

# lookKIT

DAS MAGAZIN FÜR FORSCHUNG, LEHRE, INNOVATION  
THE MAGAZINE FOR RESEARCH, TEACHING, INNOVATION  
AUSGABE/ISSUE #02/2020

ISSN 1869-2311



# ENERGY LAB 2.0

SPEICHERN UND TRANSPORTIEREN: DIE POWER-TO-X-TECHNOLOGIEN  
STORAGE AND TRANSPORT: THE POWER-TO-X TECHNOLOGIES

STEUERN UND KOPPELN: DAS SMART ENERGY SYSTEM SIMULATION AND CONTROL CENTER  
CONTROL AND COUPLING: THE SMART ENERGY SYSTEM SIMULATION AND CONTROL CENTER

FORSCHEN UND ERNTEN: DIE PHOTOVOLTAIKANLAGE  
RESEARCH AND HARVEST: THE PHOTOVOLTAIC SYSTEM



**Bringen Sie mit uns das Land Baden-Württemberg voran. Als Förderbank des Landes unterstützen wir Wirtschaft, Kommunen und Menschen, damit Baden-Württemberg ebenso leistungsstark wie lebenswert bleibt. Wir sind in Karlsruhe und Stuttgart mit über 1.300 Mitarbeitern vertreten.**

Eine wichtige Säule ist unser eigener IT-Bereich mit:

- über 150 Mitarbeitern
- eigenem Rechenzentrum
- agilen Entwicklungsmethoden

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

**Wir suchen für unseren Standort in Karlsruhe unter anderem:**

- Datenbankspezialist (m/w/d)
- Datenbankadministrator (m/w/d)
- Service Owner Berechtigungsmanagement (m/w/d)
- Lizenzmanager für Software Assets und Lizenzen (m/w/d)
- IT Senior Softwareentwickler für das Risikocontrolling (m/w/d)
- Java Entwickler (m/w/d)
- Senior Referent (m/w/d) IT-Projekte
- Duale Studenten (m/w/d), Fachrichtungen Wirtschaftsinformatik und Informatik
- Auszubildende (m/w/d), Fachrichtungen Anwendungsentwicklung und Systemintegration
- Trainees (m/w/d)
- Werkstudenten (m/w/d)
- Praktikanten (m/w/d)

**Wir bieten unter anderem:**

- Gleitzeitmodell
- attraktive betriebliche Altersversorgung
- eigenes Betriebsrestaurant
- zentrale Innenstadtlage mit guter Verkehrsanbindung
- Bezahlung nach Banktarif
- Fitnesszentrum

Warum zur L-Bank? Die Antwort erhalten Sie auf unserer Karriereseite unter <https://www.l-bank.info/fuer-bewerber-innen/warum-zur-l-bank>. Erzählen Sie uns, womit wir Ihr Interesse geweckt haben und bewerben Sie sich in nur wenigen Minuten online. Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!

Aus Liebe zum Land

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

## LIEBE LESERINNEN UND LESER,

bei Superlativen ist oft Vorsicht geboten, dennoch möchte ich Ihnen die Einzigartigkeit des Energy Lab 2.0 nicht vorenthalten: Gemeinsam mit unseren Partnern, dem Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt und dem Forschungszentrum Jülich, ist es am KIT – der Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft gelungen, eine Infrastruktur entstehen zu lassen, die es in Deutschland in dieser Form kein zweites Mal gibt. Gefördert vom Land Baden-Württemberg sowie den Bundesministerien für Bildung und Forschung und für Wirtschaft und Energie werden hier das Zusammenspiel der Komponenten künftiger Energiesysteme erforscht und neue Ansätze zur Stabilisierung der Energienetze werden realitätsnah erprobt. Ein Anlagenverbund verknüpft elektrische, thermische und chemische Energieströme sowie neue Informations- und Kommunikationstechnologien.

Ziel der Forschungsarbeit ist es, Transport, Verteilung, Speicherung und Nutzung der Energie zu verbessern und damit die Grundlage für die Energiewende zu schaffen. Denn neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien muss die Energieversorgung bezahlbar und verlässlich bleiben. Wind- und Sonnenenergie liefern nicht zu jeder Tages- und Jahreszeit konstanten Strom und oft auch nicht an dem Ort, an dem er benötigt wird. Dieses Ungleichgewicht zwischen der Erzeugung und dem Verbrauch erneuerbarer Energien verlangt nach neuen Konzepten.

Neben der Verknüpfung der Energieströme und -speicher liegt im Energy Lab 2.0 ein besonderes Augenmerk auf neuen Informations- und Kommunikationstechnologien: Als Entwicklungsumgebung für die Steuerung und Regelung lokaler intelligenter Energiesysteme bietet das Herzstück des Energy Lab 2.0, das Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC, siehe auch Seite 18), ein Experimentierfeld mit allen relevanten Komponenten im Labormaßstab. Hier wird die virtuelle mit der realen Welt verbunden, standardisierte aber auch kritische Betriebszustände können erforscht und simuliert werden.

Ich bin überzeugt, dass das Energy Lab 2.0 mit seiner Forschungsleistung einen entscheidenden Beitrag erbringen wird, um Konzepte für die Nutzung erneuerbarer Energien erfolgreich umzusetzen und damit die Energiewende in Deutschland voranzubringen.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre.

