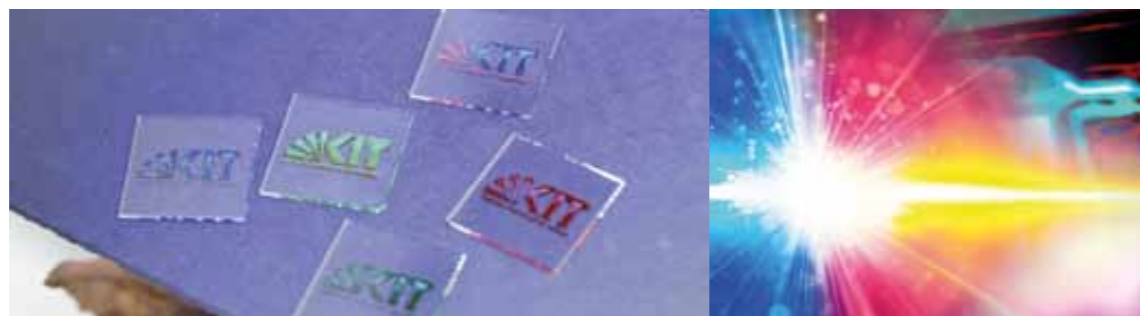
Gedruckte Perowskit-Solarzellen in Form des Logos des KIT. Die Prototypen sollen sich in Größe und Form sowie in Farbe und Lichtdurchlässigkeit masschneidern lassen

Printed perovskite solar cells in the form of the logo of the KIT. It is planned to customize the prototypes in terms of size, color, and light transmission

tenstrahl Druckverfahren gefertigt werden. Um die Stabilität der Perowskit-Solarmodule weiter zu verbessern, arbeiten die Forscherinnen und Forscher auch daran, sie zum Schutz vor Feuchtigkeit zu verkapseln.



An PRINTPERO sind die Forschungseinrichtungen KIT und Western Greece University of Applied Sciences sowie die Solarindustrieunternehmen SUNOVATION Produktion GmbH (Aschaffenburg) und Brite Hellas S.A. (Thessaloniki/Griechenland) beteiligt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das im März 2018 gestartete, auf drei Jahre angelegte deutsch-griechische Kooperationsprojekt im Rahmenprogramm Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA). „Die Bündelung der Kompetenzen aus Forschung und Industrie über Ländergrenzen hinweg zielt darauf, die digitalen Druckprozesse auf industrielle Maßstäbe aufzuskalieren“, sagt Dr. Gerardo Hernandez-Sosa, der die beteiligte LTI-Arbeitsgruppe Gedruckte Elektronik am InnovationLab in Heidelberg leitet.



## Next Generation Photovoltaics

### Perovskites Promise High-efficiency Solar Modules

TRANSLATION: RALF FRIESE

Thin-film solar cells based on perovskite semiconductors greatly increased their efficiency over the past couple of years, now achieving power conversion efficiencies in excess of 23% under laboratory conditions. Developing low-cost processes for producing perovskite solar modules on an industrial scale is an objective of the PRINTPERO (Printed Perovskite Solar Modules for Building Integrated Photovoltaics) project coordinated at KIT and involving players from research and industry in Greece and Germany. Researchers are developing digital inkjet printing processes that run at low temperatures. Solar modules printed in this way are efficient and stable as well as flexible in terms of shape and color, so that they can be integrated into buildings in many ways. So-called luminescent light conversion layers (LDS) produce a desired color without significantly reducing efficiency, and protect solar cells from harmful UV radiation at the same time.

Another approach KIT scientists are taking to tap the enormous potential of perovskites for photovoltaics is tandem solar cells, which combine one solar cell made of crystalline silicon or copper-indium-gallium diselenide (CIGS) with a semi-transparent perovskite solar cell. These stacks of solar cells constitute inexpensive expansions of established photovoltaic technology that promise enormous increases in efficiency. ■

Contact: ulrich.paetzold@kit.edu

Kontakt: ulrich.paetzold@kit.edu



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 unter anderem:**

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| → Java Entwickler (m/w/d)  | → Scrum Master (m/w/d)                |
| → SAP Anwendungsbetreuer (m/w/d)   | → Systemadministrator (m/w/d) Windows |
| → Anwendungsbetreuer (m/w/d) für eine Bewertungsplattform des Risikocontrollings | → Enterprise Architect (m/w/d)        |
| → IT Senior Softwareentwickler (m/w/d) für das Risikocontrolling                 | → Trainee (m/w/d) mit Schwerpunkt IT  |
|  | → 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://lbank.softgarden.io/de/vacancies>.

Aus Liebe zum Land

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

# Szenarien

## für den Wandel: Welche Energiewende wollen wir?

VON DR. MARTIN HEIDELBERGER

VERTRETERINNEN UND VERTRETER DER ZIVILGESELLSCHAFT HABEN FÜR DAS KOPERNIKUS-PROJEKT ENSURE STORYLINES ZUR UMSETZUNG DER ENERGIEWENDE AUSGEARBEITET



FOTOS: GABI ZACHMANN

FOTO: PASCAL ARMBRUSTER

Vor 30 Jahren war die Energiewende eine exzentrische Idee von besonders umweltbewegten Bürgerinnen und Bürgern. Innerhalb einer Generation hat sich das Bild aber grundsätzlich gewandelt: Solarzellen entwickelten sich vom verschrobene Hobby idealistischer Tüftler zur global am stärksten wachsenden Energiequelle. Längst vorbei sind die Zeiten, in denen sich Bürgerinnen und Bürger uneingeschränkt für lokale Windräder einsetzten. Heute ist die Windenergie hinter der Braunkohle die zweitwichtigste Energiequelle Deutschlands und längst kümmern sich auch große Energieunternehmen um den Aufbau von immer gewaltigeren Kapazitäten.

Doch mit dem Erfolg und dem damit einhergehenden wachsenden Umfang von Infrastrukturmaßnahmen im Bereich der erneuerbaren Energien kommt es auch immer häufiger zu Konflikten: Während die meisten

Menschen sich wohl im Allgemeinen für eine klimafreundliche Stromproduktion aussprechen, werden Pläne in der eigenen Nachbarschaft – etwa zur Errichtung neuer Windparks – kritisch beäugt. Auch der Widerstand gegen den Ausbau des deutschen Übertragungsnetzes hat vielen gezeigt, wie schwierig es doch ist, das Transformationsprojekt Energiewende tatsächlich umzusetzen. „An solchen Beispielen zeigt sich, dass die zukünftige Ausgestaltung des Energiesystems nicht einfach über die Köpfe der Bürgerinnen und Bürger hinweg entschieden werden kann“, sagt Dr. Witold-Roger Pogonietz, vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des KIT. „Um zu gelingen, muss die Energiewende als ein gesamtgesellschaftliches Projekt organisiert werden“

Pogonietz setzt sich als Wissenschaftler im Kopernikus-Projekt ENSURE dafür ein, dass der notwendige Umbau des Energiesystems nicht

an fehlendem Rückhalt in der Bevölkerung scheitert. Die Kopernikus-Projekte zur Energiewende sind ein langjähriges Forschungsprogramm, das 2016 gestartet wurde – hauptsächlich, um technologische und wirtschaftliche Lösungen für den Umbau des Energiesystems zu erarbeiten. Jedes der insgesamt vier Projekte beschäftigt sich dabei mit unterschiedlichen Aspekten der Energiewende, bei ENSURE geht es um den Umbau der Netzstrukturen, Leiter ist der Präsident des KIT Professor Holger Hanselka. Doch weil Netzstrukturen schlecht ohne ein Ziel umgebaut werden können und bislang noch kein Konsens über den weiteren Verlauf der Energiewende besteht, wurde zusammen mit dem Öko-Institut, der Deutschen Umwelthilfe (duh), der RWTH Aachen und dem EWI ein zunächst auf zwei Jahre angelegter Dialogprozess mit der Zivilgesellschaft eingeleitet. Eingeladen wurden Vertreterinnen und Vertreter aus Industrie- und



FOTOS: MAGALI HAUSER



Verbraucherverbänden, Gewerkschaften, Umweltorganisationen, kommunalen Verbänden, den Kirchen und weiteren relevanten Gruppen. „Alle diese Stakeholder wollen sich für den Klimaschutz einsetzen, sie hatten aber zunächst ganz unterschiedliche Vorstellungen davon, wie es jetzt weitergehen soll“, berichtet Pogonietz. In vielen Gesprächen und durch den Austausch mit Experten von ENSURE sind schließlich gemeinsame Storylines entstanden, die mögliche Entwicklungen des Energiesystems bis zum Jahr 2030 beschreiben. Die Storylines stellen also keine Experten-Szenarien dar, wie sie bereits vielfältig – und teilweise mit widersprüchlichem Inhalt – kursieren. „Man kann die Storylines als in sich geschlossene und konsistente Zukunftsbilder begreifen“, erklärt Pogonietz. „Die Bandbreite reicht dabei von sehr ambitioniertem Klimaschutz über eine größere europäische Ausrichtung der Energienetze bis hin zu einer ausgeprägten Dezentralisierung des Energiesystems.“



FOTO: MARKUS BREIG

Die von den Vertreterinnen und Vertretern der Zielgesellschaft erarbeiteten Storylines zu unterschiedlichen Verläufen der Energiewende haben einen qualitativen Charakter und enthalten nur wenig konkrete Zahlen. Da die Storylines aber für ENSURE den Rahmen zur Entwicklung technischer und organisatorischer Lösungen für die Energienetze der Zukunft bilden sollen, müssen sie für die Entwicklungsarbeit von Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie Forschenden zugänglich gemacht werden. Dafür wurden die Storylines in vier quantitative und kostenoptimierte Szenarien übersetzt, die nun ebenfalls vorliegen. Auch dieser Prozess wurde in enger Abstimmung mit den Stakeholdern durchgeführt, die dafür mit Modellierern

bei ENSURE zusammenarbeiteten und jeden Schritt begleiteten. „Die Übersetzung von qualitativen Konzepten in ein quantitatives Zahlenwerk ist nicht trivial“, erläutert Pogonietz diesen weiteren Arbeitsschritt. „Was bedeutet beispielsweise eine europäische Ausrichtung der Energiewende für die Produktion von Ökostrom in Deutschland?“ In diesem Fall hätten sich die Stakeholder darauf verständigt, dass höchstens 10 Prozent der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im EU-Ausland erbracht werden dürfen. Die Folge sei, dass auch im Szenario einer europäisch orientierten Energiewende die Kapazitäten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland signifikant erhöht werden müssten.

Das am KIT koordinierte Kopernikus-Projekt ENSURE ist in fünf Clustern organisiert. Dr. Witold-Roger Pogonietz vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) ist Sprecher für das Cluster „Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen“

The Kopernikus project ENSURE, coordinated at KIT, is organized in five clusters. Dr. Witold-Roger Pogonietz from the Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS) is the spokesperson for the cluster "Socio-economic framework"



FOTO: IRINA WESTERMANN



FOTO: YENCAY/FOTOLIA

## Vier Storylines für die Energiewende

### STORYLINE „A“

REFERENZENTWICKLUNG  
GEMÄSS NETZENTWICKLUNGS-  
PLAN

Moderate CO<sub>2</sub>-Minderung um etwa 52 Prozent gegenüber dem Jahr 1990, die bis zum Jahr 2030 angestrebt wird. Diese Storyline orientiert sich am „Szenario B 2030“ der Bundesnetzagentur sowie am „Klimaschutzplan 2050“ der Bundesregierung.

- 65 Prozent Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch.
- Leistung der Kohlekraftwerke gegenüber dem Stand des Jahres 2017 um fast 60 Prozent reduziert.
- Klimaschutzziele im Verkehrssektor werden nicht erreicht.

### STORYLINE „B“

SEHR AMBITIONIERTER  
KLIMASCHUTZ

Deutschland reduziert seine Emissionen entsprechend der Verpflichtungen aus dem Klimaschutzabkommen von Paris. Bei einem sich ergebenden CO<sub>2</sub>-Budget von 10 Milliarden Tonnen für Deutschland sind allerdings bereits ca. 30 Prozent aufgebraucht. Bis zum Jahr 2030 müssen die Emissionen aller Sektoren deshalb um 78 Prozent reduziert werden.

- 82 Prozent Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch.
- Kohleausstieg vor dem Jahr 2030. Als Reservekapazität bleiben Kohlekraftwerke erhalten.
- Verstärkte Elektrifizierung der Sektoren Wärme, Verkehr und Industrie.
- Der Energiebedarf wird durch Energieeffizienz und ein reduziertes Wachstum der Nachfrage verringert.
- Synthetische Energieträger auf Basis erneuerbarer Energien werden importiert und in den Sektoren Verkehr und Industrie eingesetzt.

### STORYLINE „C“

STÄRKER EUROPÄISCH ORIEN-  
TIERTE ENERGIEWENDE MIT  
AMBITIONIERTEN KLIMAZIELEN

Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß „Szenario KS 95“ der Studie „Klimaschutzszenario 2050“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt. Dies entspricht einem CO<sub>2</sub>-Budget ab 2015 in Höhe von etwa 12 Milliarden Tonnen und einem CO<sub>2</sub>-Minderungsziel bis zum Jahr 2030 von 67 Prozent.

- Starke europäische Integration der Strommärkte.
- Import von kostengünstig erzeugtem Strom aus dem europäischen Ausland.
- 69 Prozent Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch.
- Die benötigten Flexibilitäten im Stromnetz werden zum Teil ebenfalls grenzüberschreitend beschafft.
- Beschleunigung der Wärme- und Verkehrswende.

### STORYLINE „D“

DEZENTRALE ENERGIEWENDE  
MIT AMBITIONIERTEN  
KLIMAZIELEN

Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß „Szenario KS 95“ der Studie „Klimaschutzszenario 2050“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt. Dies entspricht einem CO<sub>2</sub>-Budget ab 2015 in Höhe von etwa 12 Milliarden Tonnen und einem CO<sub>2</sub>-Minderungsziel bis zum Jahr 2030 von 67 Prozent.

- Begrenzung des Ausbaubedarfs im Übertragungsnetz für Strom durch dezentrale Strategien.
- Stromerzeugung möglichst vor Ort durch regionale Akteure sowie vorrangig in räumlicher Nähe der Zentren des Stromverbrauchs.
- 75 Prozent Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch.
- Beschleunigung der Wärme- und Verkehrswende.

ANZEIGE

HS PF

„Ich gewann  
viel praktische  
Erfahrung  
durch unsere Kurse,  
die industrie-spezifische Expertise  
unserer Professoren und Gastrednern“

BO ZHOU, Class of 2012  
Senior Category Manager Business Partnering, Bayer AG



MBA International Management in Pforzheim  
Vollzeitstudium - intensives, relevantes Curriculum  
Praxisnah - begegnen Sie über 25 Unternehmen  
Interkulturell - ca.12 Nationen in einem Jahrgang,  
englischsprachig  
Mehr Informationen auf [www.hs-pforzheim.de/mba](http://www.hs-pforzheim.de/mba)

Alltagsmobilität,  
Energie und Klima

FOTO: GABI ZACHMANN

Und wie verbindlich sind Szenarien nun für den tatsächlichen Verlauf der Energiewende? „Unsere Aufgabe als Wissenschaftler ist es natürlich nicht, etwas politisch durchzusetzen“, betont Poganietz. Ebenso wichtig sei es aber, Netztechnologien entlang eines Szenarios zu entwickeln, das den Rahmen vorgibt und Prioritäten setzt. Zudem hätten die aus den Storylines entwickel-

ten Szenarien eine größere gesellschaftliche Legitimität als die bislang vorliegenden Expertenszenarien: „Zum ersten Mal hat eine vielfältige Gruppe von Vertreterinnen und Vertreter der Zivilgesellschaft über einen so langen Zeitraum zusammengearbeitet, um gemeinsam auszufordern, welche Energiewenden sie tragen würden.“

Die Storylines, Szenarien und deren Bewertung werden zurzeit in einer Broschüre für die Öffentlichkeit aufbereitet, die ab Sommer 2019 bezogen werden kann. ■

Info: <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/neue-netzstrukturen>



Werksbuslinie des KIT mit Wasserstoffantrieb: Der H2-Shuttle demonstriert die Alltagstauglichkeit der umweltfreundlichen Antriebstechnologie

KIT's hydrogen shuttle bus line: The H2 shuttle demonstrates the everyday suitability of the environmentally friendly drive technology

## Change Scenarios: What Type of Energy Transition Do We Want?

Under the ENSURE Kopernikus Project, Representatives of Civil Society Develop Scenarios for Implementing the Energy Transition

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

The success of the energy transition and the associated need for more infrastructure that enhances the use of renewable energy sources frequently can give rise to conflicts. While most people generally favor climate-compatible electricity production, they critically eye construction plans in their own neighborhood – e.g. for building new wind parks. Dr. Withold-Roger Poganietz of KIT's Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS) is member of the ENSURE project staff and works to be sure that necessary transformation of the energy system is not prevented by lack of support in the populace. The Kopernikus projects for the energy transition were launched in 2016 as a long-term research program to develop technologically and economically efficient solutions for the transformation of the energy system. Each of the four projects addresses different aspects of the energy transition. ENSURE covers the reconstruction of grid structures. As we have not yet reached any consensus on the further course of the energy transition in Germany, a dialog process with civil society was initiated, initially for two years, together with Oeko-Institut, Deutsche Umwelthilfe (duh, Environmental Action Germany), RWTH Aachen University, and ewi Scenario&Research. Representatives of industry and consumer associations, trade unions, environmental organizations, municipal associations, churches, and other relevant groups were invited. Many discussions and exchanges of opinion with experts of ENSURE eventually resulted in scenarios describing potential developments of our energy system until 2030.

The scenarios and associated assessments are being compiled for the public in a brochure that will be available in summer 2019. ■

More information: <https://www.kopernikus-projekte.de/en/projects/new-network-structures>

## STUDENTEN & ABSOLVENTEN (M/W/D)

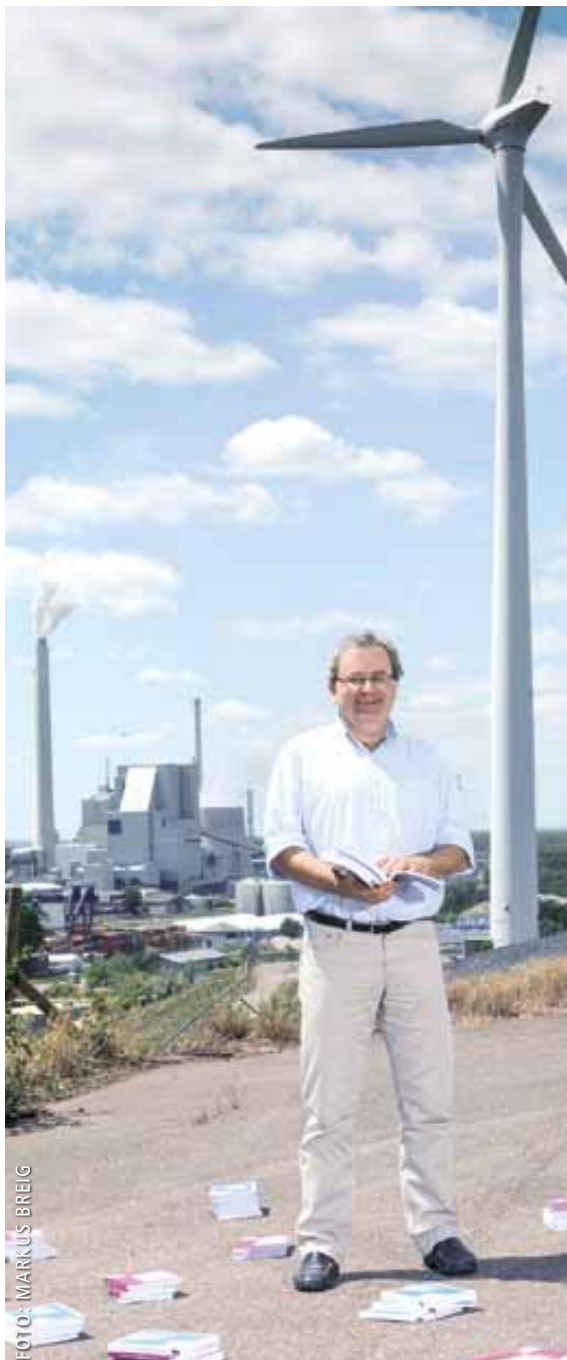
- » Softwareentwicklung
- » E/E Entwicklung
- » Data Analytics
- » Systementwicklung Luftfahrt

DIE ESG-GRUPPE steht für über fünf Jahrzehnte Erfahrung als verlässlicher Technologie- und Innovationspartner für die Entwicklung, Integration und den Betrieb komplexer, sicherheitsrelevanter Elektronik- und IT-Systeme. Finde zukunftsweisende Lösungen in abwechslungsreichen Projekten für namhafte Kunden. Nutze unsere Kultur offenen

Austausches, die auch after work mit Events und Freizeitaktivitäten gepflegt wird. Du profitierst von flexiblen Arbeitsmodellen, Zuschuss zur Altersvorsorge, Familienservice und weiteren attraktiven Sozialleistungen. Unser umfangreiches Angebot an Weiterbildungen bringt dich fachlich, methodisch und persönlich weiter voran.



Gut genug um noch besser zu werden? Jetzt bewerben auf [jobs.esg.de](https://jobs.esg.de)





Analyse der Mikrostruktur am Rasterelektronenmikroskop  
Analysis of the microstructure using the scanning electron microscope

FOTO: ANDREA FABRY

# „Das Wasserstoffzeitalter kommt noch“

## DIE ROLLE DER BRENNSTOFFZELLE IN DER ENERGIEWENDE

Japan setzt in großem Stil auf Wasserstoff. Ziel der gegenwärtigen Regierung in Tokyo ist eine rundum Energieversorgung des Landes durch Wasserstoff aus regenerativen Quellen bis 2040. Brennstoffzellen spielen in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle. Sie könnten durch die in ihnen ablaufende Umkehr der Elektrolyse in nahezu allen Bereichen der Energieversorgung den Wasserstoff emissionsfrei in elektrische Energie umwandeln. Seit mehr als zwei Jahrzehnten haben sich die Leiterin des Instituts für Angewandte Materialien – Werkstoffe der Elektrotechnik (IAM-WET), die Professorin Ellen Ivers-Tiffée, und ihr Akademischer Oberrat Dr. André Weber mit der Optimierung der Brennstoffzelle beschäftigt. In dieser Zeit ist das Institut des KIT zu einem Kompe-

tenzzentrum für Brennstoffzellen-Technologien geworden, das Anwendungs- und Grundlagenforschung verbindet und durch seine breite internationale Anerkennung zur deutschen Spitzenstellung auf diesem Forschungsfeld beiträgt.

lookKIT: Warum tut man sich im Unterschied zu Japan trotz der hierzulande weit fortgeschrittenen Forschung so schwer mit dem Umstieg auf eine grüne Wasserstoffwirtschaft im großen Maßstab?  
Professorin Ellen Ivers-Tiffée: „Japan befindet sich in einer besonderen Lage. Es verfügt weder über natürliche Erdgas- noch über Erdölvorkommen. Alles Gas kommt komprimiert in großen Tankschiffen ins Land. Damit ist ein Umstieg auf den Energieträger Wasserstoff rein logistisch sehr viel leichter zu bewältigen

als in Deutschland oder Europa. Die japanische Gesellschaft hat sich für eine sehr langfristig angelegte Förderpolitik zur Brennstoffzelle entschieden. Das hat japanische Unternehmen in die Lage versetzt, weit in die Zukunft zielende Forschungsvorhaben anzugehen. Wie beispielsweise Toyota heute in der Lage ist, eigene Batterien zu fertigen, hat das Unternehmen auch eigene Brennstoffzellen entwickelt und zugleich erforscht, wie man den Wasserstoff am besten in einem Tank hält. Das Ergebnis ist ein Behältnis aus einer Kombination von Kunststoff- und Karbonfasern. Es ist leicht genug und dennoch ausreichend widerstandsfähig, um den bis auf 700 bar komprimierten Wasserstoff sicher aufzunehmen. Das Verfluchte am Wasserstoff ist nämlich, dass er überall hindurchdiffundiert. Es gibt nur wenige Materialien, die den Wasserstoff dort halten, wo man

ihn haben will. Dadurch wird das Leitungsproblem entscheidend. Man kann keine Metalle nehmen, weil der Wasserstoff durch jedes Metall entweicht. Je nach Konzentration wird er als Knallgas hochgefährlich. Das stellt eine erhebliche technologische Herausforderung dar. Aber auch dieser kann man sich stellen.“

lookKIT: Hoher Preis, geringe Lebensdauer: diese Einschränkungen haben den Einsatz der Brennstoffzellen lange Zeit auf Bereiche beschränkt, in denen Kosten grundsätzlich kein Problem darstellten. Etwa in der Raumfahrt und in militärischen Anwendungen. Seit aber 1990 die strengen kalifornischen Umweltrichtlinien für den Verkehr in Kraft traten, hat die Forschung weltweit große Fortschritte gemacht. Zwei technologische Entwicklungslinien der Brennstoff-

zelle stehen gegenwärtig im Fokus. Einmal Zellen mit einem protonenleitenden Polymer-Elektrolyten, sogenannte PEM Fuel Cells (PEMFC), und dann die oxidkeramischen Brennstoffzellen, sogenannte Solid Oxide Fuel Cells (SOFC). Was sind Vor- und Nachteile dieser beiden Varianten?