Ihr



**Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka**  
 Präsident des KIT // President of KIT



Holger Hanselka, Foto/Photograph: Markus Breig

## DEAR READER,

Superlatives should be used carefully. Still, I would like to share with you details about the unique character of the Energy Lab 2.0. Together with our partners, the German Aerospace Center and Forschungszentrum Jülich, KIT – The Research University in the Helmholtz Association has succeeded in establishing the only infrastructure of this kind in Germany. As part of projects funded by the State of Baden-Württemberg and the Federal Ministries of Education and Research and for Economic Affairs and Energy, the interaction of components for future energy systems is studied and new approaches to stabilizing energy grids are tested. The Energy Lab 2.0 combines electric, thermal, and chemical energy flows as well as new information and communication technologies.

Research is aimed at improving transportation, distribution, storage, and use of energy and, thus, creating the basis for the energy transition. While use of renewable energy sources will increase, energy supplies will have to remain affordable and reliable. Wind and solar power production fluctuates over the day and year and often is not available where and when it is needed. Resolving this imbalance in production and consumption of renewable energies requires new ideas.

The Energy Lab 2.0 does not only focus on combinations of energy flows and storage systems. Particular attention is paid to new information and communication technologies. The heart of the Energy Lab 2.0, the Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC, see also page 18), represents a developmental environment for the control of local smart energy systems and a field for experimentation with all relevant components on the laboratory scale. Here, the virtual world is interconnected with the real world and both standardized and critical operation states can be analyzed and simulated.

I am convinced that the Energy Lab 2.0 and its related research activities will contribute decisively to the successful implementation of concepts to use renewable energy sources and advance the energy transition in Germany.

Enjoy reading. Yours,

## INHALT / CONTENT

### BLICKPUNKT / FOCUS

10 – 17

**ENERGY LAB 2.0 LIEFERT SYSTEM-  
WISSEN FÜR DIE ENERGIEWENDE:  
INTERVIEW MIT VEIT HAGENMEYER  
UND ROLAND DITTMAYER**

Energy Lab 2.0 Produces System  
Knowledge for the Energy Transition:  
Interview with Veit Hagenmeyer and  
Roland Dittmeyer

18 – 24

**HERZ UND HIRN DES ENERGY LAB 2.0:  
DAS SMART ENERGY SYSTEM  
SIMULATION AND CONTROL CENTER  
(SENSSiCC)**

The Heart and Brain of Energy Lab 2.0:  
The Smart Energy System Simulation  
and Control Center (SEnSiCC)

25

**AUF EINE FRAGE: KANN AUS LUFT  
KRAFTSTOFF HERGESTELLT WERDEN?**

Just a Question: Can Fuel be Made  
from Air?

26 – 31

**UNGLEICHE DRILLINGE: WELCHE  
TECHNOLOGIE PASST, UM GEBÄUDE  
UND INDUSTRIEPARKS INS NETZ ZU  
INTEGRIEREN?**

Dissimilar Triplets: Which Technology  
Can Be Used to Integrate Buildings and  
Industrial Parks in the Grid?

32 – 35

**DOPPELT HÄLT BESSER:  
ZWEI STATIONÄRE GROSSSPEICHER  
SIND INS ENERGY LAB 2.0. INTEGRIERT**

Two Is Better Than One:  
Two Stationary Mass Storage Systems  
Are Integrated in Energy Lab 2.0

36 – 41

**ERNEUERBARE ENERGIEN SPEICHERN,  
TRANSPORTIEREN UND NUTZBAR  
MACHEN: DIE P2X-REVOLUTION**

Renewable Energy Can Be Stored  
and Transported to Provide Heat  
and Mobility: A Revolution of P2X



18

42 – 44

**STROMERZEUGUNG MIT MIKRO-  
GASTURBINEN: ERPROBUNG DER  
DEZENTRALEN TECHNOLOGIE MIT  
WEITER BANDBREITE AN FLÜSSIGEN  
ODER GASFÖRMIGEN BRENNSTOFFEN**

Power Generation by Micro Gas  
Turbines: Test of a Decentralized  
Technology Using a Wide Range of  
Liquid or Gaseous Fuels

45

**AUSGRÜNDUNG: DIE RISKLAYER GMBH  
SAMMELT UND BEWERTET INFORMATIO-  
NEN ZU KRISEN UND KATASTROPHEN**

KIT Startup: Risklayer GmbH Collects  
and Evaluates Information on Crises  
and Disasters



46



10

46 – 49

**FORSCHEN UND ERNTEN: DIE PV-ANLAGE LIEFERT ENERGIE UND BRINGT VIELE ERKENNTNISSE**

Research and Harvest: Photovoltaic Facility Produces Energy and Findings

50 – 51

**NACHRICHTEN**

News

**WEGE / WAYS**

52 – 56

**AM RANDE DES VULKANS: EINE FORSCHUNGSREISE IN ZEITEN VON CORONA**

At the Edge of the Volcano: A Research Trip in the Time of Corona

57

**AUGENBLICKKIT: IN VERSCHIEDENSTEN HALLEN UND HÖRSÄLEN KONNTEN STUDIERENDE DES KIT IHRE PRÜFUNGEN NACHHOLEN**

AUGENBLICKKIT: Written Exams of KIT Students at Various Halls and Auditoriums

**ORTE / PLACES**

58 – 61

**NUKLEARE ENTSORGFORSCHUNG AM KIT: FEIERT 40-JÄHRIGES BESTEHEN**

KIT's Nuclear Waste Disposal Research Celebrates Its 40th Anniversary



**GESICHTER / FACES**

62 – 65

**WHEN ALGORITHMS GROW WITH THEIR TASKS: PETER SANDERS WORKS ON A TYPE OF TOOLBOX FOR DATASETS OF ANY SIZE WITH MILLIONS OF PROCESSORS RUNNING IN PARALLEL**

Wenn Algorithmen mit ihren Aufgaben wachsen: Peter Sanders arbeitet an einer Art Werkzeugkasten für beliebig große Datensätze und Millionen von parallel arbeitenden Prozessoren

**HORIZONTE / HORIZONS**

66 – 69

**DATEN NUTZEN UND SCHÜTZEN: EIN GESPRÄCH MIT PROFESSOR JÖRN MÜLLER-QUADE ÜBER SICHERHEITSRISIKEN VON KÜNSTLICHER INTELLIGENZ IN DER MEDIZIN**

Using and Protecting Data: Talking about Security Risks of Artificial Intelligence in the Medical Sector with Professor Jörn Müller-Quade

70

**UND SONST: ETHIKLABEL FÜR KI-TECHNOLOGIEN ENTWICKELT**

What Else: Ethical Label for AI Technologies





## Energiemix I

Wenn in Karlsruhe in der Dämmerung die Lichter angehen, erreicht der Hunger nach Energie einen Höhepunkt. In rund 174 000 Privathaushalten werden die Kühlschränke geöffnet, die Herde eingeschaltet und die Fernsehgeräte angeworfen. So werden jährlich rund 900 kWh Strom pro Einwohner verbraucht. Mehr als 50 Prozent des Stroms der Stadtwerke Karlsruhe stammte 2018 aus erneuerbaren Energien, rund 23 Prozent aus Kohle und der Rest aus Erdgas sowie nuklearen Energieträgern. Mit fast 90 Prozent wird der Großteil der Energie in deutschen Privathaushalten für Heizung und Warmwasser benötigt.

## Energy mix I

When the light are turned on at dusk in Karlsruhe, the hunger for energy reaches its peak. In around 174,000 private households, refrigerators are opened, stoves and TV sets are switched on. As a result, around 900 kWh of electricity are consumed per inhabitant every year. In 2018, more than 50 percent of the electricity supplied by Stadtwerke Karlsruhe were based on renewable energies, around 23 percent on coal, and the remainder on natural gas and nuclear energy sources. Almost 90 percent of the energy consumed by German private households is used for heating and hot water.



## Energiemix II

Der flächendeckende Einsatz von Energie aus erneuerbaren Quellen bedeutet eine umfassende Transformation des Gesamtsystems: Im Energy Lab 2.0 wird das flexible Zusammenspiel von elektrischen, thermischen und chemischen Energieträgern realitätsnah simuliert. Ganz links befindet sich im SEnSSiCC-Gebäude das Herz und Hirn des Energy Lab 2.0 (Seite 18), rechts daneben im Hintergrund sind die Li-Ionen-Batterie und die Redox-Flow-Batterie (Seite 46) zu sehen, die beiden ersten Containerreihen links sind jeweils der Kontrollraum-Container und der Technikcontainer für zwei verschiedene Formen von Methanisierungsanlagen (Seite 36). Im Anschluss daran folgt der Kontrollraum-Container und dann der Technikcontainer für die Fischer-Tropsch-Syntheseanlage (Seite 39). Der einzelne Container rechts daneben ist die PEM-Elektrolyseanlage (Seite 41). Die Speicher ganz rechts speichern Wasserstoff bzw. Kohlendioxid als Pufferspeicher. Die drei Modellhäuser für das Living Lab (Seite 26) befanden sich zum Zeitpunkt der Aufnahme noch im Bau.

## Energy mix II

The widespread use of energy from renewable sources means a comprehensive transformation of the entire system: Energy Lab 2.0 simulates flexible interaction of electric, thermal, and chemical energy sources closely to reality. The SEnSSiCC building on the far left is the heart and brain of Energy Lab 2.0 (page 18), the Li-ion battery and the redox flow battery are shown in the background on the right (page 46), the first two rows of containers on the left accommodate the control rooms and technical equipment for two types of methanation facilities (page 36), followed by the control room container and the technical container for the Fischer-Tropsch synthesis plant (page 39). The single container on the right accommodates the PEM electrolysis system (page 41). The buffer storage tanks on the far right contain hydrogen or carbon dioxide. The three model houses for the Living Lab (page 26) were still under construction at the time when this photo was taken.