Ellen Ivers-Tiffée: „Brennstoffzellen mit einem Festelektrolyt (SOFC) bedeuten vor allem Unabhängigkeit vom Wasserstoff als Energieträger. Bei hohen Betriebstemperaturen zwischen 600 und 1 000 Grad Celsius können auch höherwertige Kohlenwasserstoffe wie Methan oder Erdgas eingesetzt werden. Selbst flüssige Energieträger wie Benzin oder Diesel sind möglich, weil aufgrund der hohen Temperaturen die erforderlichen Reformierungsreaktionen zu H<sub>2</sub> und CO in der Zelle selbst durchgeführt werden können. Dadurch ist man in Bezug auf den Energieträger sehr flexibel. Wir müssen also nicht so lange warten, bis das Zeitalter der Wasserstoffwirtschaft anbricht. Ein weiterer Vorteil ist der hohe Wirkungsgrad. Die eingesetzte Primärenergie wird zu einem sehr viel höheren Prozentsatz in elektrische Energie verwandelt, als dies etwa bei Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen der Fall ist. Man erzeugt eine Kombination aus elektrischer und thermischer Energie. Die Wärme kann dann mit nachgeschalteten Turbinenkraftwerken zusätzlich in elektrische Energie umgewandelt werden. Insofern hat die SOFC bei stationären Anwendungen das größte Potenzial aller Brennstoffzellen.“

Dr. André Weber: Im Bereich der Niedertemperatur-Brennstoffzellen erreichen wir einen elektrischen Nettowirkungsgrad von höchstens 45 Prozent. Während wir bei den SOFC-Zellen auch bei kleinen Systemen im Kilowattbereich durchaus 60 Prozent erreichen können. Diese Technik ist heute bereits auf dem Markt.

Ellen Ivers-Tiffée: Der Vorteil der Niedertemperaturzellen liegt in ihrer Lebensdauer. Niedertemperaturzellen arbeiten bei Temperaturen zwischen 80 und 90 Grad Celsius. Damit ist dieser Typ prädestiniert für den mobilen Einsatz. Nachteil ist die Beschränkung auf den Energieträger Wasserstoff. Die Niedertemperatur-Brennstoffzelle im Automobil wäre die perfekte Lösung des Mobilitätsproblems, wenn wir reinen Wasserstoff im Überfluss hätten.

lookKIT: Ein Ziel Ihrer Forschungen ist es, die SOFC-Zelle auch noch bei Betriebstemperaturen unter 600 Grad zu betreiben.

Was sind hier die technologischen Herausforderungen?

Ellen Ivers-Tiffée: „Ich muss die Temperatur absenken, um eine lange Lebensdauer zu ermöglichen, wie sie für stationäre Systeme unabdingbar ist. Fünf bis zehn Jahre fehlerfreier Betrieb sind für ein Blockheizkraftwerk von 100 kW wie auch für größere Anlagen Standard. Auch die ganzen externen Komponenten wie Gebläse, Pumpen und so weiter müssen mit heißen Gasen umgehen können. Je mehr ich die Betriebstemperatur im elektrochemischen Herz des Systems absenken kann, umso geringer wird auch die Temperaturbelastung für die umgebenden Aggregate, was wiederum deren Lebensdauer erhöht. Ich muss also neue Werkstoffe und Designkonzepte suchen, die bei abgesenkten Temperaturen die gleiche Performance wie bisher bei den hohen Temperaturen bieten. Das ist Gegenstand intensiver Forschung weltweit. Da aber seit 30 Jahren weitgehend dieselben Werkstoffe im Fokus stehen, ist die Wahrscheinlichkeit relativ gering, dass man auf der Werkstoffseite revolutionäre Durchbrüche erzielt.“

Eine alternative Möglichkeit ist die Entwicklung neuer Designkonzepte. Wenn man bei niedrigen Temperaturen vergleichbar geringe Ohmsche Verluste erreichen will, muss man den Elektrolyten

Dr. Julian Szász am Brennstoffzellen-Teststand  
Dr. Julian Szász at the fuel cell test stand



FOTO: CARSTEN COSTARD, WAINZ





FOTO: ANA DEUS BRAMSIEPE

Professorin Ellen Ivers-Tiffée vom Institut für Angewandte Materialien – Werkstoffe der Elektrotechnik (IAM-WET)

Professor Ellen Ivers-Tiffée of the Institute for Applied Materials – Materials of Electrical Engineering (IAM-WET)

## “The Hydrogen Era Is Yet to Come” The Role of the Fuel Cell in the Energy Transition

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

For more than 20 years, Professor Ellen Ivers-Tiffée and Dr. André Weber at the Institute for Applied Materials – Materials of Electrical Engineering (IAM-WET) have studied electrochemical energy conversion. For a long time, short lifespan and high manufacturing costs of zero-emission fuel cells have limited their use to areas such as aerospace and military. Once the role of CO<sub>2</sub> emissions from transport, household and industry in climate change was recognized in the 90s, however, research efforts were strengthened worldwide. Two types of fuel cells are favored. On the one hand are cells with a proton-conducting polymer electrolyte, so-called PEM Fuel Cells (PEMFC), and on the other are cells with an oxygen ion-conducting ceramic electrolyte, so-called Solid Oxide Fuel Cells (SOFC). PEM fuel cells operate at relatively low temperatures of around 90 degrees Celsius and are particularly suitable for mobile uses. Obstacles to their rapid transition to fuel cell vehicles are the high demand for platinum as a catalyst and, above all, the fact that they can only use hydrogen as a fuel. By contrast, SOFC fuel cells work better the higher the temperatures are. They can therefore operate at 600 to 1000 degrees Celsius and use higher-value hydrocarbons, such as methane, natural gas, gasoline, and diesel. They currently achieve a purely electrical energy yield of 60 percent. They are particularly suited for stationary use in single-family homes as well as in power plants ranging from a few hundred kilo- to megawatts. However, guaranteeing a lifetime of 10 years remains a challenge as the cell and all system components are exposed to extremely high levels of thermal stress. The research team at IAM-WET is therefore developing experimentally validated models that can predict long-term stability and cell performance at both high temperatures and below 600 degrees. In doing so, the director of the institute, Professor Ivers-Tiffée, focuses less on “new” materials than on altered design, such as nanoscale electrode structures or chemical gradients in all layers that make up a cell. If it succeeds in significantly extending the life of the SOFC fuel cells, they are convinced that the fuel cells will play a decisive role in climate protection and in the switch to fluctuating, renewable energy sources. In addition, because the conversion of chemical to electrical energy into fuel cells is reversible, they could help solve the problem of power transport from offshore wind farms in the north to the south. You could use them to convert the wind power into hydrogen or natural gas, and transport those fuels virtually without losses in pipelines to the south. ■

Contact: ellen.ivers-tiffée@kit.edu and andre.weber@kit.edu

möglichst dünn machen. Hier müssen Schichtdicken von wenigen Mikrometern erreicht werden, also wesentlich dünner als ein menschliches Haar. Die mechanische Festigkeit ist hierbei eine große technologische Herausforderung für polykristalline oxidische Werkstoffe.

Und auch der Strukturaufbau der Elektroden bietet vielversprechende Möglichkeiten. Alle elektrochemischen Teilreaktionen finden entweder an Oberflächen oder an Phasengrenzen statt. Hier kann man das geometrische Design optimieren, beispielsweise durch Nanostrukturen, die möglichst große Oberflächen in einem porösen Körper bei gleichem Volumen ergeben. Oder man setzt gezielt chemische Gradienten in den Schichten einer Zelle ein, um Oberflächenreaktionen schneller ablaufen zu lassen. Eine Herausforderung bleibt aber immer die Stabilität. Die chemischen und strukturellen Eigenschaften dürfen sich über eine Betriebsdauer von fünf bis zehn Jahren nicht verändern.“

**lookKIT:** Für diese Suche nach einem optimalen Strukturdesign haben Sie ein digitales Simulationsmodell entwickelt. Welche Möglichkeiten bietet das?

**André Weber:** „Es geht dabei nicht um die Optimierung der Kristallstruktur, sondern um eine optimale Mikrostruktur von porösen Elektroden. Dort laufen verschiedene Transportprozesse ab: Transport in der Gasphase und Transport im ionenleitenden oder mischleitenden Kathoden-

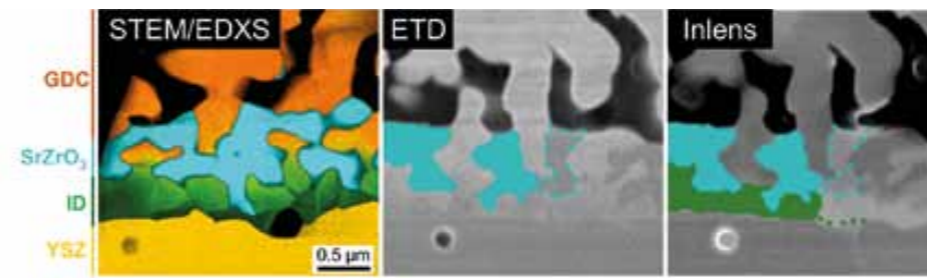


FOTO: ANDREA FABRY

material. Und man braucht geeignete Oberflächen, damit die Reaktion überhaupt schnell genug ablaufen kann. Entsprechend kann man die Mikrostruktur optimieren. Mit Experimenten wäre das sehr aufwendig. Im Rechner dagegen kann man das gut simulieren, indem man ein multiphysikalisches Modell aufbaut und dann für ganz unterschiedliche Strukturen die Transportprozesse und auch die entstehenden Verluste errechnet.“

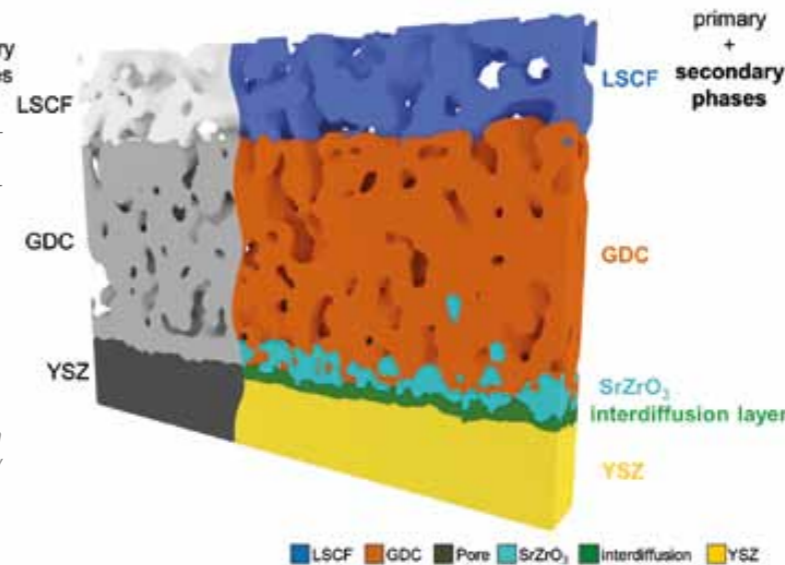
Einbau einer SOFC-Einzelzelle in den Teststand

Installation of a single SOFC cell in the test stand



Dreidimensionaler Strukturaufbau einer SOFC-Elektrode auf der Mikrometerskala: die komplexe chemische Zusammensetzung wurde am Laboratorium für Elektronenmikroskopie (LEM) mit hochauflösenden Methoden analysiert.

Three-dimensional structural design of a SOFC electrode on the micrometer scale: the complex chemical composition was analyzed at the laboratory for Electron Microscopy (LEM) with high-resolution methods  
Grafik: Institut



**Ellen Ivers-Tiffée:** „Mithilfe dieses experimentell verifizierten Simulationsmodells können wir Industriepartner beraten, welches Zelldesign bei welchen Temperaturen eine optimale Performance bei ausreichender Lebensdauer ermöglicht. Nehmen wir das Beispiel der Anode. Diese ist zusammengesetzt aus einem metallischen Katalysator, Nickel, und einem Ionenleiter, genauso wie der Elektrolyt selbst. Wenn man das System bei hohen Temperaturen betreiben würde, wäre die Wahl der Elektrodenstruktur wie auch die des Elektrolytmaterials eine ganz andere, als wenn man die gleiche Performance bei 600 Grad erreichen will. Wir können mit diesem Modellierungsansatz auf der Anode wie auch auf der Kathode berechnen, welche Phasenanteile, Korngrößen und Schichtdicken geeignet sind und vielleicht auch, ob irgendein Gradient in der chemischen Zusammensetzung sinnvoll wäre, um eine optimale Leistung zu erreichen. Das ist nicht nur für die Einzelzelle möglich, sondern auch für die Zusammenschaltung sehr vieler Zellen in sogenannten Stacks. Wir können das Verhalten der jeweiligen Zelle mit ihren Materialien und ihrem Design in diesen Stacks vorhersagen. Diese Modelle haben wir in den letzten 20 Jahren durch viele Experimente parametrisiert und validiert.“

**lookKIT:** Könnte man heute auf der Grundlage dieser Forschungen bereits eine Niedertemperatur-SOFC-Zelle bauen?

**Ellen Ivers-Tiffée:** „Wir machen das mit Helmholtz-Partnern zusammen. Wir kooperieren seit langem mit dem Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK) am Forschungszentrum Jülich. Bis heute ist allerdings Bedingung, dass der Betrieb dieser SOFC-Niedertemperaturzellen ausschließlich mit Wasserstoff erfolgt. Beim Einsatz von Kohlenwasserstoffen besteht bei niedrigen Temperaturen die Gefahr einer Aufkohlung an der Anode. Das ist durch das Boudouard-Gleichgewicht bedingt, weil das Verhältnis zwischen CO und CO<sub>2</sub> temperatur- und druckabhängig ist. Kohlenstoffablagerungen auf dem Nickel der Anode aber sind ähnlich schädlich wie die Ablagerung von CO auf dem Platin-Katalysator bei der Niedertemperatur-Brennstoffzelle.“

**lookKIT:** Die aktuellen Anwendungen reichen von der Strom- und Wärmeerzeugung im Haushalt bis zu kleinen und mittleren Kraftwerken für die Versorgung von Serverparks. Welche Rolle kann die stationäre Brennstoffzelle im Zusammenhang mit den fluktuierenden regenerativen Energiequellen Sonne und Wind spielen?

**Ellen Ivers-Tiffée:** „Brennstoffzellen haben den Vorteil, dass man chemische Energie sowohl emissionsfrei in elektrischen Strom umwandeln, als auch umgekehrt aus elektrischer Energie chemische Energie erzeugen kann. Es wäre also sinnvoll, Brennstoffzellen auch zu nutzen, um Wasserstoff zu erzeugen. Stationäre

re Brennstoffzellen wären somit ideal für die Kopplung mit Windenergie. Der erzeugte Strom könnte in Wasserstoff umgewandelt werden. Aus dem durch Windkraft und Brennstoffzellen erzeugten Wasserstoff könnte man dann beispielsweise Chemikalien herstellen oder ihn ins Gasnetz einspeisen. Dieses Power-to-Gas-Konzept würde einen großen Beitrag zur Lösung des Speicherproblems bei den regenerativen Energien leisten.“

**André Weber:** „Für eine dezentrale Erzeugung von Wasserstoff mit der Brennstoffzelle im Einfamilienhaus ist das benötigte System zu komplex. Das Power-to-Gas-Konzept macht erst Sinn im Bereich von einigen hundert Kilo- bis Megawatt. Für Offshore-Windparks in der Nordsee ist das sicher eine interessante Option.“

**lookKIT:** Wie steht es um den Einsatz der Brennstoffzelle beim Umstieg auf die Elektromobilität?

**Ellen Ivers-Tiffée:** „Gegenwärtig gibt es einen Konsens, dass man die Lithium-Ionen-Batterien schneller als die Brennstoffzellen weiterentwickeln kann, sodass sie in Bezug auf Schnellladefähigkeit, Energiedichte und Lebensdauer mit der Funktionalität herkömmlicher Verbrennungsfahrzeuge gleichziehen könnten. Aktuell sehe ich den Einsatz der Brennstoffzelle vor allem bei Bussen und LKWs. Der weltweit erste Wasserstoffzug mit einer Reichweite von 1 000 Kilometern wurde 2018 von Alstom und Siemens in Betrieb genommen. Im PKW-Bereich kann man die Brennstoffzelle mit Lithium-Ionen-Batterien kombinieren, wenn man lange Strecken ohne Aufladen umweltfreundlich zurücklegen will. Das Rennen zwischen Batterie und Brennstoffzelle im Mobilitätsbereich ist für mich noch nicht endgültig entschieden. Könnten wir umweltfreundlich erzeugten Wasserstoff unbeschränkt überall aus dem Zapfhahn beziehen, wäre die Brennstoffzelle unschlagbar: in der Mobilität, im Wohnbereich wie im mittleren industriellen Bereich bis zur Großchemie. So gesehen, bin ich überzeugt, dass das Wasserstoffzeitalter erst noch kommen wird, und dann wird die Brennstoffzelle in all ihren Varianten eine sehr prominente Rolle spielen.“ ■

Das Gespräch führte Dr. Stefan Fuchs.  
Kontakt: ellen.ivers-tiffée@kit.edu und andre.weber@kit.edu



# No Blackout

**RESILIENT RELIABLE POWER SUPPLY  
DESPITE RENEWABLE ENERGIES AND  
DECENTRALIZATION**

BY JUTTA WITTE // TRANSLATION: RALF FRIESE

Power supply is one of the most important of all critical infrastructures (CIs). Bottlenecks in this area affect all other CIs. The current transformation of the power supply system through expansion of renewable energies and increased decentralization, digitalization, and networking can result in malfunction and partial breakdowns affecting the whole system. To address power shortages in a flexible, finely tuned and, if possible, real-time mode, Dr. Sadeeb Simon Ottenburger, scientist at the Institute of Nuclear and Power Technologies (IKET) and Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM), advocates smart grid technologies.

“The smart grid offers a lot of potential to make power supply and infrastructures in cities and municipalities more resilient and, in this way, add to the continuity of supply,” explains the resilience researcher. However, resilience research faces major challenges in further development of intelli-

gent grids. Power generation and power supply are at present undergoing fundamental changes. Power supply systems are becoming more and more complex, with many technical components that must reliably work together. This has increased vulnerabilities to attacks and added to the potential of operational breakdowns. “As power supply is becoming more and more dependent on information and communication technologies, cyber attacks must increasingly be considered as causes of breakdowns, next to severe weather events or natural disasters,” says Wolfgang Rasch, Head of the IKET Working Group on Accident Consequences. In addition, more and more electricity from volatile sources, such as sun and wind, is being fed into the grid because of the energy transition. In Ottenburger’s expert assessment, it must also be assumed that the widespread use of new technologies, such as e-mobility, will raise power consumption in ways that could cause shortages or overload conditions.

Against this backdrop, resilience is a topic of increasing importance in energy research. In a technical context, it describes the robustness of a system and its ability to return quickly to 100% performance after a state of shock. “We are not talking here about single components, such as a power pole, which we want to make more robust,” emphasizes Ottenburger. Instead of prioritizing repair measures to protect individual infrastructures, he prefers new, smart distribution concepts to be initiated in situations critical for the power grid, which exceed the familiar possibilities of control technology and ensure electricity distribution without discrimination. “We must learn how to handle power shortage scenarios in a preventive, flexible and real-time way – irrespective of the causes.”

Present considerations of resilience, as a rule, are based on individual systems and infrastructures, respectively. For power supplies, this

means that these systems are returned to normal conditions as quickly as possible after a breakdown. However, no measures are taken automatically, given the many infrastructures that are dependent on electricity. In his approach, Ottenburger focuses on criticality. This describes the importance of a specific infrastructure, such as a hospital, in terms of the consequences its breakdown could have on the security of supply of the population. Ottenburger wants the criticality concept to be expanded and its scientific basis established so that criticality could be anchored and operationalized in an automated electricity management system. Under existing regulations, the new approach is not based on CIs only, but on all infrastructures. The expert therefore refers to “critical loads.” These loads can arise practically anywhere. This means that, for instance, the resilience assessment of a city or municipality includes not only the central hospital, but

## Kein Blackout

### Krisenfeste Stromversorgung trotz Erneuerbarer Energien und Dezentralisierung

Unter den kritischen Infrastrukturen (KRITIS) zählt die Energieversorgung zu den wichtigsten. Kommt es hier zu Engpässen hat dies Auswirkungen auf alle anderen KRITIS. Die aktuelle Transformation der Stromversorgung mit dem Ausbau Erneuerbarer Energien sowie einer zunehmenden Dezentralisierung, Digitalisierung und Vernetzung kann zu Störungen und Teilausfällen führen, die sich auf das Gesamtsystem auswirken. Um mit Strommangelzuständen flexibel, fein justiert und möglichst in Echtzeit umgehen zu können, setzt Dr. Sadeeb Simon Ottenburger, Wissenschaftler am Institut für Kern- und Energietechnik (IKET) und Center for Disaster Management and Risk Technology (CEDIM), auf Smart Grid-Technologien.

„Das Smart Grid bietet große Potenziale, um die Stromversorgung und Infrastrukturen in Städten und Kommunen widerstandsfähiger zu machen und damit die Versorgungssicherheit zu erhöhen“, erklärt der Resilienzforscher. Ebenso groß seien jedoch auch die Herausforderungen, vor denen die Resilienzforschung mit Blick auf die Weiterentwicklung der intelligenten Netze stehe. Denn die Stromerzeugung und -lieferung wandelt sich gerade grundlegend. Energieversorgungssysteme werden immer komplexer mit vielen technischen Komponenten, die zuverlässig zusammenspielen müssen. Damit vergrößert sich die Angriffsfläche und das Potenzial für Betriebsstörungen erhöht sich. Hinzu kommt, dass mit der Energiewende immer mehr Strom aus volatilen Erzeugern wie Sonne und Wind ins Netz eingespeist wird. Vor diesem Hintergrund gewinnt das Thema Resilienz in der Energieforschung immer größere Bedeutung. Im technischen Kontext beschreibt sie die Robustheit eines Systems und seine Fähigkeit, nach einem Schockzustand schnell wieder zu einer hundertprozentigen Performance zurück zu kommen.

Nach Ottenburgers Ansatz baut die Topologie auf „Microgrids“ auf, also vielen kleinen Versorgungsinseln, die voneinander unabhängig Strom zur Verfügung stellen können. So eine Topologie spielt bei der Entwicklung von Algorithmen für eine resiliente Stromverteilung eine wichtige Rolle. Spielraum bietet zum anderen die Konfiguration der für die Stromverteilung wichtigen Komponenten innerhalb eines Microgrids, also der Erzeuger und Speicher sowie der Komponenten des IKT-Netztes selbst. Den neuen Ansatz in ein Konzept zu gießen, ist jetzt Aufgabe der Grundlagenforschung. Hieran beteiligen sich neben dem IKET auch das Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation (IPD), das Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) sowie das Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI). ■

Kontakt: [ottenburger@kit.edu](mailto:ottenburger@kit.edu)

also the household of a patient undergoing dialysis at home who does not need much electricity, but reliable electricity in case of a power shortage.

The process could be as follows: ICT infrastructures collect the required data, e.g. the amount of electricity available, the maximum possible power consumption, actual power consumption at certain intervals, and the criticality value of a load. Smart meters communicate these data and how they change over time. In case of a power shortage, the algorithms would thus have all the information necessary for an equitable distribution of the current volume of elec-

tricity. This kind of “object-focused” load management could stabilize power supply during power shortages or during phases of extreme load demands, thus preventing blackout. However, this presupposes that smart grids become “even smarter.” Future load management would thus be significantly influenced not only by the further development of smart meters as central communication channels between suppliers and consumers, but also by all potential consumers being equipped with gateways.

Other important variables are grid topology and component configuration. In Ottenburger’s approach, topology is based on microgrids,



FOTO: AMADEUS BRAMSEPE

*Dr. Sadeeb Simon Ottenburger, Wissenschaftler am Institut für Kern- und Energietechnik (IKET) und Zentrum für Katastrophenschutz und Risikotechnologie (CEDIM), im Solar-Speicher-Park am Campus Nord des KIT*

*Dr. Sadeeb Simon Ottenburger, scientist at the Institute of Nuclear and Energy Technologies (IKET) and Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology in the Solar Power Storage Park on KIT Campus North*

i.e., many small islands of supply able to make electricity available independently. This kind of topology plays an important role in the development of algorithms for resilient power distribution. More room is offered also by the configuration of components important to power distribution within a microgrid, i.e. generators and stores as well as components of the ICT grid proper. Incorporating this new approach in one concept is now the focus of fundamental research. Participants in this effort, besides IKET, are the Institute for Program Structures

and Data Organization (IPD), the Institute for Industrial Production (IIP), and the Institute for Automation and Applied Informatics (IAI).

The topology of a smart grid, which is determined mainly by the decomposition into microgrids and the configuration of individual grids, is to become a variable in a simulation model and include the criticality of specific loads from the beginning. This allows analysis of a variety of failure scenarios for individual model cities or model regions, taking into ac-

count changing conditions. In a first step, scientists want "to model the world as accurately and realistically as possible." The results of the simulation studies could then become a tool in urban and grid planning. "We are opening up a new area of energy research at KIT, in this way intending to make a foresighted contribution towards strengthening the resilience of urban space as a whole." ■

Contact: [ottenburger@kit.edu](mailto:ottenburger@kit.edu)

ANZEIGE

**Master of Science Program  
Energy Engineering and Management**  
covers all aspects associated with the energy transition and provides skills to successfully face the challenges.