FOTO: MARKUS BREIG/AMADEUS BRAMSIEPE



# Einzigartiges

# Reallabor



DIE FORSCHUNGS-  
INFRASTRUKTUR DES  
ENERGY LAB 2.0  
LIEFERT SYSTEMWISSEN  
FÜR DIE ENERGIE-  
WENDE

Nur mit einem flächendeckenden Einsatz von Energie aus erneuerbaren Quellen kann der Klimawandel abgebremst werden. Das bedeutet eine umfassende Transformation nicht allein der Stromversorgung, sondern des Gesamtsystems Energie einschließlich des Wärme-, Mobilitäts- und industriellen Sektors. Mit dem Energy Lab 2.0 ist auf dem Campus Nord des KIT im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekts Sektorenkopplung (SEKO) ein großskaliges Reallabor entstanden, in dem das flexible Zusammenspiel von elektrischen, ther-

Im Energy Lab 2.0 kann das Zusammenspiel verschiedener Energieträger realitätsnah simuliert und erforscht werden

In Energy Lab 2.0, interaction of various energy sources can be simulated and studied closely to reality



FOTO: MARKUS BREIG

**mischen und chemischen Energieträgern realitätsnah simuliert wird. Bis 2023 sollen die gewonnenen Erkenntnisse die Grundlage eines Pilotprojektes zur umfassenden Nutzung der erneuerbaren Energieträger einschließlich Geothermie und Biomasse für die Versorgung einer 300 000-Einwohner-Stadt bilden.**

lookKIT: Deutschland ist mit den vier Kopernikus-Projekten der Bundesregierung weltweit das größte Forschungslabor zur Energiewende. Das Energy Lab 2.0 steht dabei für einen dezidiert systemischen Ansatz, der die Betrachtung der Stromer-

zeugung aus erneuerbaren Quellen durch den Blick auf das Gesamtsystem der Energieversorgung ergänzt. Wie würden Sie diese Vision eines intelligenten Energiegesamtsystems beschreiben? Professor Veit Hagenmeyer: Mit dem Umstieg auf die naturgemäß fluktuierende Energieerzeugung aus Sonnenenergie und Windkraft fällt die stabilisierende Wirkung der großen Schwungmassen der großen Generatoren weg. Erneuerbare Energie wird dezentral in der Fläche geerntet. Und sie fließt nicht kontinuierlich. Zwischenpuffer spielen somit eine entscheidende Rolle. Die Kapazitäten von elektrochemischen Batteriespeichern wer-



Professor Veit Hagenmeyer ist Direktor des Instituts für Automation und angewandte Informatik (IAI). Er leitet das übergreifende SEKO-Teilprojekt zur Sektorkopplung, das Teilprojekt Wärme-Kälte, sowie das Forschungsprojekt Energiesystemintegration der Helmholtz-Gemeinschaft. Er ist designerter wissenschaftlicher Programmsprecher des neuen Helmholtz-Forschungsprogramms Energiesystemdesign. Hagenmeyer ist Direktor des Kopernikusprojekts ENSURE „Neue Netzstrukturen für die Zukunft“.



den dafür allein sehr wahrscheinlich nicht ausreichen. Wir brauchen ein intelligentes Energiesystem, das elektrische, chemische, thermische und mechanische Speichermöglichkeiten einbezieht. Zudem bedeutet die Versorgung mit Energie mehr als nur die Versorgung mit Strom. Nur wenn wir uns im gesamten Energiesystem von fossilen Energieträgern verabschieden, können wir die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 tatsächlich auf null senken.

**Professor Roland Dittmeyer:** Ein Gesamtsystem Energie muss die Verbindung der elektrischen mit der chemischen und der thermischen Seite herstellen. Dies intelligent und sicher umzusetzen, erfordert neue Informationstechnologien. Das wird am Energy Lab 2.0 beispielhaft durchgespielt. Es gibt einen Solarpark, der für die fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen steht. Dann haben wir verschiedene Speicher. Neben dem Lithium-Ionen-Batteriesystem verfügen wir über eine Redox-Flow-Batterie und mechanische Speicher. Aber die Speicherproblematik ist nur ein Aspekt. Das zweite ebenso wichtige Forschungsfeld ist die Wandlung unter dem Stichwort Power2X. Wenn wir die Forderung des Weltklimarats erfüllen wollen, müssen wir auch die chemische Industrie ohne Einsatz fossiler Brennstoffe mit wichtigen Grundstoffen versorgen, müssen Bereiche der Mobilität wie den Schwerlastverkehr und die Luftfahrt, in denen elektrische Energie auf absehbare Zeit keine Rolle spielen kann, mit CO<sub>2</sub>-neutralen Energieträgern versorgen. Um diese hochkomplexen Technologien im Zusammenspiel zu untersuchen, braucht man Anlagen, die das Labor bereits verlassen haben, die ausreichend

groß sind, sodass die gewonnenen Daten auch aussagekräftig für die reale Umsetzung sind. Mit dem Anlagenverbund am Energy Lab 2.0 versuchen wir diese Voraussetzungen zu erfüllen.

**Da müssen sehr unterschiedliche Welten zusammengebracht werden – Elektrotechnik, Chemie, Verfahrenstechnik, Informationstechnologien und dann auch wirtschaftswissenschaftliche sowie soziologische Fragestellungen. Wie haben Sie am Energy Lab 2.0 die Zusammenarbeit dieser unterschiedlichen Disziplinen erfahren?**

**Hagenmeyer:** Das ist weltweit einzigartig. Man kann sich sehr wohl aufeinander zubewegen, wenn man sich auf den Anderen einlässt und die gemeinsame Aufgabe vor Augen hat. In der Aufbauphase braucht man ein bisschen Zeit, um sich zunächst aufgrund der verschiedenen Hintergründe produktiv misszuverstehen und sich durch viel Offenheit und Kommunikation dann doch zu verstehen.