**Job-Accompanying  
Study!**

**... with  
international  
Module**

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

**Rolling Application Process  
Start in October 2019**

Quality of the KIT proven by current rankings:

 **Employability Ranking 2018**  
#30 #7 #1 **Worldwide Europe Germany**



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



FOTO: SANDRA GÖTTISHEIM

FOTO: LYDIA ALBRECHT

## KÖNNEN STRASSENBAHNEN ENERGIE SPEICHERN? CAN TRAMS STORE ENERGY?

VON SANDRA WIEBE // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

„Ja, das ist möglich“, sagt Philip Otto vom Institut für Fahrzeugsystemtechnik des KIT. „Es gibt allerdings nur wenige Fahrzeuge mit verbauten Energiespeichern.“ Als Technologien werden beispielsweise Kondensator- oder Batteriespeicher für mobile und auch Schwungradspeicher für die stationäre Anwendung verwendet. „Die jeweiligen Konzepte haben alle ihre Vor- und Nachteile und der Einsatz ist vom Einzelfall abhängig“, so Otto. „Deshalb arbeiten wir am Teilinstitut für Bahnsystemtechnik daran, für unterschiedliche Szenarien den möglichst idealen Energiespeicher zu finden.“ Dazu gehören auch Aspekte wie Wirtschaftlichkeit, Betriebsstrategien und neue Anwendungsfelder.

Grundsätzlich haben Straßen- und Stadtbahnen, vor allem beim Beschleunigen, einen hohen Leistungsbedarf. „Moderne Bahnen können einen Teil der kinetischen Energie beim Bremsen nutzen und sie beispielsweise für die Heizung oder Klimaanlage verwenden“, erklärt Otto. Sei der Bedarf im Fahrzeug gedeckt, werde versucht, die überschüssige Bremsenergie in das Oberleitungsnetz einzuspeisen. Das Netz könne diese allerdings nur aufnehmen, wenn sie in unmittelbarer Umgebung des bremsenden Fahrzeugs benötigt werde, ansonsten gehe sie verloren. „Energiespeicher können die ungenutzte Bremsenergie zwischenspeichern und somit die Energieeffizienz des gesamten Straßenbahnnetzes erhöhen“, sagt Otto. ■

Kontakt: [philip.otto@kit.edu](mailto:philip.otto@kit.edu)

“Yes, they can,” says Philip Otto of KIT’s Institute of Vehicle System Technology. “However, only a few vehicles have integrated energy storage systems.” Such systems include capacitor or battery storage systems for mobile applications as well as flywheel accumulators for stationary use. “All of these concepts have advantages and drawbacks, so choosing one depends on individual circumstances,” Otto adds. “Hence, the Railway System Technology Group works on identifying ideal energy storage systems for different scenarios.” Such aspects as economic efficiency, operational strategies, and new applications have to be considered.

In general, trams and suburban railways have a high power consumption, particularly during acceleration. “During deceleration, modern trams can use part of the kinetic energy for heating or air conditioning,” Otto explains. As soon as the power consumption of the vehicle is satisfied, excessive braking energy can be fed into the overhead line. However, the grid can only receive energy if it can be used in the vicinity of the decelerating vehicle. Otherwise, it is lost. “Energy storage systems can temporarily store unused braking energy and, thus, increase the energy efficiency of the tram network,” Otto says. ■

Contact: [philip.otto@kit.edu](mailto:philip.otto@kit.edu)



Dr. Leonid Stoppel (kleines Foto rechts) und Dennis Otte vom Karlsruher Flüssigmetalllabor. Der Versuchsreaktor zur Methanspaltung (kleines Foto links) ist Teil des Flüssigmetalllabors

Dr. Leonid Stoppel (small photo on the right) and Dennis Otte from the Karlsruhe Liquid Metal Laboratory. The experimental reactor for methane cleavage (small photo on the left) is part of the Liquid Metal Laboratory

FOTOS: AMADEUS BRÄMSIEPE

# Alleskönner

## METALLSCHMELZEN ERMÖGLICHEN KLIMAFREUNDLICHE ENERGIETECHNOLOGIEN

VON DR. MARTIN HEIDELBERGER

Menschen schmelzen Metalle – und das seit tausenden von Jahren. Vielleicht experimentierten sie zunächst einfach aus Neugierde und Faszination. Doch schon früh haben wir gelernt, nützliche Gegenstände aus der Schmelze zu formen. Von einfachen Werkzeugen aus Kupfer oder Bronze bis hin zu Brücken und Schienen aus hartem Stahl war die technologische Entwicklung danach oft erstaunlich eng mit metallurgischen Fähigkeiten verknüpft. Auch heute entdecken wir noch gänzlich neuartige Anwendungsmöglichkeiten für Metalle, darunter einige vielversprechende Flüssigmetalltechnologien, von denen hier die Rede sein soll. Dabei werden die geschmolzenen Metalle selbst zu Werkzeugen. Forscherinnen und Forscher aus dem KIT und Partnerinstitutionen wollen sie nutzen, um zur

Lösung der vielleicht wichtigsten technologischen Herausforderung unserer Zeit beizutragen: dem klimafreundlichen Umbau unseres Energiesystems.

„Metallschmelzen haben ausgezeichnete thermische Eigenschaften. Sie können Wärme sehr gut aufnehmen, transportieren und speichern“, sagt Dr. Alfons Weisenburger, der Koordinator der Liquid Metal Competence Platform Karlsruhe (LIMCKA). „Aufgrund dieser Eigenschaften können wir sie für eine ganze Reihe klimafreundlicher Energietechnologien einsetzen.“ Um deren Entwicklung voranzubringen, hat das KIT nun die Kompetenzplattform LIMCKA geschaffen, in der mehrere Institute und Labore ihre Expertise bündeln. Geforscht wird etwa an

thermischen Speichern im Kraftwerksmaßstab, an besonders effektiven Sonnenwärmekraftwerken oder an einem innovativen Prozessweg zur Produktion von klimaneutralem Wasserstoff. „Bei einer zügigen Umsetzung könnten uns Flüssigmetalltechnologien dabei helfen, die heute so dringend notwendige Dekarbonisierung des Energiesystems zu beschleunigen“, so Weisenburger.

Dass eine zügige Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen notwendig ist, hat der aktuelle Sonderbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zum Klimawandel zuletzt mehr als deutlich gemacht. Nur wenn der Menschheit die rasche Umsetzung von beispiellosen Veränderungen in allen Bereichen der Ge-

sellschaft gelingt, dann ließen sich, nach Erkenntnissen der am IPCC-Bericht beteiligten Klimaforscherinnen und Klimaforscher, katastrophale Folgen der Erderwärmung vielleicht noch abwenden. Entscheidend für einen Erfolg dieser Bemühungen seien die nächsten Jahre. Dabei wird ein zügiger Kohleausstieg als wichtige Voraussetzung für eine Begrenzung der Folgen des Klimawandels benannt. Allerdings tragen Kohlekraftwerke aktuell noch zur Netzstabilität bei einer zunehmend volatilen Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien bei. Die mögliche Lösung: Kohlekraftwerke ließen sich – bei Weiterverwendung der vorhandenen Turbinen, Generatoren und Netzanbindung – in thermische Energiespeicherkraftwerke umrüsten. „Das Kernelement einer solchen Anlage, der thermische Speicher, aber auch die Rückverstromung, könnten mit flüssigen Metallen besonders effizient betrieben werden“, erläutert Dr. Julio Pacio vom Karlsruher Flüssigmetalllabor KALLA des KIT, das sich an LIMCKA beteiligt. Gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) arbeitet das KIT zurzeit am Aufbau einer gemeinsamen Forschungsinfrastruktur, dem Nationalen Demonstrator für Isentrope Energiespeicher (NADINE), mithilfe derer verschiedene Energiespeicher mit großer Kapazität entwickelt werden.

Im Diskurs um den Klimaschutz werden Gaskraftwerke im Gegensatz zu Kohlekraftwerken argumentativ oft als eine Art saubere Alternative verortet. Doch auch das hauptsächlich aus Methan bestehende fossile Erdgas erzeugt bei der Verbrennung klimaschädliche CO<sub>2</sub>-Emissionen. Den Flüssigmetallforscherinnen und -forschern des KIT ist es gemeinsam mit Kooperationspartnern am Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) in Potsdam gelungen, einen innovativen Weg zur klimaneutralen Nutzung von Erdgas aufzuzeigen: „Wir nutzen die Flüssigmetalltechnologie, um das Methan in gasförmigen Wasserstoff und festen, elementaren Kohlenstoff zu trennen“, sagt Professor Thomas Wetzel vom Institut für Thermische Verfahrenstechnik des KIT. Bei dem Pyrolyseverfahren wird das Methan von unten in eine auf bis zu 1 200 Grad Celsius gehaltene Säule aus flüssigem Zinn kontinuierlich eingebracht und steigt darin als Blasenschwamm auf. Dabei erreicht das Gas in den Blasen die für die Spaltung notwendige Temperatur und zerfällt. An der Oberfläche des flüssigen Zinns entweicht dann der gasförmige Wasserstoff und der pulverförmige Kohlenstoff kann entfernt werden. „Im Labormaßstab konnten wir den kontinuierlichen Betrieb bei einer Umwandlungsrate von bis zu 78 Prozent nachweisen“, berichtet Wetzel. Das neue Verfahren



Flüssigmetall-Experte Professor Thomas Wetzel vor einem Spiegel der Pilotanlage SOMMER, einem konzentrierenden solarthermischen Kraftwerk

Liquid metal expert Professor Thomas Wetzel in front of a mirror of the SOMMER pilot plant, a concentrating solar thermal power plant



FOTOS: PATRICK LANGER

FOTO: KARSTEN LIFTIN

Dr. Alfons Weisenburger,  
Koordinator der Liquid Metal  
Competence Platform Karlsruhe

Dr. Alfons Weisenburger,  
Coordinator of the Liquid Metal  
Competence Platform Karlsruhe



hat 2018 den Innovationspreis der Deutschen Gaswirtschaft gewonnen und wird zurzeit mit Partnern aus der Industrie vom Labor in die Anwendung überführt.

Flexibilität im Energienetz und neue Prozesswege sind wichtige Stellschrauben der Energiewende. Nach Angaben der Internationalen Energieagentur (IEA) stammt aber bislang nur etwa ein Viertel des weltweit erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien. Weiterhin ist also deren massiver Ausbau notwendig, um die Dekarbonisierung zu realisieren. Eine besonders für sonnige Standorte geeignete Technologie zur Produktion von klimaneutralem Strom ist Concentrated solar power (CSP), mit der sich große und laststabile Kraftwerke realisieren lassen. In CSP-Kraftwerken wird Sonnenlicht mithilfe von Spiegeln auf einen Absorber konzentriert, einer Vorrichtung in der sich ein Wärmeträgerfluid durch das konzentrierte Licht erhitzt. Die Wärme kann dann sofort über einen klassischen Kraftwerksprozess in Strom gewandelt oder preiswert zwischengespeichert und während sonnenarmer Tage oder während der Nacht bedarfsgerecht verstromt werden. Heute arbeiten viele CSP-Kraftwerke mit Salzschmelzen als Wärmespeicher. Verwendet man stattdessen Flüssigmetalle, um die Sonnenwärme aufzunehmen, zwischenzuspeichern und in den Dampfkraftprozess zu transportieren, dann lässt sich die Wirtschaftlichkeit von CSP-Kraftwerken erheblich steigern. „Mit höheren Fluidtemperaturen erreichen wir einen höheren Um-

## The All-rounder Liquid Metal

### Metal Melts Enable Climate-friendly Energy Technologies

TRANSLATION: HEIDI KNIERIM

Whether applied in thermal energy storage, used for emission-free production of hydrogen, or incorporated into innovative large-scale solar power plants, liquid metal technologies can accelerate the decarbonization of the energy system. At KIT, such applications are being developed in various research projects.

The Liquid Metal Competence Platform Karlsruhe (LIMCKA), in which several KIT institutes and laboratories pool their expertise, combines new approaches and many years of experience. "Metal melts have excellent thermal properties. They can absorb, transport, and store heat very well. This makes them suitable for a whole range of novel climate-friendly energy technologies," says Dr. Alfons Weisenburger, coordinator of LIMCKA. Research is being conducted, for example, on thermal storage on a power plant scale, on particularly effective solar thermal power plants, and on an innovative process for the production of climate-neutral hydrogen. This also involves converting coal-fired power plants into thermal energy storage power plants, while continuing to use existing turbines, generators, and grid connections. "The core element of such a plant, the thermal storage, as well as power re-conversion, could be operated particularly efficiently with liquid metals," explains Dr. Julio Pacio from the Karlsruhe Liquid Metal Laboratory KALLA, which is a participant in LIMCKA.

In another research project, scientists at KIT and the Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) in Potsdam have succeeded in making natural gas climate-neutral: "We use liquid metal technology to separate methane into gaseous hydrogen and solid elemental carbon," says Professor Thomas Wetzel from the Institute of Thermal Process Engineering at KIT. In the pyrolysis process, the methane is continuously introduced from below into a column of liquid tin maintained at up to 1,200 degrees Celsius, where it rises as a swarm of bubbles. The gas in the bubbles reaches the temperature required for splitting and decomposes. The gaseous hydrogen then escapes at the surface of the liquid tin and the powdery carbon can be removed.

Another application for liquid metals is conceivable in Concentrated Solar Power (CSP) technology. In CSP plants, sunlight is concentrated with mirrors on an absorber, i.e., a device in which a heat transfer fluid is heated by the concentrated light. The heat can then immediately be converted into electricity via a classic power plant process or temporarily stored at reasonable cost and converted into electricity during days with little sunshine or at night. Liquid metals can be used to increase the economic efficiency of CSP power plants compared with the current technology, which is based on molten salt. ■

Info and Contact: <http://limcka.forschung.kit.edu>

wandlungswirkungsgrad im Kraftwerksprozess und durch die hervorragenden Wärmetransportigenschaften sind unsere Absorber bei gleicher Leistung nur halb so groß", sagt Professor Robert Stieglitz vom Institut für Angewandte Thermofluidik des KIT, der an der Entwicklung beteiligt ist.

Bereits heute wird im Rahmen von LIMCKA auch schon an den Flüssigmetalltechnologien der nächsten Generation gearbeitet: Etwa an einem innovativen Direktwandler auf Natriumbasis, sogenannten Alkali-Metal-Thermal-Electric-Converter-Zellen (AMTEC-Zellen) mit denen Wärme in Sonnenkraftwerken oder aus thermi-

schen Speichern zukünftig auf elektrochemischem Weg direkt in Elektrizität gewandelt werden kann. „Wir haben einen entsprechenden Prototyp bereits erfolgreich im Labormaßstab realisiert und betrieben“, berichtet Dr. Wolfgang Hering vom Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik des KIT. Zukünftig soll auch die direkte Speicherung elektrischer Energie in Flüssigmetallbatterien möglich werden. Diese besonders günstigen und in ihrer Größe fast frei skalierbaren Energiespeicher funktionieren wie herkömmliche Batterien – mit dem Unterschied, dass als Kathode ein flüssiges Metall und als Anode eine flüssige Metalllegierung zum Einsatz kommen.

Ermöglicht werden die beschriebenen Flüssigmetalltechnologien durch transdisziplinäres Denken und die Anwendung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse. LIMCKA vereint dabei die Expertisen von Forscherinnen und Forschern aus der Thermofluidynamik, den Materialwissenschaften und der Prozesstechnik mit der jahrelangen Erfahrung von Ingenieurinnen und Ingenieuren im Bau und Betrieb großer Flüssigmetall-Versuchsanlagen. Eines verbindet ihre Arbeit dabei aber nach wie vor mit den ersten Menschen, die mit Metallen experimentierten: Die Faszination und Neugierde für die Möglichkeiten von geschmolzenem Metall. ■  
Info und Kontakt: <http://limcka.forschung.kit.edu>

ANZEIGE

## Mission Energiewende: Wege entstehen, indem man sie geht.



Gemeinsam mit unseren Kunden der Energiewirtschaft realisieren wir maßgeschneiderte Softwarelösungen, die Daten und Prozesse integrieren und Mehrwert schaffen.

„Die Energiewende geht unweigerlich mit einer Digitalisierung des gesamten Energiesektors einher.

Diese Erkenntnis gewann ich durch mein Studium am KIT und sie wird durch aktuelle Forschungsprojekte des KIT bekräftigt. Während meiner Masterarbeit hatte ich die Chance, mir ein Bild von Seven2one zu machen. Ein Softwareanbieter, der genau dieses Ziel verfolgt: Geschäftsprozesse in der Energiewirtschaft zu digitalisieren und seine Kunden zu Vorreitern in der Energiewende zu machen. Als Projektleiter bei Seven2one arbeite ich heute aktiv an der praktischen Umsetzung wegweisender Ideen: integrierte Versorgungskonzepte für smarte Quartiere, Steuerung virtueller Kraftwerke, Lösungen für das Smart Grid und die Integration der Elektromobilität.“



Florian Wellmann

Wollen Sie mehr über die Herausforderungen der Quartiersentwicklung erfahren?  
Hier geht es zum Interview mit unserem Kollegen Florian: [www.seven2one.de/florian](http://www.seven2one.de/florian)



FOTOS: AMADEUS BRAMSTIEPE



Brunnenschächte eines Aquiferspeichers auf dem Campus der TU Eindhoven

Well shafts of an aquifer reservoir on the campus of TU Eindhoven



FOTOS: INSTITUT



FOTO: JANA MAYER



FOTO: PRIVAT

## ENERGIESPARENDE ALTERNATIVE ZUR KLIMAAANLAGE

VON SANDRA WIEBE

# Energie in der Tiefe speichern

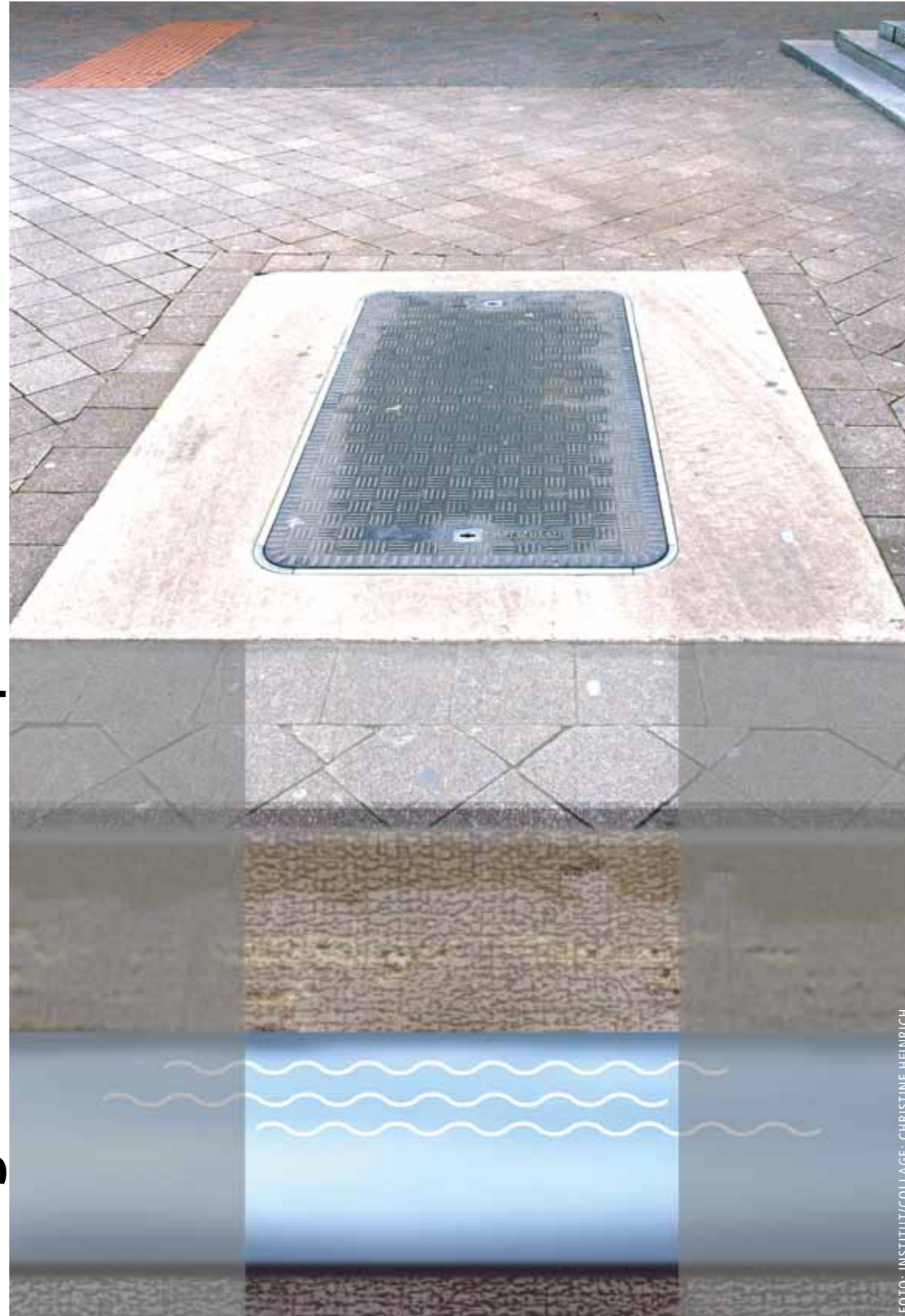


FOTO: INSTITUT/COLLAGE: CHRISTINE HEINRICH

Die Kellerräume eines Schwimmbads in Hockenheim sind ganzjährig auf 30 Grad Celsius aufgeheizt.

Ziel ist, die überschüssige Wärme zwischenspeichern, um sie dann im Winter zu nutzen

The cellar rooms of a swimming pool in Hockenheim are heated to 30 degrees Celsius all year round.

The aim is to store the excess heat for use in winter

Der Sommer 2018 hat uns gezeigt: 36 Grad und es wird noch heißer. Wem es nach Abkühlung dürstet, greift gerne auf eine Klimaanlage zurück. So erhalten diese wegen der immer länger andauernden Hitze und der steigenden Temperaturen immer häufiger Einzug in Wohnungen, Büros oder Hotels. Allerdings sind die Geräte nicht nur teuer, auch die Umweltbelastung ist groß: Indirekte CO<sub>2</sub>- und Kältemittelmissionen verstärken den Treibhauseffekt. Aber nicht nur Klimaanlagen gegen die extreme Hitze belasten die Umwelt, auch Temperaturen bis zu minus 40 Grad wie in diesem Winter in den USA fordern jede Menge Energie, um Gebäude zu heizen.

Eine energiesparende und umweltfreundliche Alternative könnten in Zukunft Aquiferspeicher sein: Sie können sowohl Wärme als auch Kälte in großen Mengen zwischenspeichern, um sie zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Aquifere sind natürlich vorkommende Grundwasserschichten, in denen das Wasser gar nicht oder nur langsam fließt. So wird keine Wärme – oder Kälte – abtransportiert. Das umgebende Gestein wirkt dabei isolierend. Erst Bohrungen können diese Schichten im Untergrund erschließen, um das Grundwasser als thermischen Speicher zu nutzen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT analysieren in dem Projekt GeoSpeicher.bw diese Alternative zu Klimaanlagen. „Das Speichern von sommerlicher Wärme oder der Abwärme von Industrieanlagen in unterirdischen, wasserführenden Schichten ist in den Niederlanden weit verbreitet – an über 2 800 Standorten gibt es diese Technologie bereits“, sagt Professor Philipp Blum vom Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW) des KIT und Koordinator des Forschungsvorhabens. „In Deutschland gibt es bisher nur vier Standorte mit geothermischer Energiespeicherung in Grundwasserleitern, obwohl sich zahlreiche Regionen aufgrund ihrer geologischen Bodenverhältnisse

## Storing Energy in the Depths Cooling and Heating with Groundwater

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

The summer of 2018 demonstrated that temperatures may rise up to 36 degrees or even more. Whoever needed cooling used an air conditioning system. However, these devices are not only expensive, but also pollute the environment. Indirect CO<sub>2</sub> and refrigerant emissions reinforce the greenhouse effect. But it's not just air conditioning systems that pollute the environment. When temperatures reach down to -40 degrees as occurred in the US this winter, heating buildings can cause high energy consumption.

Aquifer storage systems might be an energy-saving and environmentally compatible alternative in future. They can temporarily store large amounts of heat and cold and make them available again later on. Aquifers are natural groundwater layers with little, if any flow. Heat and cold thus can be stored there. The surrounding rocks have an insulating effect.

As part of the GeoSpeicher.bw collaboration project, scientists of KIT's Institute of Applied Geosciences (AGW) are analyzing this alternative to air conditioning. "Within the framework of the project, we assess various locations for their geothermal heat storage capacity, such as the cold and heat supply for the municipal hospital in Karlsruhe," project coordinator Blum says. Blum and his team also plan to build a demonstration plant on KIT's Campus North. The approval and decision procedures are under way. Due to their large capacities, aquifer thermal energy storage (ATES) systems are mainly suited for large buildings, such as museums, universities, hospitals or office blocks. However, they can also be used for large settlements or hotels. Payback times of such ATES systems are low typically ranging between two and eight years.

"The project also covers optimization of existing systems. For this, we have to consider the constantly changing boundary conditions. The climate is changing very strongly. In March, rooms no longer have to be heated, but have to be cooled more often. Studies showed that energy consumption by air conditioning systems will increase by a factor of 33 by 2100," says Paul Fleuchhaus, doctoral researcher at AGW.

Within the GeoSpeicher.bw project, researchers of KIT and of the universities of Heidelberg, Stuttgart, Biberach, and Offenburg closely cooperate with experts from the municipal utility companies of Hockenheim, Biberach, Überlingen, Bad Waldsee, and Stuttgart. ■

Contact: blum@kit.edu

Professor Philipp Blum vom Institut für Angewandte Geowissenschaften des KIT und Koordinator des Forschungsvorhabens GeoSpeicher.bw

Professor Philipp Blum of the Institute of Applied Geosciences of KIT and coordinator of the research project GeoSpeicher.bw

Paul Fleuchaus bewertet im Projekt GeoSpeicher.bw verschiedene Standorte auf ihr Potenzial der geothermischen Wärmespeicherung

In the project GeoSpeicher.bw, Paul Fleuchaus evaluates various locations for their potential for geothermal heat storage

dafür gut eignen.“ Ein prominentes Beispiel sei das Reichstagsgebäude in Berlin, welches über mehrere Aquiferspeicher mit Wärme im Winter und Kälte im Sommer versorgt werde.

„Wir bewerten in dem Projekt verschiedene Standorte auf ihr Potenzial der geothermischen Wärmespeicherung – dazu gehören beispielsweise die Kälte- und Wärmeversorgung des städtischen Klinikums in Karlsruhe“, so Blum. „Aßerdem entwickeln wir ein maßgeschneidertes und innovatives Monitoring- und Speicherkonzept für ein großes Schwimm- und Erlebnisbad in Hockenheim. Die Kellerräume sind hier aufgrund des Wärmenetzes sowie der Abwärme technischer Anlagen ganzjährig auf über 30 Grad Celsius aufgeheizt. Diese überschüssige Wärme soll während der Sommermonate in einem Grundwasserleiter gespeichert werden, um sie dann im Winter zu nutzen.“ Auch für den Campus Nord des KIT haben Blum und sein Team eine entsprechende Pilotanlage geplant, die Genehmigungs- und Entscheidungsprozesse laufen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben berechnet, dass sich die meisten Anlagen bereits nach zwei bis acht Jahren amortisiert haben.



FOTO: MARKUS BREIG

Am Campus Nord des KIT soll eine Pilotanlage installiert werden

KIT is planning to install a demonstration system on Campus North

Aufgrund der großen Kapazität eignen sich Aquiferspeicher nach Einschätzung der Forscher aus wirtschaftlicher Sicht vor allem für große Gebäude wie Museen, Universitäten, Krankenhäuser oder Büros. Aber auch für zusammenhängend geplante Wohnsiedlungen oder Hotels kommen sie in Frage. Deshalb evaluieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von GeoSpeicher.bw die Effektivität einer aquifergebundenen Geothermieanlagen in Europa. Seit 2009 versorgt ein unterirdischer Aquiferspeicher ein Hotel und zwei Bürokomplexe am „Bonner Bogen“ – einem neu entwickelten, gewerblich

Bohrung für den Grundwasserbrunnen am Schwimmbad in Hockenheim

Drilling for the groundwater well at the swimming pool in Hockenheim



FOTO: INSTITUT

Der Aquiferspeicher am „Bonner Bogen“ übernimmt bis zu 80 Prozent der Wärme- und Kälteversorgung von drei Gebäuden

The aquifer storage facility at the „Bonner Bogen“ takes over up to 80 percent of the heating and cooling supply of three buildings



FOTO: INSTITUT

genutzten Areal am Rheinufer in Bonn – umweltschonend mit Kälte im Sommer und Wärme im Winter. Die Anlage übernimmt bis zu 80 Prozent der Wärme- und Kälteversorgung der Gebäude mit einer Gesamtfläche von rund 60.000 Quadratmetern. Gegenüber einer konventionellen Energieversorgung spart diese Geothermieanlage jährlich rund 1700 Megawattstunden Energie und damit 400 Tonnen CO<sub>2</sub> ein. „Wir können hier für unsere wissenschaftliche Analyse auf Daten aus knapp zehn Jahren zugreifen und zahlreiche Aspekte von der Energieeffizienz bis hin zur Gebäudetechnik betrachten“, sagt Paul Fleuchaus, Doktorand am AGW und Betreuer des Teilprojektes. „Um das System zu optimieren, müssen wir die sich verändernden Randbedingungen betrachten. Das Klima verändert sich inzwischen sehr stark. Oft müssen die Räume deshalb schon im März gekühlt anstatt geheizt werden. Studien haben gezeigt, dass der Energiebedarf für Klimaanlagen bis zum Jahr 2100 um das 33-fache ansteigt.“

Um Alternativen aufzuzeigen, werden die technischen Analysen von Studien zur öffentlichen Akzeptanz und der aktuellen Gesetzeslage begleitet. „Am Beispiel der Niederlande haben wir festgestellt, dass eine enge Zusammenarbeit zwischen Behörden, Wissenschaftlern, der Öffentlichkeit sowie Anbietern zukunftsweisender Energietechnik extrem wichtig ist“, so Fleuchaus. Im Verbundprojekt GeoSpeicher.bw arbeiten deshalb die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT, der Universitäten Heidelberg und Stuttgart sowie der Hochschulen Biberach und Offenburg eng mit Fachleuten der Stadtwerke Hockenheim, Biberach, Überlingen, Bad Waldsee und Stuttgart zusammen.

Das Projekt umfasst neben innovativen Monitoring- und Speicherkonzepten, detaillierten Wärmetransportmodellen, Untersuchungen zur Hydrogeochemie und weitreichenden System- und Optimierungsanalysen auch maßgeschneiderte Kommunikationsstrategien und regelmäßige Workshops, Tagungen und Fortbildungen. Die Expertinnen und Experten untersuchen zudem weitere Möglichkeiten der Wärme- und Kältespeicherung, beispielsweise mithilfe von neu gebauten Straßen- und Eisenbahntunneln. ■

Kontakt: blum@kit.edu, paul.fleuchaus@kit.edu



FOTO: FLORIAN KARG/RALE DIEHM

## KLARE KANTE FÜR DIE BATTERIE

NEUE DÜSE ERLAUBT DIE SCHNELLE BESCHICHTUNG VON ELEKTRODEN

## PRECISE EDGES IN BATTERY PRODUCTION

NEW NOZZLE FOR FAST COATING OF ELECTRODES

VON KOSTA SCHINARAKIS // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Sinnvolle Anwendungen für große Batterien gibt es genug: die Reichweite des Elektroautos steigern, mehr Solarstrom selber nutzen oder im Stromnetz Energie puffern. Doch noch steht der Preis für den Speicher dem wirtschaftlichen Einsatz im Wege. „Die Herstellung einer Batterie erfordert viele Arbeitsschritte vom Materialpulver bis zur anschlussfähigen Zelle“, erklärt Ralf Diehm aus der Arbeitsgruppe Thin Film Technology des KIT. „Doch die sogenannte Elektrodenfolie spielt eine entscheidende Rolle, denn ihre Beschichtung ermöglicht das optimale Einlagern und Abgeben der energietragenden Lithium-Ionen. Bisher nimmt der Beschichtungsprozess dieser Folien viel Zeit in Anspruch und treibt die Herstellungskosten nach oben.“ Mit einem innovativen Kniff schafft es die Arbeitsgruppe von Professor Wilhelm Schabel und Dr. Philip Scharfer, mehr Folie in weniger Zeit bei besserer Qualität zu beschichten.

Das Elektrodenmaterial wird als dünne Paste auf eine Folie aus Kupfer oder Aluminium aufgetragen. Allerdings nicht kontinuierlich. Für die spätere Funktion ist es entscheidend, dass zwischen zwei Elektrodenflächen eine definierte Lücke bleibt. „Die Folie rast mit bis zu 100 Metern in der Minute vorbei und wir schaffen es, 1 000 Elektrodenmuster hochpräzise aufzutragen.“ Dazu entwickelte Diehm eine neuartige Düse, die mit einer speziellen Membran ausgestattet ist. Diese ist in der Lage, die Beschichtung abrupt zu unterbrechen und dabei sehr präzise Stoppkanten in der Beschichtung zu modellieren. Auf der diesjährigen Hannover Messe stellt die Arbeitsgruppe die Technologie unter dem Namen FlexDie auf dem Stand des KIT vor. Im Rahmen einer Ausgründung soll die Technologie den Weg in die Produktion finden und Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Zellfertigung zur Verfügung gestellt werden. ■

Kontakt: ralf.diehm@kit.edu

Large batteries are used for many purposes, such as increasing the range of electric vehicles, using more solar electricity, or buffering energy in the power grid. But the cost of batteries has prevented economically efficient applications. „Manufacture of a battery requires many working steps from the powder to cell connection,“ says Ralf Diehm of the Thin Film Technology Group of KIT. „But the so-called electrode foil plays a decisive role, because its coating ensures that energy-carrying lithium ions can be stored and released again. This foil coating process takes a long time and thus has driven up manufacturing costs.“ With an innovative trick, the group of Professor Wilhelm Schabel and Dr. Philip Scharfer now is able to coat more foil in shorter time with better quality.

The electrode material is applied as a thin paste to a copper or aluminum foil. This process is intermittent. A defined gap has to be maintained between two electrode areas for the finished electrode to function. „The foil comes with a speed of up to 100 meters per minute and we succeed in applying 1000 electrode patterns with a high precision.“ For this purpose, Diehm developed a new type of nozzle that is equipped with a special membrane. It can suddenly interrupt coating and produce very precise stop edges. At this year’s Hannover Messe, this technology, named FlexDie, will be presented at KIT’s stand. A startup is being planned to enable commercialization and to make the technology available to mechanical and plant engineering as well as cell production companies. ■

Contact: ralf.diehm@kit.edu



GEMEINSCHAFTSPROJEKT  
UNTERSUCHT NUTZER-  
VERHALTEN IN  
BÜROGEBÄUDEN, UM  
DIE ZUFRIEDENHEIT  
ZU STEIGERN

VON GEREON WIESEHÖFER



FOTOS: AMADEUS BRAMSIEPE

# Licht an? Fenster auf?

Die beiden Fragen, die das Verbundprojekt ValMoNul beantworten soll, erscheinen auf den ersten Blick simpel: Bei welchem Raumklima fühlt ein Mensch sich im Büro am wohlsten? Und wie können diese Bedingungen mit einem möglichst geringen Energieaufwand gewährleistet werden? Doch je genauer die Wissenschaft hinschaut, desto komplexer wird die Aufgabenstellung – so komplex, dass neben dem Institut für Entwerfen und Bautechnik (IEB) des KIT auch zwei Lehrstühle der RWTH Aachen, das Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) in Holzkirchen und die Gruppe Gebäudeautomation des Forschungszentrums Ladenburg der ABB AG daran beteiligt sind.

Im Juni 2015 wurde das Verbundprojekt „Validierung und Modellierung von Nutzerinteraktionen und deren algorithmische Implementierung in der Gebäudeautomation“ (kurz: ValMoNul) gestartet. „Wir haben große Datenmengen in diversen Versuchsreihen erhoben. In diesem Sommer können wir das Projekt abschließen“, so Dr. Marcel Schweiker vom Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau (IEB/FBTA) am KIT, das von Professor Andreas Wagner geleitet wird. Bei Schweiker laufen die Projektfäden zusammen, denn er ist der Verbundkoordinator von ValMoNul.

„Ausgangspunkt für das Projekt war die große Diskrepanz, die wir häufig zwischen dem prog-

nostizierten Energiebedarf und dem tatsächlichen Energieverbrauch von Bürogebäuden feststellen“, erinnert sich Schweiker an die Anfänge des Projektes, das über den zwischenzeitlich abgelaufenen IEA-EBC Annex 66 auch international vernetzt ist. „Ursache ist meist eine fehlerhafte Simulation des Nutzerverhaltens, das eine sehr entscheidende Rolle für den Energiebedarf eines Gebäudes spielt.“ Der Fokus des KIT beim laufenden Projekt liegt dabei auf dem individuellen Nutzerverhalten als Reaktion auf thermische und visuelle Einflüsse.

Die Versuchsreihen der Karlsruher Projektgruppe, neben Marcel Schweiker bestehend aus

## Rollos runter?

Cornelia Moosmann, Sabine Lechner, Tuğçin Kirant und Andreas Wagner, fanden im LOBST-ER statt, dem einzigartigen Laboratory for Occupant Behaviour, Satisfaction, Thermal Comfort and Environmental Research, das wie vom Himmel direkt auf den Campus West des KIT gefallen zu sein scheint. Im Inneren der dunkelgrauen Box befinden sich zwei Testbüros mit je zwei Arbeitsplätzen, ausgerüstet mit jeder Menge Technik und Sensorik. Über Kapillarrohrmatten, die sich hinter dem Putz befinden, können die Räume exakt temperiert, über ein ausgeklügeltes Kunstlicht- und Sonnenschutzsystem die Lichtmenge und -verteilung eingestellt werden.

Die Testpersonen verbrachten zu jeder Jahreszeit jeweils vier ganze Arbeitstage in den LOBST-ER Büros. Im Laufe von zwei Jahren kamen so insgesamt knapp 1 000 Sitzungen von 60 Probanden zusammen. Bei den Versuchsreihen waren jeweils bestimmte Parameter vorgegeben (zum Beispiel die Raumtemperatur), andere konnten von den Testpersonen beeinflusst werden. Erfasst wurden unter anderem die Parameter Temperatur, Feuchte, Luftgeschwindigkeit, Beleuchtung und Leuchtdichte. Von den Probandinnen und Probanden wurden permanent Hauttemperatur, Hautleitfähigkeit und Herzfrequenz gemessen.

Zudem interessierte sich die Forschungsgruppe für das individuelle Nutzerverhalten: Wann und wie lange wurden die Fenster geöffnet, der Sonnenschutz betätigt, die Heizung oder Kühlung geregelt, das Licht ein- oder ausgeschaltet? Welche Kleidung wurde getragen oder gewechselt?

*Unter anderem werden  
Hauttemperatur und  
Hautleitfähigkeit der Test-  
personen erfasst*

*Among other things, the skin  
temperature and skin conductance  
level of the subjects are recorded*





Im Vorfeld und vor Ende einer jeden Sitzung wurden in einem Fragebogen subjektive Bewertungen vorgenommen und neben der Gesamtzufriedenheit auch die thermische und visuelle erfasst – ein wichtiger Wert, um die ganze Spanne des Wohlfühlbereichs zu ermitteln und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Parametern zu finden.

„Wir haben noch nicht alle Daten ausgewertet, können aber schon einige interessante Korrelationen quantitativ beschreiben: Dass zum Beispiel allein die Möglichkeit, das Raumklima selber regulieren zu können, zu einer höheren Zufriedenheit führt – ganz egal, ob man davon Gebrauch macht oder nicht“, so Marcel Schweiker, „und die Grenzen der thermischen Komfortzone sind sehr viel schärfer, als die der visuellen. So beeinflussen Überschreitungen des thermischen Komfortbereichs sehr viel schneller die Gesamtzufriedenheit, als sehr niedrige oder hohe Beleuchtungsstärken.“ Beide Komfortzonen, thermisch als auch vi-

Heiz- und Kühlverteiler des LOBSTER, über den die Oberflächentemperaturen der mit Kapillarrohrmatten aktivierten Wände individuell eingestellt werden können.

Heating and cooling circuit manifold of LOBSTER which serves to control individual surface temperatures of the walls, activated by capillary tubes.



Dr. Marcel Schweiker vom Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau vor dem LOBSTER, dem Laboratory for Occupant Behaviour, Satisfaction, Thermal Comfort and Environmental Research am Campus West des KIT

Dr. Marcel Schweiker from the Department of the Building Science Group in front of LOBSTER, the Laboratory for Occupant Behavior, Satisfaction, Thermal Comfort and Environmental Research on KIT Campus West



## Switching on the Light? Opening the Windows? Letting Down the Blinds?

### Joint Project Investigates User Behavior in Office Buildings to Increase Satisfaction

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

At first glance, the two questions to be answered by the ValMoNuL project appear rather simple: Which indoor climate is most comfortable for an office worker? And how can those conditions be maintained with a minimum consumption of energy? When scientists take a closer look, however, the task is far more complex. To cope with this complexity, KIT's Institute of Building Design and Technology (IEB) cooperates with two chairs of RWTH Aachen University, the Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) in Holzkirchen, and the Building Automation Group of the ABB AG Research Center in Ladenburg.

The project "Validation and Modeling of User Interactions and Their Algorithmic Implementation in Building Automation" (ValMoNuL for short) started in June 2015. The Karlsruhe project group performed their tests in LOBSTER, the Laboratory for Occupant Behavior, Satisfaction, Thermal Comfort, and Environmental Research, the first of its kind. The dark gray box appears to have fallen from the sky onto KIT's Campus West. It accommodates two test offices with two workplaces each, technical equipment, and sensors. During all seasons, test subjects spent four working days in the LOBSTER offices, corresponding to some 1000 sessions of 60 test subjects over two years. Some test parameters were given (for instance, room temperature), others were adjusted by the test subjects. Among the parameters measured were temperature, humidity, air velocity, illumination, and luminance. At the same time, the skin temperature, skin conductance level, and heart rate of the test subjects were measured.

"We have not yet evaluated all data, but some interesting correlations can already be described quantitatively. For example, the possibility of adjusting indoor climate alone results in a higher satisfaction, no matter whether this option is used or not. Moreover, boundaries of a thermal comfort zone are much sharper than those of the visual comfort zone. Leaving the comfort zone influences overall satisfaction much more rapidly than a very low or high illumination level," adds Marcel Schweiker from KIT's Building Science Group (IEB/FBTA) headed by Professor Andreas Wagner. The next step will consist in using self-learning algorithms and sensors to identify individual needs and behaviors of people using the rooms and to adapt building automation. ■

Contact: marcel.schweiker@kit.edu

suell, variierten noch dazu mit den Jahreszeiten. So werde an warmen Sommertagen eher akzeptiert, wenn es im Raum durch die Verschattung etwas dunkler sei, als im Frühjahr, wenn das Bedürfnis nach Sonnenlicht groß sei, auch wenn dies zu höheren Raumtemperaturen führe. Bestätigt würden auch Erkenntnisse aus vorherigen Studien in realen Bürogebäuden: Obwohl es für das Erreichen beziehungsweise Halten einer angenehmen Raumtemperatur sehr wichtig sei, den Sonnenschutz rechtzeitig aktivieren zu können, empfanden die Nutzerinnen und Nutzer den automatisierten Sonnenschutz als Beeinträchtigung. „Hier könnte es zum Beispiel sinnvoll sein, mit unterschiedlichen Lamellenwinkeln oder Teilöffnungen zu arbeiten, sodass eine Balance zwischen thermischen Anforderungen und dem Wunsch nach Tageslicht beziehungsweise Ausblick hergestellt werden kann“, sagt der Wissenschaftler.

Auch in Aachen, im E.ON ERC Hauptgebäude, wird am Thema geforscht. „Da arbeiten unsere Kolleginnen und Kollegen von der RWTH Aachen mit einer umfangreichen Sensorik daran, das Nutzungsverhalten im normalen Büroalltag, also im realen Kontext, zu beobachten und zu quantifizieren“, erzählt Marcel Schweiker. Für diese Feldstudie wurden zehn Referenzbüros des eigenen Gebäudes quasi als Living Lab ausgestattet. Die Ergebnisse fließen in das Gesamtprojekt mit ein. „Wenn wir das Nutzerverhalten besser verstehen“, so Schweiker weiter, „können wir es besser simulieren und energieeffizientere Konzepte zur passiven Raumklimatisierung erstellen.“

Eine weitere Methodik, um relevante Daten zu erheben, verfolgen die Forschenden vom Fraunhofer IBP im bayrischen Holzkirchen: Sie erfassen das Nutzungsverhalten mithilfe von Fragebögen deutschlandweit und decken damit eine große Bandbreite an Gebäuden ab. Sie versuchen, eine Typologie von Verhaltensweisen zu erstellen und dabei verschiedene Nutzertypen zu unterscheiden. So öffnen manche Menschen das Fenster häufig, aber nur kurz. Andere wiederum neigen dazu, das Fenster eher einen längeren Zeitraum zu öffnen. Wieder andere verändern die Fensteröffnung sehr selten. Schweiker: „Unser Ziel ist es, die Raumklimatisierung letztlich so zu automatisieren, dass unterschiedliche Nutzertypen erkannt und berücksichtigt werden können, ohne dabei die individuellen Kontroll- und Eingriffsmöglichkeiten der Nutzerinnen und Nutzer zu beschneiden.“



Dr. Marcel Schweiker im Vorraum des LOBSTER, von wo er den Status der Versuche beobachten kann.

Dr. Marcel Schweiker in the front room of LOBSTER, where he can monitor the status of experiments

Ein letzter Ortswechsel führt nach Ladenburg zur Abteilung Gebäudeautomation der ABB AG. Hier fließen die Erkenntnisse in die praktische Anwendung ein. Der nächste Schritt in dieser Entwicklung ist, dass es mithilfe selbstlernender Algorithmen gelingen soll, über Sensoren die individuellen Bedürfnisse und Verhaltensweisen der jeweiligen Raumnutzer zu erkennen und die Gebäudeautomation so energieeffizient und gezielt wie möglich auf diese abzustimmen. „Das sind spannende Fragen, denen wir zusammen mit den gleichen Partnern in einem Folgeprojekt, für das bereits Fördergelder beim BMWi beantragt sind, weiter nachgehen möchten“, freut sich Schweiker auf die mögliche Fortführung von ValMoNuL. ■

Kontakt: marcel.schweiker@kit.edu

ANZEIGE



## Ausbildung oder Studium dann Karriere

Starte jetzt deinen Weg in die Königsklasse



Die Königsklasse in Lufttechnik, Regeltechnik und Antriebstechnik

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





# Waben- reaktoren für die

# Energiewende



Die wabenförmigen Katalysatorträger des Reaktors wandeln Wasserstoff und CO<sub>2</sub> zu Methan und Wasser um

The honeycomb catalyst carriers of the reactor convert hydrogen and CO<sub>2</sub> into methane and water

Foto: Institut

Folienumwickelte Behälter, bunte Drehventile und gläserne Gaswaschflaschen verwoben mit silberglänzenden Rohrleitungen – das ist neueste Verfahrenstechnologie in einem Labor am Engler-Bunte-Institut (EBI) des KIT, die wie eine wilde Kunstinstallation aussieht. Hier forscht Dominik Schollenberger. Vorsichtig entnimmt er dem komplexen Versuchsaufbau einen kurzen Metallzylinder. Als er ihn ans Licht hält, wird im Inneren ein dichtes Metallgewebe sichtbar, das an Bienenwaben erinnert und in mattem Grau schimmert.

„Die Waben bestehen aus abwechselnd geschichteten glatten und gewellten Blechlagen, die mit einem speziellen Katalysator beschichtet sind – ein patentiertes Verfahren, das wir hier am Engler-Bunte-Institut entwickelt haben“, erklärt Schollenberger. An den Händen trägt er Handschuhe zum Schutz der Oberfläche, die Beschichtung sei sehr empfindlich. „Durch die Wabenstruktur vergrößert sich die reaktive Oberfläche

## INNOVATIVES VERFAHREN ZUR METHANISIERUNG VON WASSERSTOFF IN POWER-TO-GAS-ANLAGEN

VON DR. MARTIN HEIDELBERGER



FOTO: INSTITUT

FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

Links: Versuche zum Wabenreaktor am Engler-Bunte-Institut (EBI). Die am KIT entwickelte Technologie ermöglicht eine flexible und bedarfsgerechte Methanisierung in PtG-Anlagen

Left: Honeycomb reactor tests at the Engler-Bunte Institute (EBI). The technology developed by KIT enables flexible and need-tailored methanation in PtG facilities

mit der Beschichtung. Außerdem hilft die Struktur dabei, die Reaktionswärme optimal abzuführen, um diese dann sinnvoll nutzen zu können.“ In einem entsprechenden Synthesereaktor verbaut helfen die Waben dabei, Wasserstoff und CO<sub>2</sub> in das sehr gut speicherbare und vielseitige Methan umzuwandeln, das auch der Hauptbestandteil des heute üblichen Erdgases ist. „Dass wir die Umwandlung immer besser beherrschen, ist eine gute Nachricht für den Klimaschutz“, sagt Schollenberger. Er gehört zu einem wachsenden Kreis von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die chemische Energieträger wie Wasserstoff und Methan im Zentrum des Energiesystems der Zukunft sehen, das vor allem auf Erneuerbare setzt.