**Dittmeyer:** Mein wissenschaftlicher Hintergrund ist Verfahrenstechnik. Ich bin in der stofflichen Welt zuhause. Ich habe im Energy Lab 2.0 tatsächlich deutlich dazugelernt, was die elektrotechnischen Seiten angeht, was die Kopplung der unterschiedlichen Teile, die Modellierung des Gesamtsystems anbetrifft. Wir sind ja so trainiert, dass wir eigentlich immer die von uns entwickelte Lösung für die wichtigste halten müssen, sonst bekommen wir kein Forschungsgeld. Aber in diesem Projekt wird rasch klar, dass keine Technologie allein ausreicht, um mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen wirklich auf Netto Null zu kommen.



FOTO: MARKUS BREIG

*Blick von oben:  
der Anlagenverbund  
des Elab*

*View from above:  
The Elab plant  
network*

Professor Roland Dittmeyer leitet das Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) am KIT. Er ist Mitglied des Lenkungsausschusses des KIT-Zentrums Energie, wissenschaftlicher Koordinator des Energy Lab 2.0 und Sprecher des Themenbereichs „Synthetische Kohlenwasserstoffe“ des Helmholtz Forschungsprogramms „Speicher und vernetzte Infrastrukturen“. Innerhalb der Förderinitiative „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“ ist Dittmeyer Mitglied des Lenkungskreises „Verbundvorhaben P2X: Erforschung, Validierung und Implementierung von Power-to-X Konzepten“ und koordiniert das Teilprojekt zur Synthese strombasierter flüssiger Kraft- und Treibstoffe.



FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

Bei systemischen Ansätzen wächst die Komplexität. Glauben Sie, dass ein solches zirkuläres Gesamtsystem, das die Wärmeversorgung ebenso einschließt wie die Stromversorgung, die Mobilität ebenso wie die Versorgung der chemischen Industrie, am Ende doch ohne Stottern funktioniert?

**Hagenmeyer:** Aus Systemwissenschaft und Kybernetik wissen wir, dass eng gekoppelte Systeme vulnerabler sind. Bei enger Kopplung kann ein Kaskadeneffekt entstehen, bei dem ein versagendes Teilsystem das Ganze in die Knie zwingt. Hier spielt die entkoppelnde

Wirkung der Speicher eine wichtige Rolle. Im Stromnetz ermöglicht zudem der Einsatz von Leistungselektronik eine Entkoppelung. Da experimentieren wir mit ganz neuen Ansätzen, zum Beispiel Netzen mit unterschiedlichen und variablen Frequenzen und topologisch lose gekoppelten Netzen, die relativ autark sind.

**Bei den Power2X-Wandlungsprozessen spielt Wasserstoff als Zwischenstufe auf dem Weg zu den synthetischen Brennstoffen die Rolle des universellen Energieträgers. Welche Forschungsfragen**



sind im Zusammenhang mit der Wasserstoffproduktion unter Zuhilfenahme von Strom aus erneuerbaren Quellen adressiert?

**Dittmeyer:** Das Energy Lab 2.0 hat einen Ableger am Forschungszentrum in Jülich. Dort gibt es ein Testzentrum für größere Elektrolyse-Stacks. Am KIT steht vor allem die gesamte Prozesskette vom Wasserstoff hin zu den flüssigen Kohlenwasserstoffen im Vordergrund. Dafür braucht man Synthesegas, eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Das kann man mit der gängigen PEM-Elektrolyse oder der Dampfelektrolyse, die wir beide im Energy Lab 2.0 haben, nur durch einen nachgelagerten Schritt, die Konvertierung von Kohlendioxid mit Wasserstoff zu Kohlenmonoxid und Wasser, erzeugen. Man opfert sozusagen einen Teil des Wasserstoffs für die Kohlendioxid-Umwandlung. Im Rahmen des Kopernikus-Projekts P2X steht deshalb die Erforschung der sogenannten Ko-Elektrolyse von Wasserdampf und Kohlendioxid an. Damit kann Synthesegas in einem einzigen Schritt erzeugt werden. Das mit der Kraftstoffsynthese zu koppeln ist dann die dritte Prozesskette, die wir am Energy Lab 2.0 im Maßstab von einigen hundert Kilowatt Leistung für die Elektrolyse im Hinblick auf Gesamteffizienz und Dynamikfähigkeit experimentell untersuchen werden.

**Der Begriff der Dekarbonisierung für das Energiesystem der Zukunft ist eigentlich falsch. Für die Umwandlung des Wasserstoffs in Methan oder synthetische Kraftstoffe braucht man eine Kohlenstoffquelle. Woher kommt das CO<sub>2</sub> am Energy Lab 2.0?**

**Dittmeyer:** Wenn man nicht alles auf Wasserstoff aufbauen will, kann man auf Kohlenstoff nicht verzichten. Was wir brauchen, ist einen geschlossenen CO<sub>2</sub>-Kreislauf. Defossilisierung, Verzicht auf Kohlenstoff fossiler Her-

kunft, ist das Ziel. Man kann das Kohlendioxid bei großindustriellen Prozessen wie der Zement- oder Stahlherstellung abschöpfen, die das Klimagas freisetzen, selbst wenn dort in Zukunft keine fossilen Brennstoffe mehr eingesetzt werden. Eine weitere Quelle sind biogene Quellen, wie Biogas- oder Abfallverbrennungsanlagen. Und schließlich kann man das CO<sub>2</sub> direkt aus der Umgebungsluft filtern. Alle drei Möglichkeiten werden am Energy Lab 2.0 erforscht. Wir haben einen CO<sub>2</sub>-Tank, der für die Punktquelle steht. Die bioliq-Anlage im Anlagenverbund arbeitet mit Reststoffbiomasse wie beispielsweise Stroh und fungiert im Kontext des Energy Lab 2.0 somit als biogene CO<sub>2</sub>- und Synthesegasquelle. Und wir haben Kollektoren, die CO<sub>2</sub> direkt aus der Umgebungsluft gewinnen. Dort untersuchen wir die Möglichkeit, die dafür benötigte Wärme durch die Abwärme aus den nachfolgenden Umwandlungsprozessen zu gewinnen, um die Gesamteffizienz zu optimieren. Einer dieser Umwandlungsprozesse ist die Methanisierung. Das dabei erzeugte synthetische Erdgas könnte schließlich in der bestehenden Gas-Infrastruktur transportiert und gelagert werden.

**Mit der Fischer-Tropsch-Synthese wird ebenfalls experimentiert?**

**Dittmeyer:** Das brauchen wir zur Herstellung der flüssigen Kraftstoffe, also Diesel, Kerosin, vielleicht auch Ottokraftstoffe. Die sogenannten E-Fuels sind im Prinzip CO<sub>2</sub>-neutral. Sie haben als synthetische Kraftstoffe den zusätzlichen Vorteil, dass sie sauberer verbrennen als fossile Kraftstoffe, unter anderem weil sie keinen Schwefel enthalten und eine etwas andere Zusammensetzung haben. Mit ihnen könnte man beispielsweise den Flug- und Schwerlastverkehr klimaneutral betreiben. Die herkömmliche Fischer-Tropsch-Reaktortechnologie ist aber zu komplex. Wir haben deshalb eine kompakte Mikroreaktortechnik

*Um erneuerbare Energie optimal speichern zu können, wird ein intelligentes Energiesystem benötigt, das chemische, thermische und mechanische Speichermöglichkeiten einbezieht*

*Optimum storage of renewable energy requires a smart energy system that integrates chemical, thermal, and mechanical storage options*



*Im Energy Lab 2.0 werden unter anderem P2X-Technologien erforscht, mithilfe deren auch synthetische Kraftstoffe wie Diesel hergestellt werden können*

*Energy Lab 2.0 among others studies P2X technologies that can also be used to produce synthetic fuels, such as diesel*



FOTO: MAGALI HAUSER

## First Real-world Laboratory of Its Kind

### Research at the Energy Lab 2.0 Produces System Knowledge for the Energy Transition

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

The Energy Lab 2.0 was established on KIT's Campus North within the Helmholtz Sector Coupling (SECO) research project funded by the Federal Ministry of Research. It is the first real-world laboratory worldwide to demonstrate sector coupling, i.e. the highly complex interaction of electrical, thermal, and chemical energy carriers. System knowledge obtained by close interdisciplinary collaboration will serve as a scientific basis for a future pilot project on the integrated use of renewable energy sources, including geothermal energy and biomass, to meet the energy needs of a city with 300,000 inhabitants. The pilot project will presumably be completed by 2030.

Professor Veit Hagenmeyer, Director of the Institute for Automation and Applied Informatics (IAI) and Head of the SECO project, thinks that sector coupling will also solve the storage problem resulting from the strong fluctuations of solar and wind power. In the interview, Hagenmeyer is convinced that the prognostic tools developed at the Energy Lab will guarantee stable and largely automated power supply. The tools also will factor in local power markets and their effects on consumption.

Professor Roland Dittmeyer, Head of the Institute for Micro Process Engineering (IMVT), Scientific Coordinator of the Energy Lab, and Spokesperson of the "Synthetic Hydrocarbons" topic of the Helmholtz research program "Storage and Cross-linked Infrastructures," points out that sector coupling is not about solving the storage problem so much as it is about establishing a carbon cycle. We will not be able to do completely without CO<sub>2</sub> in the future, he says. In the foreseeable future, certain transport areas, such as air and heavy load traffic, will continue to be dependent on the high energy density of chemical energy carriers. Power2X technologies are therefore aimed at extracting carbon from renewable rather than fossil sources. Experiments at the Energy Lab cover industrial processes that emit CO<sub>2</sub> for stoichiometric reasons, use of CO<sub>2</sub> produced by thermal treatment of residual biomass, and the direct filtration of CO<sub>2</sub> from ambient air. ■

Contacts: [veit.hagenmeyer@kit.edu](mailto:veit.hagenmeyer@kit.edu) and [roland.dittmeyer@kit.edu](mailto:roland.dittmeyer@kit.edu)

*Im Rahmen des Kopernikus-Projektes ENSURE sollen Strukturen für die Energieversorgung von morgen untersucht und identifiziert werden*

*The ENSURE Kopernikus project studies and identifies structures for tomorrow's energy supply*



FOTO: MARKUS BREIG

*Um die vom Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null zu senken, muss sich das Energiesystem in Zukunft von fossilen Energieträgern verabschieden*

*To reduce anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions to zero, the energy system will have to move away from fossil fuels in future*

entwickelt, die über unser Spin-off INERATEC auch schon kommerziell eingesetzt wird. (siehe auch Seite 31, 39 ff.)