Mit dem Voranschreiten der Energiewende verändern sich die Anforderung an die Infrastruktur: Je

größer der Anteil von Erneuerbaren Energien im Netz ist, umso wichtiger werden Speicher- und Transportmöglichkeiten für die volatile Stromproduktion aus Solar- und Windstromanlagen. Dabei könnten die sogenannten Power-to-Gas-Technologien (PtG) das fehlende Puzzlestück darstellen: Indem man elektrischen Strom zunächst durch Elektrolyse in Wasserstoff und anschließend mit CO oder CO<sub>2</sub> zu Methan umwandelt, kann die klimafreundliche erzeugte Energie vielseitiger genutzt werden. Beispielsweise in Bereichen, die nicht ohne weiteres elektrifiziert werden können; als Rohstoff in der chemischen Industrie, als Kraftstoff für PKW und LKW bis hin zu Schiffen oder als Brennstoff zur Erzeugung von Wärme. Außerdem kann elektrische Energie über die PtG-Prozessroute effizient gespeichert und transportiert werden. So transportiert das bestehende deutsche Gasnetz eine Energiemenge von rund 1 000 Milliarden kWh/a über bestehende Fern- und Verteilnetze mit insgesamt etwa 500 000 Kilometern Länge.



Dominik Schollenberger (links) und Dr. Siegfried Bajohr (rechts) vom Engler-Bunte-Institut (EBI) des KIT sehen PtG als Schlüsseltechnologie für ein klimafreundliches Energiesystem

Dominik Schollenberger (left) and Dr. Siegfried Bajohr (right) of KIT's Engler-Bunte Institute (EBI) consider PtG a key technology for a climate-friendly energy system

Foto: Amadeus Bramsiepe

Präsentationsaufbau von STORE&GO zur Methanisierung mit dem Wabenreaktor. In dem von der DVGW-Forschungsstelle am KIT koordinierten europäischen Forschungsprojekt arbeiten 27 internationale Kooperationspartner daran, die PtG-Technologie in das zukünftige europäische Energiesystem zu integrieren.

STORE&GO setup for methanation with the honeycomb reactor. Within the European research project coordinated by the DVGW research center at KIT, 27 international cooperation partners work on integrating PtG technology into the future European energy system



FOTO: INSTITUT

FOTO: INSTITUT

Bereits heute ist PtG Realität: In der Demonstrationsanlage WindGas der Firma Uniper im brandenburgischen Falkenhagen beispielsweise wird Strom aus Windkraftanlagen mittels Wasser-Elektrolyse bereits seit 2013 erfolgreich in Wasserstoff, Sauerstoff und Wärme umgewandelt. Im Mai 2018 ist dort eine Methanisierungsstufe im Demonstrationsmaßstab mit dem neuen Wabenreaktor aus dem KIT in Betrieb gegangen, in der „grüner“ Wasserstoff in Synthetic Natural Gas (SNG), also Synthese-Methan umgewandelt wird. Seit Januar 2019 wird das dort produzierte SNG in das Erdgasnetz des Gasnetzbetreibers Ontras eingespeist. Errichtet wurde der Methanisierungsreaktor mit der KIT-Technologie im Rahmen des EU-Forschungsprojektes STORE&GO. Auch an zwei weiteren europäischen Standorten wurden in dem Projekt unterschiedliche PtG-Technologien von einem experimentellen Stadium in die praktische Anwendung überführt. Neben dem KIT und Uniper sind bei STORE&GO insgesamt 27 europä-

ische Forschungseinrichtungen und Unternehmen beteiligt. Die Gesamtkoordination erfolgt durch die DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT, welche auch die vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Technologien durchführen wird. „Viele PtG-Verfahren sind heute bereits einsatzbereit“, sagt Dr. Siegfried Bajohr, in dessen Forschungsgruppe am EBI der Wabenreaktor entstanden ist. „Wir wollen jetzt über einen Zeitraum von zwei Jahren die Leistungsfähigkeit unserer Technologie im Dauerbetrieb und unter dynamischen Lastwechseln belegen.“

Wissenschaftsgeschichtlich betrachtet geht es bei den PtG-Verfahren tatsächlich nicht um gänzlich neue Konzepte. Das grundlegende Prinzip der Methanisierung etwa wurde erstmals 1902 von dem französischen Chemiker Paul Sabatier beschrieben. Dabei werden Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) – beziehungsweise Kohlenstoffmonoxid (CO) – unter Zuhilfenahme von Katalysatoren in Wasser (H<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>) umgewandelt. Industriell genutzt wird das Verfahren bisher allerdings meist nur zur Entfernung schädlicher Kohlenstoffmonoxid-Rückstände bei der Reinigung von Wasserstoff, beispielsweise vor der Ammoniak-Synthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren. Außerdem wird die Methanisierung bis heute großindustriell genutzt, um SNG aus Kohle herzustellen – wobei aber wenig auf die Effizienz des Gesamtprozesses oder die bei der Nutzung von Kohle auftretenden CO<sub>2</sub>-Emissionen geachtet wird. In den 1990er Jahren hat der japanische Wissenschaftler Koji Hashimoto dann zum ersten Mal vorgeschlagen, PtG-Verfahren zur klimafreundlichen Produktion von SNG aus regenerativer elektrischer Energie zu nutzen. „Mit dem Wabenreaktor haben wir das Verfahren nun endgültig ins 21. Jahrhundert geholt“, sagt Bajohr. Die Methanisierung mittels Wabenreaktor ermöglicht dabei nicht nur eine verfahrenstechnisch einfache zu beherrschende Umwandlung in einer einzigen Reaktionsstufe ohne aufwändige Kreislaufführung oder Produktaufbereitung. Der Wabenreaktor sei vielmehr auch besonders einfach zu bauen und eigne sich aufgrund einer guten Skalierbarkeit und Lastenflexibilität sowohl für kleine, dezentrale Anwendungen als auch für einen Serienbetrieb in Großanlagen. „Nur mit klimafreundlichem SNG gelingt uns eine rasche Energiewende auch im Mobilitäts- und Wärmesektor. Ich sehe im Wabenreaktor so etwas wie den chemischen Transformator im Energienetz der Zukunft“, so Professor Thomas Kolb vom Engler-Bunte-Institut.



Eine grundsätzliche Frage wäre bei einem großflächigen Einsatz der Methanisierung allerdings noch zu klären: Woher stammt eigentlich das für die Umwandlung notwendige CO<sub>2</sub>? „Für die Demonstrationsanlage in Falkenhagen nutzen wir Kohlenstoffdioxid, das als Nebenprodukt einer Bioethanolanlage anfällt“, erklärt Dominik Schollenberger. Doch für einen großflächigen Einsatz in Deutschland würde das nicht genügen, weil nach vorsichtigen Hochrechnungen Millionen von Tonnen notwendig wären. „Wir

dürfen natürlich nicht den Fehler begehen, hier fossiles CO<sub>2</sub> etwa aus der Kohleverstromung reinzuwaschen“, sagt der junge Wissenschaftler. „Ich denke, dass langfristig beispielsweise die Nutzung von CO<sub>2</sub> direkt aus der Atmosphäre attraktiv werden könnte, auch wenn der Aufwand dafür bislang noch sehr hoch ist.“

Auf absehbare Zeit werden allerdings alle derzeitigen PtG-Technologien an einem offenen Markt nicht mit fossilen Energieträgern konkurrieren können, solange die Folgen des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes für das Weltklima im Preis nicht berücksichtigt werden. Unabhängig von der verwendeten Technologie sind daher wesentliche politische Weichenstellungen notwendig, um das Nachhaltigkeitspotenzial von PtG wirklich nutzen zu können. ■

Kontakt: dominik.schollenberger@kit.edu, siegfried.bajohr@kit.edu

## Honeycomb Reactors for the Energy Transition

### An Innovative Process for Methanation of Hydrogen in Power-to-Gas Plants

TRANSLATION: HEIDI KNIERIM

As the energy transition progresses, the demands on the infrastructure change: The greater the share of renewables in the grid, the more important storage and transport options become for the volatile production of electricity from solar and wind power plants. So-called Power-to-Gas technologies (PtG) could be the missing piece of the puzzle. By first converting electricity into hydrogen by electrolysis and then into methane with CO or CO<sub>2</sub>, these technologies produce climate-friendly energy that can be used in a more versatile way: In areas that cannot easily be electrified, as raw materials in the chemical industry, as fuel for cars, trucks, and ships, or as fuel for heat generation. In addition, electrical energy can be efficiently stored and transported via the PtG process route. The German gas network transports an energy volume of around 1,000 billion kWh/annum via long-distance and distribution networks with a total length of approximately 500,000 kilometers.

PtG is already a reality today: At the Uniper WindGas demonstration plant in Falkenhagen, Brandenburg, for example, electricity from wind power plants has been successfully converted into hydrogen, oxygen, and heat by means of water electrolysis since 2013. In May 2018, the WindGas plant put into operation a demonstration-scale methanation stage with KIT's new honeycomb reactor to convert "green" hydrogen into Synthetic Natural Gas (SNG), i.e., synthetic methane. The methanation reactor with the KIT technology was constructed within the framework of the EU research project STORE&GO, which also transfers different PtG technologies from an experimental stage to practical application at two other European locations. In addition to KIT and Uniper, a total of 27 European research institutions and companies are involved in STORE&GO. ■

Contact: dominik.schollenberger@kit.edu, siegfried.bajohr@kit.edu



## Fachinformationen bitte!

**Alle Medien schnell, einfach und überall verfügbar.**

In unserem Katalog sind über 35 Millionen Titel gelistet, für jeden Bedarf das Richtige. Schweitzer arbeitet eng mit allen führenden E-Procurement-Anbietern zusammen und stellt für Sie einen reibungslosen Best-in-Class-Beschaffungsprozess sicher.

Im Raum Karlsruhe klingeln Sie bitte einfach bei uns an:

**Schweitzer Fachinformationen** | Hosier + Mende KG

Karlstr. 76 | 76137 Karlsruhe | Tel: +49 721 98161-0

karlsruhe@schweitzer-online.de

**Öffnungszeiten:** Mo. - Fr. 10.00 - 18.30 Uhr | Sa. 10.00 - 14.00 Uhr

Oder bestellen Sie gleich online:

[www.schweitzer-online.de](http://www.schweitzer-online.de)

**Schweitzer**  
Fachinformationen



**Berufsbegleitend & praxisnah** – profitieren Sie vom direkten Austausch mit forschungsstarken Professorinnen und anderen berufstätigen Studierenden!

**Masterstudiengang**  
Ingenieurakustik

**Hochschulzertifikate**  
Bahntechnik (2 Semester)  
Technische/r Redakteur/in (1 Semester)

und viele mehr.

Erfahren Sie mehr:

[www.hm.edu/weiterbildung](http://www.hm.edu/weiterbildung)

Weiterbildungszentrum



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  
[www.technologiefabrik-ka.de](http://www.technologiefabrik-ka.de)



## STUDIENBOTSCHAFTER- INNEN DES KIT BESUCHEN SCHULEN

Nach wie vor sind Studiengänge aus Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT) vor allem bei Männern beliebt. Nur rund ein Drittel der MINT-Studierenden an deutschen Hochschulen sind Frauen. Um insbesondere Schülerinnen das Studium im naturwissenschaftlichen Bereich nahezubringen, hat das KIT ein Pilotprojekt ins Leben gerufen, das Hemmschwellen und Vorurteile gegenüber Mathe, Physik und Co. abbauen soll. Studentinnen, die am KIT ein MINT-Fach studieren, besuchen Schulen in der Umgebung und geben einen individuellen und authentischen Einblick in ihr Studium. Sie informieren in Fachvorträgen über Inhalte und Erfahrungen rund ums Studium, zeigen Forschungsergebnisse in Experimenten und diskutierten sie mit Klassen verschiedener Jahrgangsstufen. Die Vorträge drehen sich um verschiedene Themen aus den Bereichen Mathematik, Geophysik, Meteorologie, Physik, Elektro- und Informationstechnik.

Info: [www.kit.edu/kit/studienbotschafterinnen.php](http://www.kit.edu/kit/studienbotschafterinnen.php)

Kontakt: [anika.sander@kit.edu](mailto:anika.sander@kit.edu)



FOTO: LAILA TKOTZ

## NEW PROCESS COMBINES 3D LASER LITHOGRAPHY WITH MICROFLUIDICS

Three-dimensional structures on the micrometer and nanometer scales have a great potential for many applications. An efficient and precise process to print such structures from different materials is now presented by researchers of Karlsruhe Institute of Technology (KIT) and Carl Zeiss AG in *Science Advances*. They integrated a microfluidic chamber into a 3D laser lithography device and used this system to produce multi-colored, fluorescent security features to protect banknotes, documents, and branded products against counterfeiting.

Contact: [martin.wegener@kit.edu](mailto:martin.wegener@kit.edu)

(DOI: 10.1126/SCIADV.AAU9160)

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

## HILFE BEI UMSTELLUNG ZU ELEKTROMOBILITÄT

Im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft der Landesregierung Baden-Württemberg erhält eine Forschungsk Kooperation zwischen den Instituten für Produktionstechnik (wbk), Thermische Verfahrenstechnik (TVT-TFT) und Angewandte Materialien (IAM-ESS) des KIT sowie dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) bis Ende 2019 rund 2,6 Millionen Euro für den Aufbau eines „Transformations-Hubs Elektromobilität“. Dieser ermöglicht die effektive Unterstützung regionaler Fabrik ausrüster bei der Festlegung ihrer zukünftigen Produktausrichtung im Kontext der Elektromobilität. Hierfür fördert das baden-württembergische Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau sowohl das Rahmenprojekt „Fit4E“ als auch zwei Leuchtturmprojekte: Die „Ausbildungsfabrik Statorfertigung“ stellt ein Schulungs- und Lehrkonzept zur Elektromotorenfertigung dar, während sich der „Smart Battery Maker“ mit der flexiblen Batteriezellenherstellung im Technikumsmaßstab beschäftigt.

Kontakt: [janna.hofmann@kit.edu](mailto:janna.hofmann@kit.edu)



FOTO: LAILA TKOTZ

## HOLGER HANSELKA MITGLIED DES HIGH- TECH-FORUMS DER BUNDESREGIERUNG

Mit 19 weiteren Experten berät der Präsident des KIT, Holger Hanselka, die Bundesregierung zu Zukunftsfragen, dabei ist das zentrale Thema die Umsetzung und Weiterentwicklung der Hightech-Strategie 2025. Kernanliegen dieser Strategie ist es, Wissen zur Wirkung zu bringen. Das Ziel sind Spitzeninnovationen, die bei den Menschen ankommen und sich zugleich zu durchschlagenden Erfolgen entwickeln. „Um Deutschlands herausgehobene Stellung als Innovationsstandort auszubauen, brauchen wir zukunftsweisende Ideen und die Fähigkeit, neue Technologien rasch aufzugreifen und umzusetzen“, sagt Hanselka. „Unsere Alltags- und Arbeitswelten werden in rasantem Tempo von digitalen Anwendungen geprägt sein. Dabei wollen wir die Chancen, die beispielsweise Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen bringen, zum Wohl der Bürgerinnen und Bürger gestalten und für Deutschland gewinnbringend einsetzen.“



FOTO: BMBF

## INERATEC GEWINNT ERSTEN LOTHAR- SPÄTH-AWARD

Kraftstoffe mithilfe von erneuerbaren Energiequellen preiswert und klimafreundlich herstellen – das ist die Mission des Start-ups INERATEC, einer Ausgründung aus dem KIT. Eigentlich sind bei der Produktion von synthetischen Kraftstoffen wie Benzin riesige Anlagen nötig. INERATEC baut chemische Reaktoren, die so kompakt sind, dass die fertig montierte Anlage in einen Schiffscontainer passt und überall eingesetzt werden kann. Für diese Idee hat das junge Unternehmen den erstmals vergebenen Lothar-Späth-Award erhalten.

Info: [www.lothar-spaeth-award.de](http://www.lothar-spaeth-award.de)



FOTO: WOLFGANG LIST

## MILLIONS FOR ELEMENTARY PARTICLE RESEARCH

Experimental research into the fundamental building blocks of nature and the technologies required for this purpose by Karlsruhe Institute of Technology (KIT) will be funded with a total of EUR 7.6 million by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) from 2019 to 2021. Researchers of KIT's Institute of Experimental Particle Physics have thus been granted new funding for their contributions to the experiments CMS (Compact Muon Solenoid) at CERN and Belle II at KEK. In addition, BMBF approved funding for the upgrade of the CMS experiment and development of new methods to handle the large data volumes of the experiments.

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER



FOTO: MICHAEL HOCH  
MAXIMILIEN BRICE/CERN/CMS COLLABORATION

## NEUES XR-LAB AM IPEK ERMÖGLICHT DIE FRÜHE VALIDIERUNG INTERAKTIVER PRODUKTE

VON DR. FELIX MESCOLI

Kann mein Produkt was es können soll – und wird es auch gekauft? Die Antworten auf diese Fragen sind entscheidend für Erfolg oder Misserfolg einer jeden Markteinführung. Wohl dem Unternehmen, welches sie schon lange vor dem Produktstart beantworten kann. Am IPEK – Institut für Produktentwicklung am KIT, entwickeln Forscherinnen und Forscher neue Methoden, um möglichst früh im Entwicklungsprozess herauszufinden, ob ein Produkt sowohl tauglich als auch für Kunden und Anwender attraktiv ist. Voraussetzung für aussagekräftiges Kundenfeedback ist die Verfügbarkeit anschaulicher Repräsentationen des zukünftigen Produkts. In der Produktentwicklung kommen dazu physische Prototypen zum Einsatz, die häufig jedoch erst spät im Prozess vorliegen und deren Herstellung mit hohem zeitlichem wie finanziellem Aufwand verbunden ist. Im neuen Extended-Reality-Labor (XR-Lab) des IPEK werden sie in frühen Entwicklungsphasen durch realistische voll- und teilvirtuelle Modelle ergänzt oder ersetzt.

„In der Automobilindustrie gehen nicht selten zehn Prozent des gesamten Entwicklungsbudgets in die Produktion von Prototypen“, sagt Jonas Reinemann vom IPEK. „Bei einem einzelnen Hersteller können da leicht mehrere hundert Millionen Euro zusammenkommen.“ Diesen Aufwand wollen die IPEK-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler reduzieren, indem sie die physischen Prototypen durch virtuelle Hologramme ersetzen. Diese können im XR-Lab direkt auf die Werkbank projiziert werden – als dreidimensionales Bild, allein oder in Verbindung mit physischen Teilen. Der Kombination von physischen und virtuellen Modellen, dem sogenannten Mixed Prototyping, messen die IPEK-Forscher dabei besonders großes Potenzial bei.

Die sogenannte Extended Reality (XR) ist ein Sammelbegriff für Computertechnologien, welche das

wahrgenommene Umfeld um virtuelle Komponenten erweitern. Zum Beispiel indem dreidimensionale Bilder in den physischen Raum projiziert werden (Augmented Reality, AR) oder der Anwender sich in eine vollständig computergenerierte virtuelle Umgebung begibt (Virtual Reality, VR). Geschehen kann das zum Beispiel mittels einer Augmented-Reality-Brille, einem sensorunterstützten transparenten Display, das der Nutzer vor den Augen trägt, einer CAVE, einem Raum zur Projektion dreidimensionaler Illusionswelten, in dem sich auch mehrere Nutzer gleichzeitig bewegen können, oder dem eigenen Smartphone oder Tablet, die heutzutage auch über die notwendige Sensorik, Kamertechnik und Rechenleistung zur Erzeugung von XR-Umgebungen verfügen.

Ziel der Forschungen am IPEK zu XR ist es, Kunden und Anwender möglichst früh in die Entwick-

# Prototypen virtuell erleben



Arbeiten an neuen Methoden zur kundennahen Produktentwicklung (von links): David Schmid, Steffen Reuter (Fraunhofer), Professor Albert Albers, Jonas Reinemann und Marc Etri

Working on new methods for customer-oriented product development (from the left): David Schmid, Steffen Reuter (Fraunhofer), Professor Albert Albers, Jonas Reinemann, and Marc Etri

lung neuer Produkte einzubeziehen: Marc Etri beugt sich über das Gehäuse eines Elektromotors, das vor ihm auf dem Tisch liegt. Während es dem nebenstehenden Betrachter leer erscheint, kann der Masterstudent mit einer AR-Brille bereits den fertig montierten Antrieb in Augenschein nehmen. Die AR-Technologie verknüpft den physischen Gehäuseausschnitt des e-Motors mit den virtuellen Hologrammen verschiedener Motor-komponenten. So können verschiedene Gehäusevarianten, Wicklungen des Rotors oder Komponenten mit abweichenden Abmessungen ausprobiert werden. „Natürlich kann sich ein Motorenentwickler das auch anhand einer zweidimensionalen Zeichnung vorstellen“, erklärt Etri. „Aber der Kunde kann das vielleicht nicht so gut.“ Indem die zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer bereits in einer sehr frühen Phase mit ganz unterschiedlichen Versionen des späteren Produkts konfrontiert werden, können deren Vorlieben in die weitere Entwicklung einfließen.

Geeignet sei die Technik vor allem für Produkte, mit denen der Mensch in Interaktion trete, erläutert Reinemann. „Wie etwa das Cockpit eines Autos oder Küchengeräte.“ So könne man mittels der Projektionen eine Vorstellung der räumlichen Dimensionen etwa einer Abzugshaube oder auch der Position verschiedener Bedienelemente bekommen, was die Kommunikation zwischen Anwendern und Produktentwicklern erleichtern kann. „Es lassen sich aber auch interaktive Produktfunktionen prüfen, wie die Steuerung einer Kameradrohne oder das Förderverhalten eines Schaufelradbaggers.“ Zunehmend werde es auch mit immer weniger Aufwand möglich sein, die virtuellen Einspielungen zu animieren, Geräusche und Sprache hinzuzufügen oder „live“ Verände-

## Virtual Experience of Prototypes

### New XR Laboratory at IPEK Enables Early Validation of Interactive Products

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Extended reality, or XR, is a collective term for technologies to extend the perception of reality with the help of computers. It includes both virtual reality (VR) and augmented reality (AR). These technologies enable the user to realistically perceive completely virtual (VR) or mixed physical-virtual (AR) environments. In the past year, a new XR Laboratory was established at IPEK, KIT's Institute of Product Engineering, to study the potential of these technologies in the development process.

Particular attention is being paid to integrating customers into the early validation phase of interactive product development. XR technologies make it possible for the customer to experience virtual variations of reference products. With AR technology, existing, physical reference products can be combined with virtual holograms. This allows solutions for the future to be experienced even during the early development phase of prototypes. Perception of these alternatives for the product can generate important knowledge regarding the explicit and implicit preferences of the customer.

IPEK's XR Laboratory is used in industry and research projects as well as in academic education. For example, IPEK's XR Laboratory modeled a mixed physical-virtual prototype of an electric motor developed by KIT in cooperation with Fraunhofer ICT under the DEiML project. A physical section of the motor housing was combined with virtual holograms of various engine components using AR technology. Then, various housing types, winding geometries of the rotor, and geometrical dimensions of other components were validated in the AR environment for later packaging of the electric motor. ■

Contact: [jonas.reinemann@kit.edu](mailto:jonas.reinemann@kit.edu)

rungen daran vorzunehmen. „In Zukunft wird der Anwender nicht mehr zwischen virtuell und real unterscheiden können.“

Geforscht werde am IPEK allerdings nicht an der Weiterentwicklung der XR-Technologie selbst, stellt Institutsleiter Albert Albers klar. „Wir entwickeln Methoden für eine kundennahe Produktentwicklung.“ Computergestützte Erweiterungen der Realitätswahrnehmung würden in

einem atemberaubenden Tempo immer besser und wirklichkeitsnäher, wie man sie bei der Entwicklung und Validierung neuer Produkte sinnvoll einsetzen könne, sei indes noch weitgehend unerforscht. „Jeder sagt, das ist die Zukunft, aber keiner weiß, wie es geht!“, konstatiert Albers. Verfahren, wie man virtuelle Produkte testet und die Ergebnisse hinterher interpretiert, müssen noch erdacht und verfeinert werden. Dazu dient das IPEK XR-Labor, das neben Industrie- und Forschungsprojekten auch in der Lehre zum Einsatz kommt. ■

Kontakt: [jonas.reinemann@kit.edu](mailto:jonas.reinemann@kit.edu)

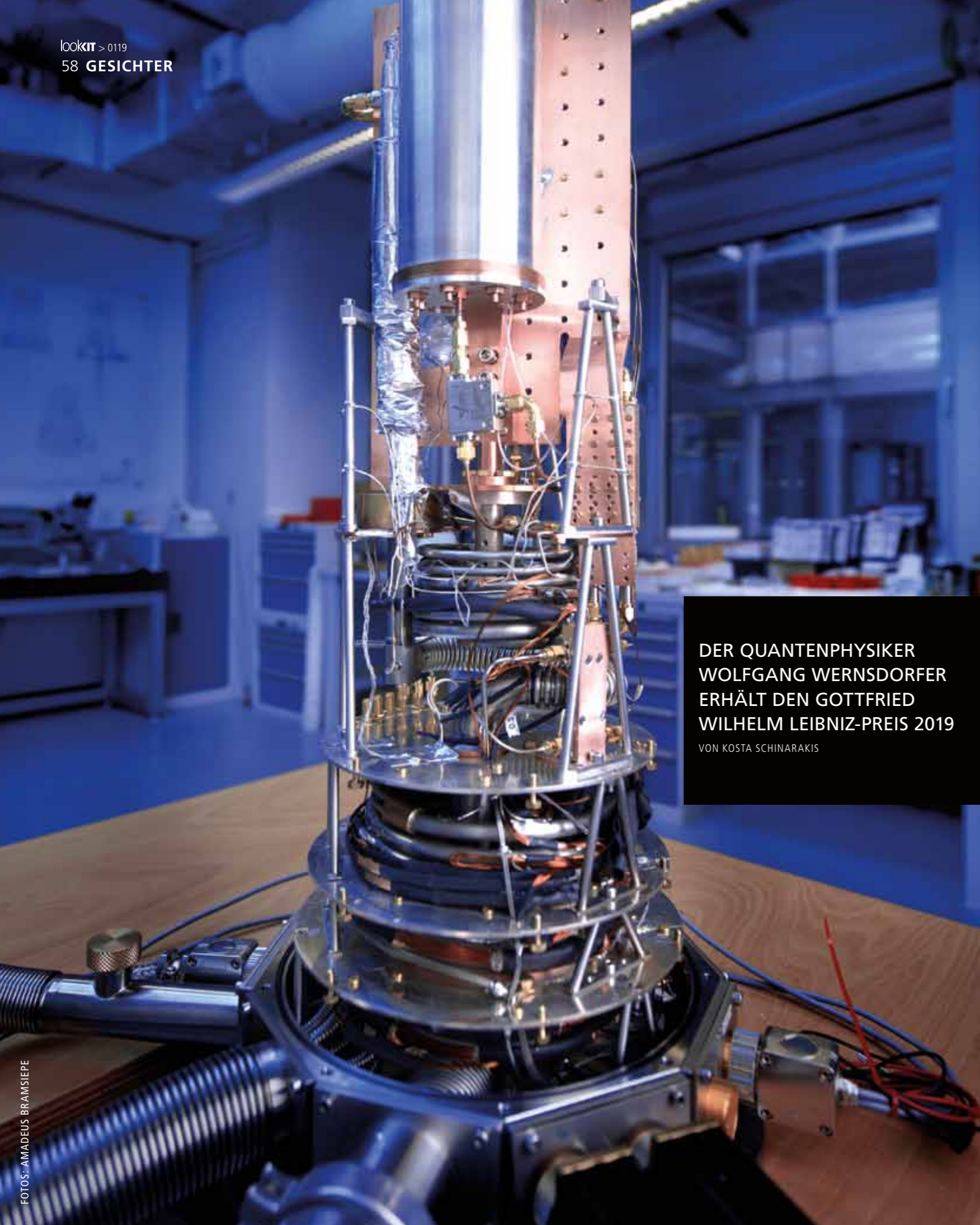


Mit dem Tablet in eine virtuelle Umgebung eintauchen: Auf dem Bildschirm werden Varianten einer Seilwinde eingeblendet. Das Original liegt auf dem Tisch davor

Dive into a virtual environment with a tablet: variants of a winch are displayed on the screen. The original is on the table in front of it

Mittels Virtueller Realität können im XR-Lab zukünftige Produkte in einer frühen Phase begutachtet werden. Jonas Reinemann betrachtet hier Komponenten eines Elektromotors, die dreidimensional in ein physisches Motorgehäuse projiziert wurden

Using Virtual Reality, future products can be assessed at an early stage in the XR Lab. Here, Jonas Reinemann examines components of an electric motor that have been projected three-dimensionally into a physical motor housing



DER QUANTENPHYSIKER  
WOLFGANG WERNSDORFER  
ERHÄLT DEN GOTTFRIED  
WILHELM LEIBNIZ-PREIS 2019

VON KOSTA SCHINARAKIS

## Erst an der Grenze wird es spannend

Professor Wolfgang Wernsdorfer entwickelt Kryostaten um Quantenphänomene zu verstehen

Professor Wolfgang Wernsdorfer develops cryostats to understand quantum phenomena

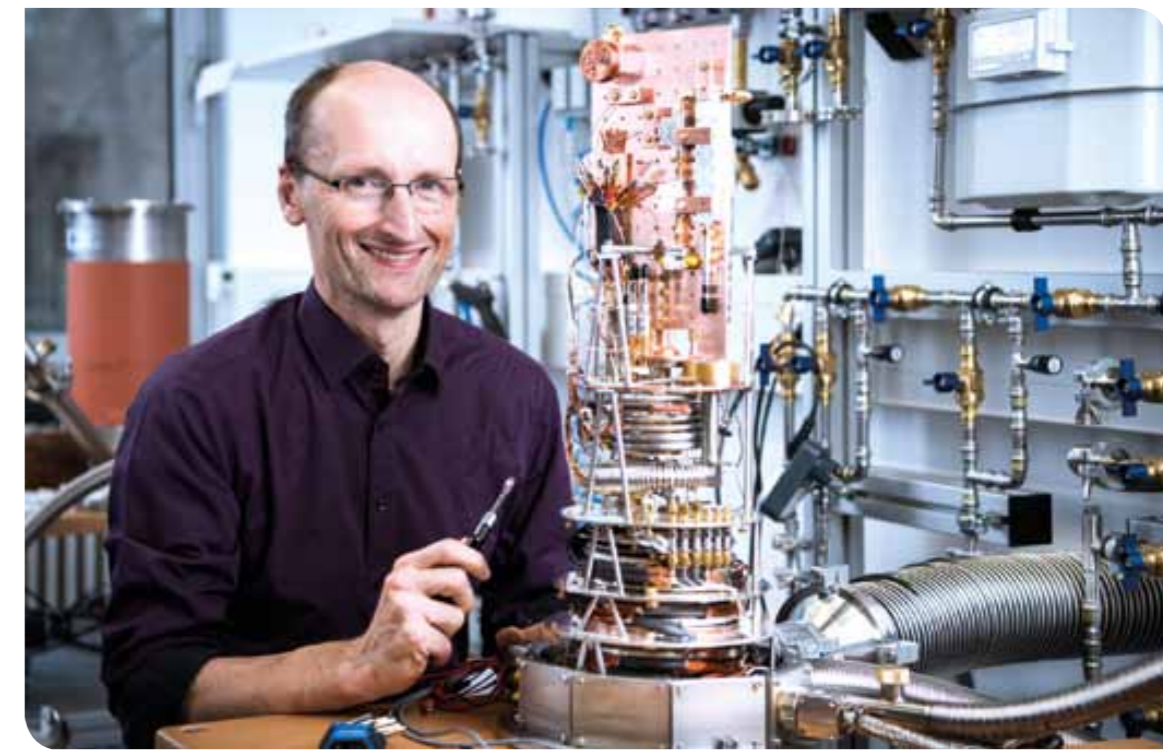


FOTO: PETERSCHREIBER/MEDIA/STOCK.ADOBE.COM

### Borderline Problems Preferred

#### Quantum Physicist Wolfgang Wernsdorfer Receives 2019 Gottfried Wilhelm Leibniz Prize

TRANSLATION: RALF FRIESE

This year's winner of the euro-2.5-million Gottfried Wilhelm Leibniz Prize will not be constrained by existing borders. Physicist Wolfgang Wernsdorfer is more likely to expand existing borders to knowledge. His research focuses on molecular quantum spintronics, an area of experimental solid-state physics at the borderline between chemistry and materials science. He studies molecular magnets which, some day, could become modules of powerful computers, i.e. the quantum bits in a quantum computer. Cryostats – equipment full of measuring gear cooled to temperatures close to absolute zero – are the main tools of his research team. Cooling circuits, electronics and sensors undergo continuous improvement and new equipment is being built all the time, as new possibilities are created for looking into the quantum world. Wernsdorfer will not even guess at the possibilities opened up by quantum computers: "When the first physicist assembled a transistor, he could not imagine that someday there would be the internet." However, some obvious initial applications are cryptography, simulations of processes in chemistry and materials research, and understanding how medically active substances act on a molecular level. At KIT, he works with strong research teams studying magnetic molecules in even greater detail by means of laser light, or tailoring magnetic molecules from dozens of atoms. ■

Contact: wolfgang.wernsdorfer@kit.edu

Als Erstes stehen wir im Dunkeln. Aus dem Flur scheint eine Neonröhre träge ins Labor. Ein paar Werkbänke sind zu erahnen. Ein metallisches Werkzeug funkelt im schwachen Schein, der sich mit uns durch die Tür drängt. „So ist es, wenn man mit Licht arbeitet. Da muss es dunkel sein“, sagt Wolfgang Wernsdorfer amüsiert und drückt nach kurzem Tasten den Lichtschalter. Auf den Tischen erkennen wir die blanken Kabel und Platinen, die ein Techniker bald zu einem physikalischen Apparat zusammensetzt: einen mit Messtechnik vollgestopften Kryostaten – die leistungsfähige Laborversion einer Thermoskanne mit ziemlich vielen Drähten darin. Der Karlsruher Professor dringt damit in einen Mikrokosmos vor, der für viele im Dunkeln liegt, so wie vor kurzem noch der Laborraum.

Es geht um Quanten. Als der junge Max Planck im Jahre 1874 seinen Mentor fragte, was er studieren solle, riet der ihm von Physik ab: Alles schon erforscht! Thermodynamik, Elektrodynamik, Optik und Mechanik seien schon durchdrungen und die kleinen Lücken würden bald geschlossen sein. Sechzehn Jahre später konnte Planck eine der Lücken schließen, indem er Quanten einführte: Zur Beschreibung des Mikrokosmos erlaubte der Wissenschaftler die sprunghafte Änderung von physikalischen Eigenschaften wie der Energie – etwas, was aller Erfahrung aus dem Makrokosmos widerspricht. Damit öffnete er das riesige Feld der Quantenphysik. Viel zu tun also für neugierige Physiker wie Wolfgang Wernsdorfer.

Doch die akademische Laufbahn war ihm nicht in die Wiege gelegt. Als zweites von sieben Kindern wuchs er in Würzburg auf. „Mein Vater war Handwerker, meine Mutter Hausfrau. Sie unterstützten uns nach Kräften, aber höhere Bildung hatten sie nicht auf dem Schirm.“ Zudem kam ein handfestes Handicap. „Als bei meiner Tochter Lese- und Rechtschreibschwäche diagnostiziert wurde, habe ich auch meine eigene Schullaufbahn noch mal betrachtet: Aus der Kombination der Note eins in Mathematik und der Note sechs in Deutsch, würde man inzwischen vielleicht andere Schlüsse ziehen als damals“, bilanziert Wernsdorfer. Statt der heute üblichen Unterstützung für Legastheniker besuchte er zunächst eine Hauptschule, machte eine Lehre zum Elektriker und verlegte Kabel auf Baustellen. Nebenbei baute er Modellflugzeuge und es zeigten sich Talent und Ehrgeiz für experimentelle Spitzenleistungen. „Wenn ich etwas mache, dann richtig. Also habe ich immer weiter gefeilt, bis meine Modelle auf dem Flugplatz die Besten waren.“ In drei Jahren entstanden so rund 20 Flugzeugmodelle.

Mittlerweile stehen keine Flugzeuge mehr im Regal hinter seinem Schreibtisch. Fast ein Dutzend der alten Kryostate aus dem Labor hat er dort aufgereiht – glänzendes, gewundenes Stahlrohr und matte Kupferplatten. Teils hat er sie selber aufgesägt und neugierig geschaut, warum sie nicht wie geplant funktionierten oder was andere Werkstätten besser gemacht haben. Die Kryostate sind das zentrale Werkzeug seiner Forschungsgruppe. Ständig werden Kühlkreise, Elektronik und Sensoren verbessert oder ein neuer Apparat gebaut, eine neue Möglichkeit



Bevor der Kryostat mit flüssigen Gasen heruntergekühlt wird, schließt Wolfgang Wernsdorfer die Außenhülle

Before the cryostat is cooled down with liquid gases, Wolfgang Wernsdorfer closes the outer shell

geschaffen, in die Quantenwelt zu schauen. „Wir wollen die Grenze des Wissens erweitern und verstehen, wie die magnetischen Prozesse in Molekülen ablaufen“, erklärt Wernsdorfer.

Den Sprung vom Baustellenelektriker an die Grenze des Wissens verdankt Wernsdorfer dem Zufall und seinem beständigen Ehrgeiz. Es war eine glückliche Fügung, dass ein Kollege nach der Gesellenausbildung auf die Berufsoberschule ging. Und es war sein Ehrgeiz, der ihm sagte: „Was der kann, kannst du erst recht.“ Was folgte waren Abitur, Physikstudium in Würzburg und Lyon sowie Promotion und Habilitation in Grenoble. Am dortigen Institut Neel hat Wernsdorfer zwanzig Jahre geforscht und Methoden ersonnen, immer kleinere Magneten zu vermessen – bis hin zum einzelnen Molekül. In diesem Mikrokosmos richtet sich alles nach den Regeln der Quantenphysik. Die molekularen Magnete könnten einmal der Baustein für leistungsstarke Computer sein, also die Quantenbits im Quantencomputer.

Die Überlegenheit der Quantencomputer leitet sich aus drei interessanten Eigenschaften ihrer Quantenbits – kurz Qubits – ab, die es in der klassischen Elektronik nicht gibt. Erstens das Tunneln: Quanteninformation kann ohne Energieeinsatz Barrieren durchdringen. Zweitens die Überlagerung: Ein Qubit kann unendlich viele Mischzustände zwischen eins und null gleichzeitig annehmen. Drittens die Verschränkung: Zwei gekoppelte Qubits bleiben auch „in Kontakt“,

wenn sie Lichtjahre weit voneinander entfernt sind. Für unsere im Makrokosmos geschulte Anschauung lassen sich diese Eigenschaften nur schwer begreifen, aber alle Physikergenerationen seit Planck haben immer wieder im Experiment bestätigt, dass im Mikrokosmos nach Quantenregeln gespielt wird.

Welche Möglichkeiten der Quantencomputer eröffnet, mag Wernsdorfer nicht abschätzen. „Als der erste Physiker einen Transistor zusammenlötete, konnte er sich auch nicht vorstellen, dass es einmal das Internet gibt.“ Als erste Einsatzgebiete liegen die Kryptographie, die Simulation von Prozessen in der Chemie und Materialforschung oder das Verständnis von medizinischen Wirkstoffen auf molekularer Ebene nahe. Mittlerweile gibt es Firmen die Quantensysteme für Spezialanwendungen herstellen. Allerdings nutzt keines davon schon alle drei Quanteneigenschaften aus. Noch entziehen sich die einzelnen Qubits der vollständigen Kontrolle – schon etwas Umgebungswärme bringt sie aus dem Takt. Daher betreibt Wernsdorfer den großen Aufwand mit seinen Kryostaten, die ihm Arbeitstemperaturen nahe am absoluten Nullpunkt ermöglichen.

Der universell einsetzbare Quantencomputer wird noch Jahre auf sich warten lassen. „Da muss man realistisch sein“, sagt der 52-jährige Wernsdorfer und legt in Gedanken den Entwicklungsplan seines Forschungsfeldes neben seinen Lebensplan. „Bis zu meiner Rente werde

ich wahrscheinlich keinen brauchbaren, universellen Quantencomputer nutzen können“, prophezeit er ohne Wehmut und ergänzt mit tatkräftiger Stimme: „Aber dafür sind wir ja gerade jetzt an dem spannenden Punkt, die Basis zu legen und neues Wissen zu schaffen. Dass, was wir hier in Karlsruhe machen, hat vor uns noch kein anderer getan. Wir schieben die Grenze des Wissens vor uns her.“

„Wir“, das sind Wernsdorfer und seine Forschungspartner innerhalb des KIT, die optisches und chemisches Know-how mit ihm teilen. Die neuesten Kryostate etwa werden die Quantenbits nicht nur mit Radioimpulsen, sondern – in dunklen Laboren – auch mit Laserlicht manipulieren und charakterisieren. Maßgeschneiderte, magnetische Moleküle aus dutzenden Atomen synthetisieren die Chemiker mit beeindruckender Präzision. „Einen mit dem KIT vergleichbaren Forschungsstandort wird man kaum finden“, sagt er stolz, um nach einem Augenblick ebenso stolz und mit einem Lächeln zu ergänzen: „Außer vielleicht in Grenoble.“ Noch immer ist er regelmäßig dort. Natürlich wegen seiner Frau und der vier teils schulpflichtigen Kinder. Aber auch wegen der Alpen vor der Tür, die er für sein Hobby braucht: Vor einigen Jahren hat er das Berglaufen in steilem Terrain für sich entdeckt und ist schon mehrtägige Rennen von 160 Kilometern Länge mit tausenden Höhenmetern gelaufen. Außerdem wegen der langjährigen Kolleginnen und Kollegen, mit denen er noch viele gemeinsame Projekte durchführt. „Meine Arbeit profitiert vom Know-how beider Standorte.“

Die Ergebnisse seiner Arbeit lassen sich sehen und werden als Herausragend gewürdigt. Die jüngste Ehrung in der langen Reihe von Preisen ist der mit 2,5 Millionen Euro dotierte Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft. „Ich freue mich sehr über die Anerkennung und die Forschungsfreiheit, die solch ein Preis mit sich bringt.“ Die Freiheit will er nutzen, um die Bauteile zusammensetzen, die vor ihm ausgebreitet liegen, und die Forschungsstränge zu verbinden, die das KIT ihm bietet. Wir verlassen das Labor wieder. Das Licht geht aus. Wernsdorfers Experimente gehen weiter und in der unanschaulichen Welt der Quanten wird es für uns etwas heller. ■

Kontakt: wolfgang.wernsdorfer@kit.edu

ANZEIGE

## STELLENANGEBOT

CONSILIO

Bist du dabei, dein Studium zu beenden und suchst nach einem passenden Einstieg ins Consulting? Vielleicht hast du auch schon einen Einstieg gefunden und willst jetzt so richtig durchstarten? Dann bewirb dich bei uns! Wir suchen Consulting-Nachwuchs für unsere Standorte München, Walldorf und Ratingen.

## Junior Berater SAP Logistik (m/w/d)

Je nach deinen vorhandenen Erfahrungen, z. B. durch Praktika/ Abschlussarbeiten/ Berufserfahrungen vermitteln wir dir in den ersten Monaten in Trainings mit erfahrenen SAP-Beratern aus unserem Haus oder direkt bei der SAP das Wissen, welches du für einen erfolgreichen Einstieg ins SAP Consulting benötigst. Zentraler Trainingsstandort ist unsere Geschäftsstelle in München/Aschheim. Krönender Abschluss der Trainingsphase ist eine SAP-Zertifizierung im Bereich SAP-Logistik. Danach tauchst du in die Beraterwelt in der Praxis ein. Neben ersten eigenen Projekten, z. B. im Rahmen der Weiterentwicklung unserer Branchen-Templates oder unserer Projektmanagement-Methode, werden direkt Aufgaben in der klassischen SAP-Beratung auf dich zukommen. Selbstverständlich steht dir dabei ein Mentor zur Seite, den du bei seinen Kundenprojekten begleitest und der dich weiter on the Job ausbildet. Nach erfolgreichem Abschluss des Programms wirst du erste eigene Projekte im Consulting bei der CONSILIO GmbH übernehmen und in deiner Karriere als SAP-Berater einen weiteren wichtigen Schritt gehen.

## Was bringst du mit um SAP-Berater zu werden?

- ✓ Ein abgeschlossenes Studium mit wirtschaftlichem und/oder technischem Schwerpunkt
- ✓ Erste Berührungen und/oder Berufserfahrung mit SAP
- ✓ Interesse an der Realisierung innovativer IT-Lösungen
- ✓ Kommunikationsstärke und eine rasche Auffassungsgabe
- ✓ Uneingeschränkte Reisebereitschaft
- ✓ Fließende Deutsch- und Englischkenntnisse

## Warum du gerade bei CONSILIO deine Karriere beginnen solltest?

- ✓ Mit deinem Arbeitsbeginn bei uns startest du gleich in den Berufsalltag und kannst an nationalen und internationalen Projekten bei namhaften Unternehmen mitwirken.
- ✓ Wir bieten dir die Möglichkeit, viele und neue Erfahrungen in der SAP-Welt zu sammeln, von denen du in der Zukunft profitieren kannst.
- ✓ Team Play und Offenheit wird bei uns großgeschrieben. Wir sind keine Einzelkämpfer, CONSILIO geht es darum, miteinander stark zu sein.
- ✓ Sich im Team wohlfühlen liegt uns sehr am Herzen. Neben 30 Tagen Urlaub und der betrieblichen Altersvorsorge bieten wir verschiedene Firmenevents an (wie z. B.: Ski- & Snowboardfahren, Sommerfest, gemeinsames Grillen, Weihnachtsfeier mit Familie/Partner und Kindern), um den Zusammenhalt im Team zu stärken.
- ✓ Wir übernehmen deine Kosten für die evtl. anfallende Kinderbetreuung.
- ✓ Unser Ziel ist es, dass du dich weiterentwickelst – fachlich wie persönlich – und übernehmen gerne die Kosten für Schulungen und Zertifizierung.
- ✓ Unsere Unternehmenskultur zeichnet sich durch kurze Entscheidungswege, viel Freiraum und selbstständiges Arbeiten aus.
- ✓ Unsere Leidenschaft ist die Beratung und dieses Wissen teilen wir gern.
- ✓ Unsere Kollegen freuen sich auf dich und haben stets ein offenes Ohr für dich.



CONSILIO ist Experte für die Optimierung und Digitalisierung von Prozessen und Planungsstrategien mit innovativen Lösungen sowie die Transformation von integrierten SAP-Anwendungen nach S/4HANA. Aus den Branchen Automotive, Maschinenbau und der Prozessindustrie vertrauen uns unsere Kunden anspruchsvolle und spannende SAP-Projekte an.

## Weil wir sie verstehen.

Freiraum für selbstständiges Arbeiten, verantwortungsvolle Aufgaben und die persönliche Entwicklung unserer Mitarbeiter sind für uns selbstverständlich.

## Weil sie uns wichtig sind.

Teamarbeit, eine direkte Kommunikation und kurze Entscheidungswege sind unsere Philosophie.

## Weil das unseren Erfolg sichert.

Profitiere auch du von unserem Know-how!

**CONSILIO GmbH**  
Anja Abdalla  
Einsteinring 22  
85609 Aschheim bei München  
T +49 (89) 96 05 75-17  
F +49 (89) 96 05 75-10  
M anja.abdalla@consilio-gmbh.de  
W www.consilio-gmbh.de



SAP® Recognized Expertise



## EINE INTELLEKTUELLE DER ÖFFENTLICHEN WISSENSCHAFT

PETER WEIBEL



FOTO: CHRISTOPH HIERHOLZER

Die akademische Landschaft befindet sich im 21. Jahrhundert in einer Phase des Umbruchs. Das KIT, 2006 hervorgegangen aus der institutionellen Zusammenführung der 1825 als Polytechnikum gegründeten Universität Karlsruhe und dem 1956 ins Leben gerufenen Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK), ist dafür das beste Beispiel: Diese institutionelle trans- und multidisziplinäre Allianz entstand aus der Einsicht, zwischen Lehre und Forschung eine neue Gleichung herzustellen, prototypisch für die inter-, trans- und crossdisziplinären Tendenzen der Wissensgesellschaft von heute. Das 1989 gegründete Interfakultative Institut für angewandte Kulturwissenschaften der Universität Karlsruhe, seit 2002 ZAK | Zentrum für Ange-

wandte Kulturwissenschaft und Studium Generale am KIT, dessen Gründungsdirektorin Caroline Y. Robertson-von Trotha ist, ist ein weiterer agiler Beleg für die Erweiterung der Kompetenzfelder in der Wissensgesellschaft: Zu den beiden klassischen Säulen von Forschung und Lehre kommt als dritte Säule das hinzu, was man in der Tradition von Public Understanding of Sciences and Humanities (PUSH) beziehungsweise der Scientific Literacy unter dem Begriff *Öffentliche Wissenschaft* fasst.

Die Soziologin und Kulturwissenschaftlerin Caroline Y. Robertson-von Trotha ist eine Pionierin dieser Öffentlichen Wissenschaft. Durch ihre weiterführenden Aktivitäten für das ZAK wie die Karlsruher Gespräche mit illustren Keynote Lecturers von Weltgeltung (von Hans-Dietrich Genscher bis Timothy Snyder), die Karlsruhe Science Film Days und das Colloquium Fundamentale

hat sie Karlsruhe zu einem Leuchtturm der Öffentlichen Wissenschaft gemacht. Als Herausgeberin von mehr als 30 Bänden und Autorin zahlreicher Essays und Vorträge hat sie die interkulturelle Kulturarbeit mit großer Akkuratess und Engagement maßgeblich beeinflusst. Ihre Themensetzungen bezeugen in gleicher Weise Klarheit für das Spektrum an brisanten Themen in der Mitte der Gesellschaft, wie Um- und Weitsicht sowie Strategien der Aufmerksamkeit für das, was in den Randbereichen aus dem Blick zu drohen gerät. Entscheidende Veränderungen unserer Gesellschaft, unserer Wissenschaft, unserer Kultur, die durch die technischen Entwicklungen und Prozesse der Globalisierung an Dynamik gewinnen, werden gleichsam wie durch ein Periskop beobachtet und kommentiert. Durch ihre neuartige Theorie und Praxis einer Öffentlichen Wissenschaft in Verbindung mit Lehre und Forschung hat Robertson-von Trotha



Die Vernetzung von Wissenschaft mit der Gesellschaft gehört zum Selbstverständnis der Aktivitäten des ZAK

The networking of science with society is part of the ZAK's self-image

tha ist eine »konstruktive Intellektuelle« (Bernhard von Mutius), die durch ihre institutionelle lehrende und forschende Arbeit, durch die Konzeption öffentlicher Veranstaltungsformate und individuelle Publikationen den Möglichkeitsraum gesellschaftlicher Wirklichkeit erweitert.