**Die Topologie des historisch gewachsenen Stromnetzes ist für die fluktuierenden Energiequellen mit der häufigen Umkehrung der Stromlastrichtung nur bedingt geeignet. Gibt es am Energy Lab 2.0 Erkenntnisse, wie dezentral die Smart Grids in Zukunft sein werden?**

**Hagenmeyer:** Beim Kopernikus-Projekt ENSURE haben wir uns die Frage gestellt, ob Stadt-Umland-Einheiten nicht eine andere Topologie haben sollten. Das wird jetzt in der zweiten Phase von ENSURE erforscht. Das Energy Lab 2.0 spielt dabei eine große Rolle. Im Moment gehen wir davon aus, dass sich das jetzige Übertragungsnetz zu einem Stabilitätsnetz entwickelt. Die Stadt-Umland-Einheiten sollen dann lokal möglichst autark bleiben – soweit sie das energiebilanziell können. Ein Beispiel wären Gleichstromdirektleitungen aus dem Umland hinein in die Stadt oder hin zu einem Industriegebiet.

**Die Prognose sowohl der Erzeugung als auch der Nachfrage von Energie ist unerlässlich, um die Stabilität zu gewährleisten. Da müssen von Wettervorhersagen bis zu historischen Verbrauchs- und Erzeugerdaten Planungen im Sekundenbereich erstellt werden. Wie simuliert man das?**

**Hagenmeyer:** Hier spielt das Data-Mining mit zum Beispiel tieflernenden Methoden eine Rolle. Dabei muss man wissen, dass diese Deep Learning-Methoden Probleme mit Periodizitäten haben. Das hängt mit ihrer Struktur zusammen. Wir haben jetzt eine Arbeit vorgelegt, die diese Hürde überwindet und die periodische Struktur einbringt im Sinne von verständlicher Künstlicher Intelligenz.

Was wir jetzt aufgebaut haben, bringt sehr gute Ergebnisse für die Vorhersage nicht nur beim Wetter und der entsprechenden Stromerzeugung, sondern auch beim Nutzungsverhalten, das wird ja am Energy Lab 2.0 mitberücksichtigt. Am Ende wird die Herausforderung sein, dass das ohne menschlichen Eingriff geht, sodass diese Information der Vorhersage automatisiert Impulse für den Strommarkt geben kann, gleichzeitig aber dann auch den stabilen und robusten Betrieb der Netze ermöglicht.

**Der Rollout ist auch ein Problem. Die Phase des Übergangs ist sicher kritisch. Man kann das alte Netz nicht abschalten. Es wird eine Übergangsphase geben müssen. Gibt es Überlegungen für diesen Transformationsprozess?**

**Hagenmeyer:** Vieles der bestehenden Netze kann bestehen bleiben. Die Veränderungen finden gleichzeitig in den Bereichen der Energieerzeugung, Nutzung und Netzstruktur statt. Die Transformation muss natürlich geplant werden. Dafür gibt es in dem neuen Programm der Helmholtz-Gemeinschaft „Energiesystemdesign“ einen eigenen Themenbereich. Ich bin mir ziemlich sicher, spätestens in fünf Jahren können wir konkrete Vorgaben machen, wie das Konzept dann in einer Modellregion mit 300 000 Einwohnern umgesetzt werden kann. Mit jedem Transformationsschritt, der uns hin zu dem neuen dezentralen System basierend auf erneuerbaren Energien unter Einschluss aller Sektoren robust gelingt, dürfen wir dankbar sein und stolz, die Zukunft für unsere Kinder und Enkelkinder mitgestaltet zu haben. ■

Kontakt: [veit.hagenmeyer@kit.edu](mailto:veit.hagenmeyer@kit.edu) und [roland.dittmeyer@kit.edu](mailto:roland.dittmeyer@kit.edu)  
Das Gespräch führte Dr. Stefan Fuchs.



FOTO: MARKUS BREIG



Im Landratsamt Biberach sind baldmöglichst folgende Stellen zu besetzen:



### Ingenieur (m/w/d)

Kennziffer: 2020-82-21

Bewerbungsschluss: 26. Juli 2020

Zum Aufgabengebiet im Straßenamt gehören die Leitung des Sachgebietes Straßenplanung u. a. mit der Projektleitung größerer Straßenneubauplanungen, Planfeststellungsverfahren und die Planung von Straßenausbaumaßnahmen/Radwegen.

Nähere Auskünfte erteilt Ihnen Andrea Lohmüller, Haupt- und Personalamt, Telefon 07351 52-7210, Holger Adler, Dezernent, Telefon 07351 52-6300 oder Gunnar Volz, Amtsleiter Straßenamt, Telefon 07351 52-6821.

**Sind Sie interessiert?**



### Architekt / Bauingenieur / Bautechniker (m/w/d)

Kennziffer: 2020-79-2410

Bewerbungsschluss: 12. Juli 2020

Zum Aufgabengebiet im Amt für Liegenschaften und Gebäude gehören u. a. die bautechnische Betreuung der Liegenschaften des Landkreises, die Organisation und Durchführung von allgemeinen Unterhaltungsmaßnahmen (Planung, Ausschreibung und Bauleitung).

Nähere Auskünfte erteilt Ihnen gerne Ursula Stöhr, Haupt- und Personalamt, Telefon 07351 52- 6149, in fachspezifischen Fragen: Holger Thiessen, Amtsleiter Amt für Liegenschaften und Gebäude, Telefon 07351 52-6131.