Vernetzten, organisierten und engagierten sich in den staatlichen Gemeinschaften unserer Zeit

mehrere dieser herausragenden konstruktiven Intellektuellen, so müssten wir uns um die Zukunft der Zivilgesellschaften und Demokratien weniger sorgen. Mit ihrer Arbeit hat Frau Robertson-von Trotha eine Lebensleistung vollbracht, die für das zeitgenössische akademische Feld exemplarisch ist. ■

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

Peter Weibel, Vorstand des ZKM | Zentrum für Kunst und Medien Karlsruhe

Peter Weibel, Director of the ZKM | Center for Art and Media Karlsruhe

## An Intellectual for Public Science

Tribute by Peter Weibel, Director of ZKM | Center for Art and Media, to Caroline Y. Robertson-von Trotha, Founding Director of the Centre of Cultural and General Studies of KIT on the Occasion of Her Retirement

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

The interdepartmental Institute for Applied Cultural Sciences of Karlsruhe University established in 1989 and known since 2002 as ZAK | Centre of Cultural and General Studies of KIT, is extending the competencies of our knowledge society. In this case, the two classical pillars of research and academic education are complemented by a third pillar of what is called public science, in the tradition of PUSH (public understanding of sciences and humanities) or scientific literacy.

The centre's wide variety of activities, including the Karlsruhe Dialogs with illustrious keynote lecturers of international standing ranging from Hans-Dietrich Genscher to Timothy Snyder, the Karlsruhe Science Film Days, and the Colloquium Fundamentale, has made sociologist and cultural scientist Caroline Y. Robertson-von Trotha a shining figure of public science in Germany. As editor of more than 30 volumes and author of a number of essays and lectures, she has indelibly influenced intercultural work with her exactitude and commitment. Her efforts equally reflect her clear-sightedness regarding the full spectrum of controversial issues at the center of society, her prudence and far-sightedness, as well as her strategies for focusing attention on what could easily disappear in peripheral areas. Decisive changes to our society, our science, and our culture, which gain momentum through technical developments and globalization processes, are observed through a periscope, so to speak, and commented upon. Through her new theory and practice of public science in connection with academic education and research, Robertson-von Trotha managed to transfer the most important aspects of today's society, such as globalization, multiculturalism, cultural heritage, integration policy, citizens' society, and cultural pluralism, from expert knowledge to a form that involves all of the public in a discussion. Robertson-von Trotha is a "constructive intellectual" (Bernhard von Mutius), who extends the possibilities of the society by her institutional education and research work, by the conception of public event formats, and her individual publications. With her work, Mrs. Robertson-von Trotha has accomplished a lifetime achievement that is of exemplary character in contemporary scholarly work. ■

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

# Caroline Y. Robertson-von Trotha



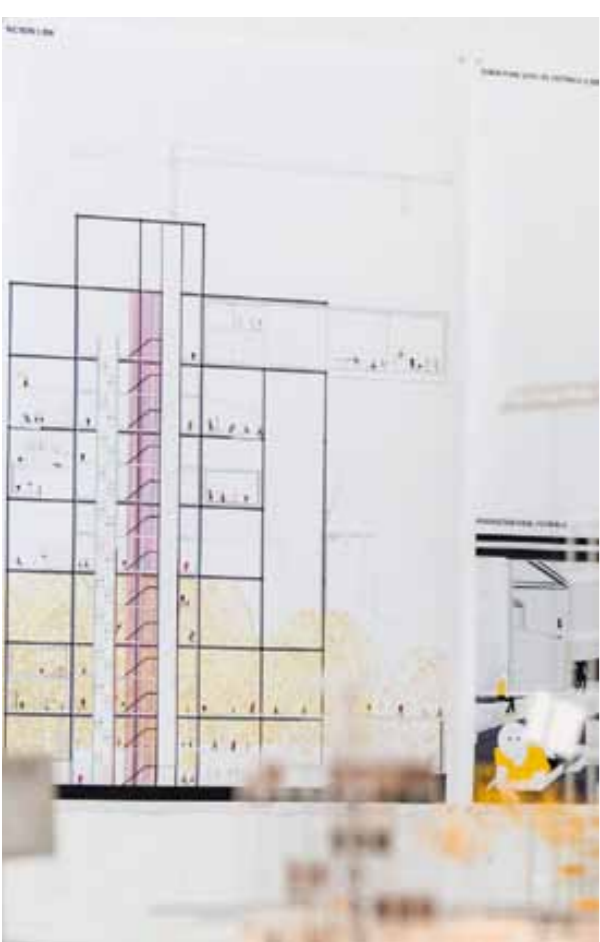
FOTO: SANDRA GÖTTISHEIM





# No Progress without Experiment

FOTOS: AMADEUS BRAMISIEPE



**Starting in the winter term 2017/18, the KIT Department of Architecture established an international guest professorship. It is held for one semester each year. The Department aims at strengthening the internationality of its study programs by offering seminars taught in English. In 2018/19, Aljoša Dekleva holds the professorship, an architect from Ljubljana in Slovenia. Together with Tina Gregorič, he founded dekleva gregorič architects that was granted the 2009 International Architecture Award, for example. In lookKIT, Dekleva provides insights into his approach as a researching architect and the way he motivates students to try, to decide, and to communicate. Failures included.**

**lookKIT:** When you design a new building or facility, what do you focus on?  
**Professor Aljoša Dekleva:** "One thing is that architecture comes out of architecture. As architects, we somehow rework all of our knowledge into something new. This includes our upbringing, our experiences as kids, our environments throughout the period of our forming as personalities, our education. Secondly, architecture

is very site-specific. It is relevant to the place, where it is created. The context is very important and its content varies from climate and built environment to cultural and social or political conditions. Finally, architecture is a discipline very much characterized by materials."

**lookKIT:** What is the reason for changes in architecture over the centuries?

**Aljoša Dekleva:** "I do not think that architecture changes substantially over time. The topics we address are the same as in Ancient Egypt – it is always about reflecting society. Architectural changes are related to how the society is changing. And, of course, the pyramids somehow reflect the society at that time. As Winston Churchill said on the occasion of the Commons Chamber rebuilding debate: "We shape our buildings and afterwards our buildings shape us."

**lookKIT:** Let us put it a bit more personal: Would you say that your own approach as an architect has changed over the years?

**Aljoša Dekleva:** "What remains is: Without experiment, there is no progress. If we are only repeating what we know from previous experi-

## About Aljoša Dekleva

Born in 1972, Aljoša Dekleva graduated from the Faculty of Architecture at the University of Ljubljana in 2002. He received his master's degree in architecture with distinction at the Architectural Association in London. In 2003, he co-founded dekleva gregorič architects, since 2014, he has been the program head of the AA Nanotourism Visiting School at the Architectural Association in London. Dekleva has been a guest professor at the École d'architecture de l'Université de Montréal, Canada, and at the ENSAPVS in Paris, France. The work of dekleva gregorič arhitekti first received international attention with XXS house. It was granted the Silver Plate, European Architecture Award Luigi Cosenza, in 2004 and the WALLPAPER\* award, Best breakthrough designers, in 2005. In 2009, their metal recycling plant ODPAD received the International Architecture Award and won Plečnik's Medal prize in Slovenia, among others. In 2012, the office was selected for the "21 for 21 WAN AWARDS 2012 – Searching for 21 Architects for the 21st Century." Tina Gregorič and Aljoša Dekleva were awarded Prešern's Fund Award, Slovenia's highest cultural recognition, in 2019.



## INTERVIEW WITH ALJOŠA DEKLEVA, SLOVENIAN GUEST PROFESSOR AT THE KIT FACULTY OF ARCHITECTURE



ence, we do not push the boundaries. We design through research. That means, we have to try out things in each of our projects in order to understand how we can do things better. Thus, we are asking ourselves how to act beyond standard and beyond the obvious. The projects offering most opportunities to do so are related to the topic of individual home. Making homes involves a set of individuals with certain, very specific needs and activities. We begin with understanding those needs and activities, the way these people live at their homes, and start integrating specific solutions into the architectural proposal through some experiment. We try to apply this approach also to public projects, although everything is so much more regulated."

**lookKIT:** Is there a chance to apply your findings from individual projects to bigger public regulated projects?

**Aljoša Dekleva:** "Yes, there is. We think that due to the growth of population and lack of space, sharing is one of the very important topics while doing architecture. You already have models of sharing present in our society, for instance, sharing cars or weekend houses. We introduced this idea of sharing in a collective housing project of a National Housing Fund in Slovenia 15 years ago. We participated in an architectural public competition for collective housing where the task was to design a regular collective housing project. Everything was pre-described, including the urban layout and the size and the structure of the flats. We proposed those 200 flats within the neighborhood structured such that each entrance provided access to not more than 25 to 30 flats. From social sciences, we know that only a limited number of families having the same entrance to their building can create community. We also proposed a shared community room next to each entrance. We were lucky enough to win – although we proposed something that had not been specified in the brief and it required extra space and finance. As a result, the dwellings in our project were sold much faster, through the costs per square meter were slightly higher than those of the neighboring flats. Later on, when the National Housing Fund organized another competition just next door to our built neighborhood, the shared community spaces were already included in their brief. For us, this was a little victory."

**lookKIT:** How do you share these ideas and your experience with the students?

**Aljoša Dekleva:** "Well, I had a very old professor, Stanko Kristl, a modernist who was thinking beyond mere function. He said "a child does not learn to walk by watching others walking, but has to try walking and fall." To my mind, the

best way to work with students is to let them do their own tasks, their own projects, have their own experience in carrying out a project on their own, which their mentor or professor discusses with them. Without failure, there is no success. Architecture in the first place is a process of thinking and then it comes to design. Very important in this context is students' group work, where they learn how to progress in communication with others. Architecture is a multi-disciplinary profession where one has to communicate within the core of the group of professionals and also with the public all the time."

**lookKIT:** And do you encourage the students to do research into the projects they are developing?

**Aljoša Dekleva:** "Absolutely, but at the same time, you have to be able to make a step forward to take a decision. I believe that most of today's architectural schools produce technocratic architects. In my experimental teaching program AA Nanotourism Visiting School, I try to detach the students from the drawing table into an environment where we think about architecture and we discuss about how the decisions are taken and how they get physically manifested. I want the students to move along a specific learning circle: they start with research which means understanding environment, the place, the user, and the material they are interacting with, before they go into a phase of decision making which is simply designing a product or solution. And the third part is making a physical prototype scaled 1:1. And then, the most important moment comes when they give these life-scale prototypes to those specific people – users for whom they have designed them. In this way, the students get the most relevant feedback on their decision making. The student groups usually make four or five iterations of this cycle of research, design, and make within a course of a couple of weeks. This

## Kein Fortschritt ohne Experimente

### Ein Gespräch mit Aljoša Dekleva, slowenischer Gastprofessor an der KIT-Fakultät für Architektur

Im Wintersemester 2017/18 hat die KIT-Fakultät für Architektur eine internationale Gastprofessur eingerichtet, die sie jährlich für ein Semester vergibt. Die Fakultät möchte damit das internationale Studienangebot durch englischsprachige Lehrveranstaltungen stärken. Gastprofessor 2018/2019 ist Aljoša Dekleva, Architekt aus Ljubljana in Slowenien.

„Als Architekt arbeitet man das gesamte vorhandene Wissen immer wieder auf und gestaltet es zu etwas Neuem“, erklärt Dekleva im Interview. Dieser Prozess werde beeinflusst von Kindheitserfahrungen, der Erziehung und der Entwicklung der eigenen Persönlichkeit. Beständiger Ansatz der Architektur sei es, „die Gesellschaft zu reflektieren.“ Architektonische Veränderungen würden in Beziehung zu gesellschaftlichem Wandel stehen, sagt der Architekt und zitiert Winston Churchill: „Wir formen unsere Gebäude und dann formen unsere Gebäude uns.“

Deklevas Ziel ist es, über den Standard und über das Offensichtliche hinaus zu gehen. Dabei sei es wichtig, Grenzen auszureizen und nicht nur das zu wiederholen, was man aus vorhandenen Erfahrungen kennt: „Ohne Experimente gibt es keinen Fortschritt.“ Projekte, die mit dieser Herangehensweise die meisten Entfaltungsmöglichkeiten böten, seien die, die mit dem individuellen Wohnen zu tun haben. Als Beispiel führt Dekleva ein Projekt für Mehrfamilienhäuser in Slowenien an, in das sein Architekturbüro das Konzept des Sharing einbringen konnte.

Deklevas Ansatz in der Lehre ist unter anderem von einem Professor geprägt, dem er selbst als Student begegnete und der meinte: „Das Kind lernt nicht laufen, indem es anderen beim Laufen zusieht, sondern es muss selbst versuchen zu laufen und dabei hinfallen.“ Dekleva gibt darum seinen Studentinnen und Studenten Aufgaben mit dem Ziel, dass sie Erfahrung darin sammeln können, Projekte selbstständig umzusetzen. Architektur ist für ihn zuallererst ein Denkprozess – es sei wichtig, dass die Studierenden auch in Gruppen arbeiten und diskutieren und dabei lernen, ihre Ideen zu kommunizieren.

Seine Studierenden sollen verstehen, dass sie innerhalb der Umgebung arbeiten, in der sie leben und die sie erleben: „Es ist essenziell, der lokalen Gesellschaft etwas zurückzugeben.“ So war es ihm wichtig, an einem Projekt in Karlsruhe mitzuarbeiten, das sich um die Festhalle in Durlach drehte.

Dekleva ist sehr daran interessiert, in unterschiedlichen Umgebungen zu lehren: „Diese Erfahrungen sind auch für mich ein Lernprozess.“ So konnte er sich am KIT beispielsweise mit dem Professor für Architekturkommunikation, Dr. Riklef Rambow, darüber austauschen, wie entscheidend es ist, Architektur zu kommunizieren: „Dabei konnte ich einiges lernen.“ ■

understanding of an architect's role is very different from the "This is my table, this is my brief, this is my design – and goodbye" attitude."

#### lookKIT: What do you take with you from the exchange with your colleagues?

**Aljoša Dekleva:** "Exchange of experience is precisely one of the reasons why I am interested in teaching in different environments and with different people. It is a learning process for me as well. Here in Karlsruhe, I considered it very important to do a local project. I was very happy that Oriana Kraemer was appointed my assistant. I asked her to propose a locally important site and as she is also working in the Urban Planning Department of Karlsruhe, we were able to engage deeply with specific local issues. We decided to work on the proposal for the new Festhalle Durlach."

#### lookKIT: What is the importance of doing a local project?

**Aljoša Dekleva:** "It is essential to learn how to understand something that comes from the local society and to give something back to it. Especially for the students, it is crucial to realize that they work in the environment in which they live or which they experience. Personally, I would not know how to design in China without really understanding all the aspects of the place, for example."

#### lookKIT: So you think this kind of exchange plays a decisive role?

**Aljoša Dekleva:** "Yes. Communicating architecture is indispensable. I discussed this a lot with Professor Riklef Rambow here in Karlsruhe. This is his topic and we identified overlaps of our research activities. I learned quite a lot from that. And it is also very important for students that they are aware of the fact that communication in architecture is of high relevance. They may have a brilliant design which may be very important to the community, but if they cannot communicate it in an understandable and compelling way, it is like it never existed." ■

Corinna Stahl and Dr. Klaus Rümmele talked to Aljoša Dekleva.

*Students of the architect Aljoša Dekleva have come up with a concept for the redesign of the Festhalle Durlach. Here, the results are presented to an internal jury*

*Studierende des Architekten Aljoša Dekleva haben sich mit einem Konzept für die Neugestaltung der Festhalle Durlach auseinandergesetzt. Hier im Bild die Präsentation der Ergebnisse vor einer internen Jury*

FOTO: ALFRED-WEGENER-INSTITUT/ESTHER HORVATH



## TREFFEN IM EWIGEN EIS

### MEETING IN THE PERMANENT ICE

VON SARAH WERNER // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Da staunte der Student Konstantin Kröger nicht schlecht, als er gute 14 000 Kilometer von Karlsruhe entfernt dem Präsidenten des KIT, Professor Holger Hanselka, die Hand schüttelte. Getroffen haben sich beide auf der Neumayer-Station III, in der nördlichen Antarktis. Hier arbeitet der Masterstudent vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) des KIT an einer internationalen Messkampagne mit. Viermal am Tag startet er von seinem ungewöhnlichen Arbeitsplatz aus einen Wetterballon, um meteorologische Daten über die Troposphäre und untere Stratosphäre über dem ewigen Eis zu sammeln. Holger Hanselka führte das 10-jährige Bestehen der Station in die Antarktis: Als Teil einer Delegation aus Wissenschaft und Politik konnte er vor Ort einen Einblick in den (Forschungs-) Alltag auf der Neumayer III bekommen und damit auch in Krögers Arbeit. Über das ganze Jahr hinweg führen hier Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einzigartige Messreihen unter den Extrembedingungen der Antarktis durch. Forschungsschwerpunkte sind dabei etwa die Zusammensetzung der Atmosphäre, die Entwicklungen des Meereises oder die antarktische Lebensvielfalt.

Ab Sommer 2019 wird das IMK die Forschung auf der Station mit einem neuartigen Gerät zum Messen von Treibhausgasen über der Antarktis unterstützen. Das kompakte Spektrometer ist dabei deutlich kleiner als bisher übliche Instrumente. Dank neuer Technologien liefert es aber ebenso genaue Ergebnisse über den kompletten Kohlenstoffkreislauf, von lokalen Emissionen über den Transport bis hin zu den Senken. Die Klimaforscherinnen und -forscher des KIT haben das Gerät bereits in der Arktis getestet: Den extremen Bedingungen hält es problemlos stand. ■

KIT student Konstantin Kröger was quite astonished when he met the President of KIT, Professor Holger Hanselka, some 14,000 km from Karlsruhe at Neumayer III Research Station in Northern Antarctica. Here, the master's student in KIT's Institute of Meteorology and Climate Research (IMK) is involved in an international measurement campaign. Four times per day, he launches a weather balloon to collect meteorological data about the troposphere and lower stratosphere above the permanent ice. Holger Hanselka came to the station as a member of a delegation representing German science and politics to celebrate the 10th anniversary of the research station. He gained insight into the work and research Kröger is conducting there. Throughout the year, researchers make a series of measurements under the extreme Antarctic conditions. Research focuses on the composition of the atmosphere, development of sea ice, and the diversity of species in Antarctica.

In summer 2019, IMK plans to install a new type of instrument at the station to measure greenhouse gases above Antarctica. The compact spectrometer is far smaller than instruments previously used. Thanks to new technologies, however, it supplies data of the same precision about the complete carbon cycle, from local emissions to transport to sinks. KIT's climate researchers have already tested their instrument in the Arctic without any problems. ■





FOTO: LYDIA ALBRECHT

## UNESCO-AUSZEICHNUNG

KIT IST LERNORT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG

## UNESCO AWARD

KIT LOCATION FOR LEARNING ABOUT SUSTAINABLE DEVELOPMENT

VON SANDRA WIEBE // TRANSLATION: RALF FRIESE // FOTO: LYDIA ALBRECHT

Fahrradcampus, Reallabor, Klima- und Umweltforschung, Frühlingstage der Nachhaltigkeit: Am KIT mangelt es nicht an nachhaltigen Konzepten, Aktivitäten und Ideen. Mit vielen entsprechenden Projekten für Studierende und der Ausbildung zukünftiger Akteure und Entscheidungsträger hat sich das KIT das Ziel gesetzt, seinen Beitrag zu einer nachhaltigeren Zukunft zu leisten. Dafür zeichneten die deutsche UNESCO-Kommission und das Bundesministerium für Bildung und Forschung das KIT Ende 2018 als „Lernort für Nachhaltige Entwicklung“ aus. Initiiert hatte die Bewerbung um die Auszeichnung das ZAK I Zentrum für Angewandte Kulturwissenschaft und Studium Generale am KIT zusammen mit der Stabsstelle ZUKUNFTSCAMPUS und der Karlsruher Schule der Nachhaltigkeit.

Neben der Lehre und dem partizipativen Ansatz lobte die Jury das Nachhaltigkeitsmanagement am KIT. Denn mit rund 9 300 Beschäftigten und 25 100 Studierenden entspricht das KIT dem Ressourcenverbrauch einer Kleinstadt. Das Ziel des KIT ist daher, durch eigenes Tun aktiv zum Klimaschutz beizutragen: Dazu hat das KIT unter anderem eine Stabsstelle für Nachhaltigkeit eingerichtet, die Stabsstelle ZUKUNFTSCAMPUS entwickelt nachhaltige Projekte und unterstützt die Vernetzung mit der Wissenschaft sowie die Partizipation aller Akteure, um auch nachhaltiges Handeln innerhalb der Organisation zu verankern.

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

Bikers' Campus, Real-life Laboratory, Climatology and Environmental Research, Spring Days of Sustainability: There is no shortage at KIT of sustainable concepts, activities, and ideas. The large number of these projects for students and for educating future players and decisionmakers is indicative of KIT's objective to contribute to a more sustainable future. For this approach, the German UNESCO Committee and the German Federal Ministry of Education and Research awarded KIT the title of "Location for Learning about Sustainable Development" in late 2018. The application for this award had been initiated by ZAK I Centre for Cultural and General Studies at KIT together with the Zukunftscampus Staff Unit and the Karlsruhe School of Sustainability.

In addition to teaching and a participative approach to management, it was sustainability management at KIT which won the jury's approval. Approximately 9300 staff members and 25,500 students render KIT's resource consumption equal to that of a small town. Consequently, KIT seeks to actively protect the climate by taking specific steps. Among those steps, KIT set up a staff unit for sustainability, the Zukunftscampus Staff Unit, which develops sustainable projects and supports connectivity within science and the participation of all players to make the organization itself sustainable.

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

## 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-schworer@kit.edu](mailto:domenica.riecker-schworer@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), Maïke 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 neugierigen  
Ingenieur,  
der einen  
untrüglichen  
Riecher für  
Innovationen  
hat.



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)



Ihre Leidenschaft für Innovation. Unsere Leidenschaft für Sensorik.



Intelligente Sensoren sind eine Schlüsselkomponente für Industrie 4.0 und das Industrial Internet of Things. In unserem neuen Digital Lab im Baumer High-Tech Center Bodensee bündeln wir unsere Kompetenzen, Methoden und Technologien für die digitale Transformation. Entdecken Sie Ihre Möglichkeiten in einem interdisziplinären Team aus Top-Talenten und entwickeln als Teil der internationalen Baumer Familie in Stockach zukunftsweisende IT-Lösungen für unsere Kunden in den Bereichen:

- Web- und Mobile Entwicklung
- Embedded Entwicklung
- .NET
- IoT-Plattformen (z. B. Azure, AWS, Predix)
- M2M/IoT-Protokolle (z. B. OPC UA, MQTT)

Starten Sie mit uns in Ihre Zukunft – im Praxissemester, für ein spannendes Thema Ihrer Abschlussarbeit oder «on the job».



[www.baumer.com/karriere](http://www.baumer.com/karriere)



„  
Konventionen  
brechen, statt  
weiter so.  
Das ist für mich  
Industrie 4.0.“

Wie mutig sind Sie?  
Visionäre Softwareentwickler (w/m) gesucht.

Wir suchen Softwareentwickler (w/m) mit mutigen Ideen. Als Hochtechnologieunternehmen und Anbieter von Lösungen in den Bereichen Werkzeugmaschinen und Lasertechnik definieren wir die Grenzen des Machbaren immer wieder neu.  
[www.trumpf.com/s/software-developers](http://www.trumpf.com/s/software-developers)

Trusting in brave ideas.

Andreas Schumacher  
Softwareentwickler mit Weitsicht:  
Lokalisiert in der Produktion  
selbst kleinste Objekte mit einem  
innovativen Kennzeichnungssystem.



**LINHARDT SUCHT DICH**

Starte mit uns durch!

MAIL TO:  
[BEWERBUNG.LH@LINHARDT.COM](mailto:BEWERBUNG.LH@LINHARDT.COM)

WIR, die LINHARDT Gruppe, sind einer der führenden Verpackungshersteller in Europa. Wir produzieren mit rund 1300 motivierten und hochqualifizierten Mitarbeitern an drei Standorten jährlich mehr als eine Milliarde Packmittel. Unsere Produktionsanlagen zählen zu den modernsten weltweit. Durchschnittlich investieren wir Jahr für Jahr 10 bis 15 Prozent des Jahresumsatzes. Des Weiteren gehören wir mit unseren Innovationen und der Nachhaltigkeitspolitik zur Weltspitze, was mit der Prämierung „Tube of the Year 2018“ von der Etma bestätigt wurde.

Die Initiative GESUNDE UNTERNEHMEN hat unser Werk in Hambrücken 2018 mit Gold ausgezeichnet, für die Förderung von betrieblichen Gesundheitsmaßnahmen. Diese Prämierung hat uns gezeigt, dass wir auf dem richtigen Weg sind um unseren Mitarbeitern ihre individuelle Work-Life-Balance ermöglichen zu können.

Mehr Infos: [www.linhardt.com](http://www.linhardt.com)

BACHELORARBEIT | MASTERARBEIT | PRAKTIKA | ARBEITSPLÄTZE

Wir suchen **DICH** zur  
Verstärkung unseres Teams!

**IT-SPEZIALIST (M/W/D)**

Dein Herz schlägt für die IT? Du möchtest den digitalen Wandel mitgestalten und bist dafür auf der Suche nach einem passenden Berufseinstieg? Bei uns findest du einen sicheren Arbeitsplatz mit State-of-the-Art-Equipment und mittelständischer Unternehmenskultur.

Wir freuen uns auf deinen Besuch an unserem Stand auf der KIT-Karrieremesse.

Starte mit  
uns durch und  
werde Teil des  
IT Wachstums-  
champions  
2019

```
<html>
<body>

</body>
</html>
```

Erfahre mehr unter:  
[www.fasihi.net/karriere](http://www.fasihi.net/karriere)



Bystronic  
glass

Because we care

*Perfekt. Auch Ihre Karriere.*

**WIR SIND ...**

- Teil einer internationalen Unternehmensgruppe
- Ein Unternehmen mit mehr als 50-jähriger Tradition, das sich vom Familienunternehmen zum Global Player entwickelt hat
- Technologieführer in unterschiedlichen Bereichen der Glasbearbeitung
- Ein modernes Unternehmen mit schlanken Prozessen

**WIR BIETEN ...**

- Interessante Produkte, vielfältige Technologien und herausfordernde Aufgabenstellungen
- Raum für Ideen und „Out-of-the-box“-Denken
- Leistungsgerechte Vergütung und Sozialleistungen
- Vielfältige Aufstiegschancen
- Möglichkeiten eines Auslandsaufenthalts bei unseren internationalen Niederlassungen
- Die Basis für eine erfolgreiche Zukunft

[www.bystronic-glass.com/career](http://www.bystronic-glass.com/career)



**Bauwerksabdichtungen und Blitzschutz**

Von der Planung bis zur Fertigstellung gewerblicher und privater Objekte – kompetente Beratung und optimaler Service mit **bundesweiten** Niederlassungen.

Zur Verstärkung unserer Teams suchen wir laufend **Bauingenieure (m/w) als Bauleiter**. Interesse an Bauleitung und Baustellenverantwortung, einem sicheren Arbeitsplatz, attraktiven Bezügen und einem Firmen-PKW? Dann bewerben Sie sich noch heute!



[personal@hollflachdachbau.de](mailto:personal@hollflachdachbau.de)  
[www.hollflachdachbau.de](http://www.hollflachdachbau.de)



Kommen Sie vorbei

**Wir verbinden Arbeitswelten**

Seit 1998 gestalten wir bei der SSC-Services GmbH individuelle Konzepte für die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen. Dazu gehört sowohl die Entwicklung unserer hauseigenen Software als auch der Aufbau von IT-Landschaften und das Identity & Access Management.

Dabei verstehen wir uns als Wegbereiter und Ideengeber. Eine Grundlage unseres Erfolgs ist die optimale Kommunikation zwischen uns und unseren namhaften Kunden. Hilfsbereite Kollegen, ein Arbeitsplatz zum Wohlfühlen, spannende Projekte und eine moderne Arbeitsweise machen uns aus. Für uns ist es selbstverständlich, dass unsere Mitarbeiter ihre eigenen Ideen einbringen. Wir machen es möglich, dass Sie Ihre Karriere mit allen Phasen Ihres Lebens vereinbaren können.

Wachsen Sie gemeinsam mit uns. Bewerben Sie sich auf eine unserer Einstiegspositionen oder initiativ. Wir freuen uns auf Sie.

SSC-Services GmbH  
Herrenberger Str. 56  
71034 Böblingen  
[personal@ssc-services.de](mailto:personal@ssc-services.de)  
[www.ssc-services.de/perspektiven](http://www.ssc-services.de/perspektiven)  
[www.schluesel-erlebnis.de](http://www.schluesel-erlebnis.de)



**Hacken im Wald: anstrengend.  
Hacken bei uns: aufregend!**

**Wir**

- testen IT-Systeme und simulieren Hackerangriffe
- sind Marktführer im Bereich Penetrationstest
- führen interessante, anspruchsvolle Projekte basierend auf unserer Berufsethik durch
- schreiben Zusammenhalt groß in einem kreativ-dynamischen Team und
- bieten dir eine Karriere als **IT Security Consultant**

**Du**

- siehst den Wald vor lauter Bäumen und führst alle Schritte bis zur Problemlösung durch
- brennst darauf, IT-Systeme zu durchdringen und Schwachstellen zu finden
- bist ein Querdenker, reisebereit, flexibel und kundenorientiert
- suchst ein aufstrebendes Unternehmen mit freundschaftlichem Arbeitsklima und
- stehst auf der guten Seite?

**Dann bewirb dich: [jobs@syss.de](mailto:jobs@syss.de)**

**SySS GmbH**

Schaffhausenstraße 77 · 72072 Tübingen  
Tel.: +49 - (0)7071 - 407856-77  
[www.syss.de](http://www.syss.de)



**SV Sparkassen  
Versicherung**



**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)



**TOP**  
NATIONALER  
ARBEITGEBER  
2018

**FOCUS**  
DEUTSCHLANDS  
BESTE ARBEITGEBER  
IM VERGLEICH  
IN KOOPERATION MIT  
HUNUNU | statista  
FOCUS-BUSINESS  
01 | 2018



karriere.ww-ag.com

## Mitdenken und mutig sein. Eine vielversprechende Perspektive.

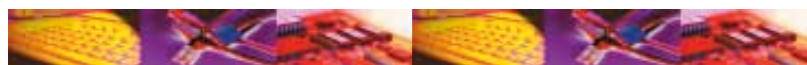
Besuchen Sie uns auf der KIT-Karrieremesse am 16. Mai 2019  
in Karlsruhe!

Wir suchen an unseren Standorten in Stuttgart und  
Ludwigsburg Mit- und Querdenker aus folgenden Bereichen:

- (Wirtschafts-)Mathematik bzw. Aktuarswissenschaften
- (Wirtschafts-)Informatik
- Wirtschaftsingenieurwesen

Bewerben Sie sich bei uns für ein **Praktikum**, Ihre **Abschlussarbeit** oder einen **Direkteinstieg** als **Berufseinsteiger/in** oder **Berufserfahrene/r** unter [karriere.ww-ag.com](http://karriere.ww-ag.com) und werden Sie ein Teil von uns.

**ww** wüstenrot  
württembergische



Das Landeszentrum für Datenverarbeitung (LZFD) der Oberfinanzdirektion Karlsruhe ist das Steuerrechenzentrum und der zentrale IT-Dienstleister für die Finanzverwaltung in Baden-Württemberg. Mit rund 550 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erbringt das LZFD an den Standorten Karlsruhe, Stuttgart und Freiburg umfassende IT-Dienstleistungen von der Softwareentwicklung über das Scannen der Steuererklärungen, die Steuerberechnung bis hin zum Drucken der Bescheide und die technische Betreuung aller Finanzämter in Baden-Württemberg. Darüberhinaus agiert das LZFD auch als IT-Dienstleister für andere Behörden in Baden-Württemberg und für weitere Bundesländer.

Für unsere Standorte Karlsruhe, Stuttgart und Freiburg sind wir auf der Suche nach qualifiziertem Personal zur Verstärkung unserer Teams.

Aktuelle Stellenausschreibungen finden Sie auf unserer Seite auf der Homepage der Oberfinanzdirektion Karlsruhe <https://ofd-karlsruhe.fv-bwl.de/pb/Lde/Startseite/Aktuelles/Stellenmarkt+EDV>.

Oder lassen Sie uns einfach Ihre Initiativbewerbung an [simone.rothengatter@ofdka.bwl.de](mailto:simone.rothengatter@ofdka.bwl.de) zukommen.

Außerdem finden Sie uns auf der diesjährigen KIT-Karrieremesse am 16.05.2019. An unserem Stand können Sie weitere Informationen über uns erhalten.

### Willis Towers Watson sucht Dich in Wiesbaden und Reutlingen!

Du bist ein talentierter Absolvent (m/w/d) aus einem der Studiengänge Mathematik, Rechtswissenschaften, Wirtschaftswissenschaften oder Informatik?

Nutze **Deine Chance** auf einen Karriereestieg bei einem weltweit führenden Unternehmen in den Bereichen Advisory, Broking und Solutions mit flachen Hierarchien und kooperativer Unternehmenskultur!

**Interessiert?**  
Erfahre mehr über uns und unsere  
Karrieremöglichkeiten auf  
[www.willistowerswatson.de](http://www.willistowerswatson.de)

PS: Wusstest du, dass wir unter anderem der älteste Versicherungsmakler der Welt sind? Wir waren beispielsweise der Broker für die **Titanic**, den **Moon Buggy** aus der **Apollo Mission** und die **Hindenburg**.

Willis Towers Watson

# Be the next generation

... with the matrix of vision.

## Ideen und Produkte

MATRIX VISION ist im Bereich der industriellen Bildverarbeitung heute ein wichtiger Partner für Kunden in aller Welt.

## Made in Germany

Das 1986 gegründete Unternehmen, mit derzeit nahezu 100 Mitarbeitern, entwickelt und



MATRIX VISION GmbH · Talstrasse 16 · 71570 Oppenweiler · Tel.: +49-71 91-94 32-0 · [jobs@matrix-vision.de](mailto:jobs@matrix-vision.de)



vermarktet weltweit eine Vielzahl von standardisierten und kundenspezifischen Produkten und Lösungen für die industrielle Bildverarbeitung.

Wir schaffen mit unseren hochqualifizierten Mitarbeitern Innovationen moderner Hardware und Software. Das bedeutet Erfolg, Sicherheit und Wachstum. Deshalb suchen wir Sie.

## Machen Sie mit:

Gemeinsam gestalten wir die Zukunft.  
[www.matrix-vision.com/karriere.html](http://www.matrix-vision.com/karriere.html)

# Karriere im Wachstumsmarkt industrielle Bildverarbeitung

- Applikation
- Softwareentwicklung
- Vertrieb

**WIR STELLEN EIN!**

**SAC**  
[www.sac-vision.de](http://www.sac-vision.de)

Zukunft ernten.



Talente gesucht, die auf allen Feldern zu Hause sind.

Die Landtechnik ist einer der lebenswichtigsten Wirtschaftszweige der Welt, denn die Menschheit wächst immer weiter. So werden im Jahr 2025 etwa 8 Mrd. Menschen auf der Erde leben. Moderne Erntemaschinen helfen, die steigende Nachfrage nach Nahrungsmitteln zu bedienen. Hightech-Produkte von CLAAS sind in 140 Ländern im Einsatz. Mit mehr als 11.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an unseren Standorten weltweit erzielen wir einen Umsatz von 3,8 Mrd. Euro.

Zukunft ernten: [www.claas.jobs](http://www.claas.jobs)



Die Rockwell Collins Deutschland GmbH, a part of Collins Aerospace, ist ein führendes Unternehmen der elektronischen Ausrüstungsindustrie.

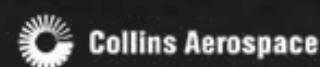
Zu unserem Kerngeschäft gehören die Entwicklung, Herstellung, Vertrieb und Wartung von Avionik-Systemen, Kommunikations- und Navigationsgeräten sowie Displays.

Im Geschäftsfeld Raumfahrttechnik ist Rockwell Collins Deutschland weltweit einer der größten Lieferanten von Stabilisierungsschwungrädern für Satelliten.

Für unsere Entwicklungsabteilung suchen wir Studierende (m/w/d) und Absolventen (m/w/d) folgender Studiengänge:

- Informatik
- Technische Informatik
- Informationstechnik
- Luft- und Raumfahrttechnik
- Elektrotechnik
- Mechatronik

Wir freuen uns über Ihre Bewerbung an:  
rcd-jobs@rockwellcollins.com



© 2019 Collins Aerospace, a United Technologies company. All rights reserved.  
Collins Aerospace Proprietary. This document contains no export controlled technical data.



ONE WORLD • OUR APPROVAL



Hohe Spannungen, fliegende Verdrachtung, heiße Oberflächen und bewegte Teile... Was im Uni-Labor noch akzeptabel scheint, wird im täglichen Leben schnell zur gefährlichen Falle. Denn nicht jeder weiss um die Gefahren oder lässt sich durch Warnschilder abschrecken.

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 immer viel zu tun gibt, sind wir am Standort Pfinztal ständig auf der Suche nach Verstärkung durch **Prüfingenieure**. Das gilt für unser akkreditiertes Sicherheits- und EMV-Labor als auch für die Prüfungen vor Ort an Gebäuden und Anlagen im Bereich der Revision.

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.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbungen!

Nemko GmbH & Co. KG  
- Bewerbung -

Reetzstr. 58  
76327 Pfinztal

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

SEITENBAU



AGILE WERTE. TÄGLICH GELEBT.  
**BEWIRB DICH JETZT!**

u. a. Scrum Master, Software-Entwickler, UX-Designer, Technical Consultant (m/w/d)

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



**Verwirklichen Sie mit SCHNEEBERGER zukunftsweisende Technologien**

SCHNEEBERGER ist heute mit über 450 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter einer der größten Arbeitgeber im Schwarzwald. Unser erforderliches Know-How hat seinen Ursprung in unserer international operierenden, mittelständischen Firmengruppe, deren Mitarbeitenden mit Kreativität, Ideenreichtum und Eigeninitiative zum ständig wachsenden Erfolg unseres Unternehmens beitragen.

**Menschen schaffen Werte**

Bei SCHNEEBERGER steht der Mensch im Mittelpunkt. Unsere qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind es die für Qualität in jeder Hinsicht sorgen. Diese Leistung entsteht nicht durch Zufall, sie ist Absicht und Resultat überdurchschnittlichen Einsatzes. Wir bieten Persönlichkeiten Freiräume für die Entfaltung von Engagement und Kreativität. Wir wollen die Besten sein und aus der Zukunft das Beste machen. Nicht zuletzt deshalb wurde SCHNEEBERGER ausgezeichnet als ein Glanzlicht der Wirtschaft in unserer Region.

SCHNEEBERGER bietet technisch versierten Ingenieuren, Technikern und Facharbeitern, vorzugsweise aus dem Bereich der spannenden Fertigung oder Elektronik, anspruchsvolle Entfaltungsmöglichkeiten in einem dynamischen und erfolgreichen mittelständischen Unternehmen. Eine den Anforderungen entsprechende Vergütungspolitik, Unterstützung der persönlichen und kontinuierlichen Weiterentwicklung sowie umfangreiche soziale Leistungen sind für uns selbstverständlich.

SCHNEEBERGER GmbH  
Personalleiter Herr Werner | Gräfenau 12  
75339 Höfen/Enz | Telefon: 07081 782-165  
E-Mail: [michael.werner@schneeberger.com](mailto:michael.werner@schneeberger.com)  
[www.schneeberger.com](http://www.schneeberger.com)



Steffen Pippig  
Ingenieurbaustaff

**„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**



Innovative  
**Minds**  
wanted



**ZUKUNFT MITGESTALTEN**  
WERKSTUDENTEN | THESIS | BERUFSEINSTEIGER

Bei SÜSS MicroTec können Sie die Technologien gestalten, die das Leben in Zukunft weiter verändern werden. Wir entwickeln Spezialmaschinen für die Mikrostrukturierung – unabdingbar für die Herstellung von MEMS, Mikrochips und LEDs.

Uns begeistern Hightech, Fortschritt und Innovation, und uns begeistern Menschen, die mit ausgeprägtem Forscherdrang und einem hohen Qualitätsanspruch unsere Produkte jeden Tag besser machen.

Lernen Sie uns am 15.05.2019 auf der KIT-Karrieremesse kennen, wir freuen uns auf Sie!

SÜSS MicroTec  
Ferdinand-v.-Steinbeis-Ring 10  
75447 Sternenfels b. Pforzheim  
E-Mail: [jobs.stf@suss.com](mailto:jobs.stf@suss.com)  
[www.suss.com](http://www.suss.com)



## Hitex sucht Verstärkung:

Funktionale Sicherheit, Embedded-Systems und mehr ...

Wir sind seit 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:

- > Applikationsentwickler Embedded Systeme mit AURIX (w/m)
- > Trainee Functional Safety (w/m)
- > Mitarbeiter Support/Helpdesk (w/m)

# 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)



## Innovationen von Morgen mitgestalten

SCHWEIZER ist ein international führender Hersteller von innovativen Hochtechnologie-Leiterplatten für die Automobil-, Industrie-, Solar- und Luftfahrtelektronik. Das Unternehmen wurde 1849 in Schramberg gegründet und beschäftigt rund 800 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in einer der modernsten Fertigungsstätten für Leiterplatten.

Wollen Sie Teil unserer dynamischen Entwicklung werden? Dann starten Sie mit uns durch. Idealerweise sind Sie Student/in, Absolvent/in oder bereits Experte/in der Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Werkstofftechnik, Physik, Chemie oder Mechatronik.

Unser Team freut sich auf Sie!

Schweizer Electronic AG · Jana Stocker · Einsteinstraße 10 · 78713 Schramberg  
[www.schweizer.ag](http://www.schweizer.ag) · [kariere@schweizer.ag](mailto:kariere@schweizer.ag) · Telefon: 07422 / 512-327



SCHWEIZER  
ELECTRONIC

## beraten - planen - überwachen - vermessen - erkunden

**WALTER + PARTNER** GbR  
BERATENDE INGENIEURE VBI  
seit 1965

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 6206 - 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

**SCHWARZ**  
DIENSTLEISTUNGEN

Die Schwarz Dienstleistungen erbringen umfassende administrative und operative Dienstleistungen für die Unternehmen der Schwarz Gruppe (Kaufland / Lidl / Produktionsgesellschaften).

**MANCHE NUTZEN IT.  
DU MACHST SIE MÖGLICH.**



IOT



HYBRID CLOUD



CYBER SECURITY



DIGITAL WORKPLACE



ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE



BIG DATA

Ist was für dich dabei?  
Dann handle jetzt und entdecke  
deine Einstiegsmöglichkeiten:

- PRAKTIKUM
- WERKSTUDENTENTÄTIGKEIT
- ABSCHLUSSARBEIT
- DIREKTEINSTIEG

LERNE UNS AM  
14./15.05. AUF DER  
KIT-KARRIEREMESSE  
PERSÖNLICH  
KENNEN

[www.jobs.schwarz](http://www.jobs.schwarz)



Das  
**Regierungspräsidium Karlsruhe**  
sucht

**Bauingenieurinnen /  
Bauingenieure**

**Kompetenz. Vielfalt. Bürgernähe.**  
Diese Schlagworte stehen für das  
Regierungspräsidium Karlsruhe.

Die Einsatzgebiete finden in unserer  
Abteilung 4 – Straßenwesen und Ver-  
kehr – in der Förderung der Mobilität  
auf Autobahnen, Bundes- und Landes-  
straßen und in unserer Abteilung 5 –  
Umwelt – für ein ausgewogenes Ver-  
hältnis zwischen Mensch und Natur  
statt.

**Interesse?**

Besuchen Sie uns unter  
[www.rp-karlsruhe.de](http://www.rp-karlsruhe.de)  
Informationen über die Abteilungen und  
alle Stellenausschreibungen sind dort veröf-  
fentlicht.

[www.rp-karlsruhe.de](http://www.rp-karlsruhe.de)



**Baden-Württemberg**  
REGIERUNGSPRÄSIDIUM KARLSRUHE



# UNSER SPIELPLATZ MISST 500 km<sup>2</sup>

Hier können sich  
**INGENIEURE**  
perfekt austoben:

Gewaltige **MASCHINEN**, riesige  
**BAUWERKE** und komplexe  
**UNTERTAGEANLAGEN**  
warten auf Sie -

**ZEIGEN SIE IHR  
KÖNNEN!**

Wir freuen uns auf  
Studenten (m/w/d) der Bereiche:

- Maschinenbau
- Elektrotechnik
- Hoch- und Tiefbau
- und andere Studiengänge

Auch für Praktika, duale Studien  
oder Abschlussarbeiten



## Beste Perspektiven für Ingenieure



**Starten Sie** Ihre berufliche Laufbahn in einem mittelständischen internationalen High-Tech-Unternehmen. **Die Helmut Fischer GmbH Institut für Elektronik und Messtechnik** ist führender Spezialist für elektronische Schichtdickenmess-, Materialanalyse- und Werkstoffprüfgeräte. „Made in Germany“ ist ein wichtiger Bestandteil der FISCHER-Philosophie. Wir entwickeln und produzieren seit über 60 Jahren **innovative Messtechnik**, die auf der ganzen Welt zum Einsatz kommt: in der Automobilindustrie, im Schiffsbau, an Hochschulen, in Laboren, in der Edelmetallverarbeitung und in der Spitzentechnologie.

### Ihre Chance

**Wir beschäftigen** heute rund 300 Mitarbeiter am Stammsitz in Sindelfingen und über 600 Mitarbeiter weltweit.

**Entwickeln Sie** mit hochqualifizierten Ingenieuren und Wissenschaftlern, spezialisiert auf Elektronik, Konstruktion, Informatik, Physik und Chemie, laufend neue innovative Produkte und Verfahren.

**Wirken Sie** mit in einem erfolgreichen Unternehmen mit flachen Hierarchien an einem attraktiven Standort. Unser Firmensitz Sindelfingen liegt in naturnaher Umgebung mit sehr guter Infrastruktur und hervorragender Verkehrsanbindung.



**Wir unterstützen Sie** sowohl beruflich mit individuellen Weiterentwicklungsmöglichkeiten als auch persönlich durch interessante Sozialleistungen.

### Interessiert?

Dann senden Sie uns Ihre aussagekräftigen und vollständigen Bewerbungsunterlagen zu.

**Helmut Fischer GmbH  
Institut für Elektronik und Messtechnik**  
D-71069 Sindelfingen, Industriestraße 21  
Telefon +49(0) 7031/303-0  
Telefax +49(0) 7031/303-710  
[personal@helmut-fischer.de](mailto:personal@helmut-fischer.de)  
[www.helmut-fischer.de](http://www.helmut-fischer.de)



 Schichtdicke  Materialanalyse  Mikrohärte  Werkstoffprüfung

## **BBC CELLPACK**

Electrical Products

Isolieren, Verbinden und Schützen in Nieder- oder Mittelspannung mit innovativen, vollständigen Systemlösungen: Von hochwertigen Produkten über kompetente Beratung bis hin zu anspruchsvollen Schulungen – wir bieten mehr! BBC Cellpack Electrical Products, in Waldshut-Tiengen, ist mit ca. 300 Mitarbeitern international erfolgreich in Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Kabelgarnituren bis 42 kV.



Sie haben einen großen Teil Ihres Studiums bereits erfolgreich absolviert? Dann schnuppern Sie bei uns erste Unternehmensluft als **Praktikant oder Masterand (w/m/d)**

Oder haben Sie Ihr Studium bereits erfolgreich abgeschlossen und wünschen sich eine Einstiegsmöglichkeit in einem internationalen, anspruchsvollen Umfeld? Dann bewerben Sie sich als **Hochschulabsolvent oder Nachwuchsführungskraft (w/m/d)**

Übernehmen Sie schnell Verantwortung und wirken Sie an interessanten standortübergreifenden Projekten mit.  
**Bevorzugte Fachrichtungen: Elektrotechnik | Maschinenbau | Verfahrenstechnik | Wirtschaftsingenieurwesen | Betriebswirtschaft**

Sie haben Interesse? Dann freuen wir uns, Sie kennenzulernen! Mehr Informationen zu unserem Unternehmen sowie die Möglichkeit sich online zu bewerben finden Sie auf unserer Homepage [www.cellpack.com](http://www.cellpack.com)

# Ingenieur / Hardwareentwickler für Elektronik / Embedded (m/w): Arbeitest Du noch oder lebst Du schon?

[bewerbung@aspro-gmbh.de](mailto:bewerbung@aspro-gmbh.de)

**ASPro GmbH** · Lessingstr. 24 · 72663 Großbettlingen  
Fon (+49) 7022 4076-0 · [info@aspro-gmbh.de](mailto:info@aspro-gmbh.de) · [www.aspro-gmbh.de](http://www.aspro-gmbh.de)

**ASPro**  
ADVANCED SERVICE PROVIDER

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.

**HOBART**

STARTE JETZT DEINE KARRIERE BEIM WELTMARKTFÜHRER!

### KOMM IN EIN STARKES TEAM!

#### WIR BIETEN

Bachelor- und Master-Studenten (m/w/d) der Ingenieurs- oder Wirtschaftswissenschaften spannende Möglichkeiten:

- Praxissemester und Abschlussarbeiten
- Werkstudententätigkeiten
- Masterstipendien

#### WIR SUCHEN

Innovative Köpfe, die mit uns gemeinsam die Vision „Spülen ohne Wasser“ verfolgen und mit eigenen Ideen zum Erfolg unseres Unternehmens beitragen.

JETZT **ONLINE** BEWERBEN!

HOBART GmbH | [www.hobart.de](http://www.hobart.de)

**Ensinger**

Wir bieten Raum für Ihre Ideen.  
Innovativ. Vielseitig. Weltweit.

Als führender Hersteller von Hochleistungskunststoffen wollen wir mit Ihren innovativen Ideen weiter einen Schritt voraus sein. Sie passen zu uns, wenn Sie einen Arbeitgeber mit spannenden und abwechslungsreichen Aufgaben suchen. Wir bieten Herausforderungen, Entwicklungsmöglichkeiten und Freiheiten bei der täglichen Arbeit.

Besuchen Sie unsere Karriereseite  
[ensingerplastics.com](http://ensingerplastics.com)



### 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)