Nähere Informationen finden Sie unter [www.bewerbung.biberach.de](http://www.bewerbung.biberach.de) oder direkt über den QR-Code.



Bitte bewerben Sie sich online bis zum jeweiligen Bewerbungsschluss.



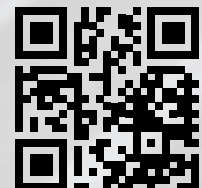
**IM HERBST 2020 ERSCHEINT DIE NEUE AUSGABE!**

Anfragen zur kostenfreien Übersendung von Belegexemplaren oder zwecks redaktioneller Mitarbeit richten Sie bitte an

**Institut für Wissenschaftliche  
Veröffentlichungen (IWV)**

Finkenstraße 10 · D-68623 Lampertheim

[www.institut-wv.de](http://www.institut-wv.de)



**Sascha Bückermann**

Telefon 06206 939-441 · [sascha.bueckermann@alphapublic.de](mailto:sascha.bueckermann@alphapublic.de)



IM SMART ENERGY SYSTEM SIMULATION AND CONTROL CENTER (SENSICC) WIRD DIE REALE UND VIRTUELLE WELT VERKNÜPFT

# Herz und Hirn des Energy Lab 2.0

Im Smart Energy System Control Laboratory (SECL) werden repräsentativ für den realen Energieverbund der Zukunft die wichtigsten energietechnischen Anlagen im Energy Lab 2.0 so flexibel verschaltet, dass experimentelle Konfigurationen rasch verändert werden können. Im Energy Grids Simulation and Analysis Laboratory (EGSAL) wird die Topografie der künftigen Energienetze unter der virtuellen Einbindung von Komponenten simuliert, die am Campus Nord selbst nicht vorhanden sind. Im Control, Monitoring and Visualization Center (CMVC) des Energy Lab 2.0 werden die

Softwaretools für eine Leitwarte der zukünftigen Energienetze entwickelt. Die Power-Hardware-in-the-Loop-Laborumgebung (PHIL) erlaubt es, reale Energie-Hardwarekomponenten in ein simuliertes 1 MVA-Netz einzubinden und beispielsweise Stresstests zu unterziehen. SEnSiCC wird ergänzt durch die Helmholtz-Forschungsinfrastruktur LLEC. Die drei baugleichen Einfamilienhäuser als Teil des LLEC sind elektro- und datentechnisch mit SEnSiCC verknüpft und erweitern somit das Portfolio der für Experimente zur Verfügung stehenden energietechnischen Anlagen.



Die Sammelschienenmatrix  
verschaltet alle Anlagen  
im SESCL miteinander.  
Dadurch können verschiedenste  
Experimente schnell umgesetzt  
werden, ohne die beteiligten  
Anlagen neu zu verdrahten

The busbar matrix interconnects all  
systems in the SESCL. This allows  
for the quick implementation of a  
wide variety of experiments  
without having to rewire the  
systems involved



FOTO: MARKUS BREIG



**Die Kopplung der unterschiedlichen Energiesektoren und die Fluktuation der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen stellt eine enorme Herausforderung für die Steuerung des Energiesystems der Zukunft dar. Um die Steuerungs- und Überwachungsaufgaben möglichst realitätsnah simulieren zu können, wurde im Rahmen des Energy Lab 2.0 das Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC) aufgebaut. Es besteht aus vier Teillaboren, die unterschiedliche Aspekte der komplexen kybernetischen Aufgaben abbilden und simulieren und dabei entstehende Synergien nutzen können. lookKIT hat mit Dr. Simon Waczowicz, Leiter der Research Platform Energy (RPE) am Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI), über die einzigartige Verknüpfung der energietechnischen Anlagen gesprochen.**

lookKIT: Das Besondere am Experimentierfeld des SEnSSiCC ist ein komplexes Zusammenspiel von simulierten und realen Komponenten der Energienetze?

Dr. Simon Waczowicz: Wir haben eine Vielzahl von energietechnischen Anlagen im Energy Lab 2.0 real auf dem Campus Nord: Generatoren, Transformatoren, Batteriespeichersysteme, Ladestationen für Elektromobilität, PV-Anlagen. Anlagen, die nicht vor Ort sind, müssen wir auf geeignete Weise in die Experimente einbinden. Das geschieht über das Power-Hardware-in-the-Loop-Konzept. Dadurch werden auch simulierte Komponenten echtzeitfähig. Das heißt, die Simulation gibt im Millisekundentakt numerische Werte vor. Diese müssen dann in reale Netzzustände übersetzt werden, sodass das Netz vor Ort nicht mehr unterscheiden kann, ob da eine

reale oder eine virtuelle Anlage zugeschaltet ist. So kann man im Experiment die reale und die simulierte Welt in Echtzeit miteinander verknüpfen. Nur so ist ein komplexes Gesamtsystem wie das Energienetz mit allen Sektoren experimentell überhaupt zugänglich.

Das findet in der PHIL-Laborumgebung statt?

Das PHIL-Labor, welches von den Kollegen des Instituts für Technische Physik (ITEP) konzipiert, aufgebaut und betrieben wird, ist ein zentrales Element des SEnSSiCC. Es nimmt fast die Hälfte der Hallenfläche in Anspruch. Hier kann man nicht nur energietechnische Anlagen virtuell einbinden. Man kann auch die Netzumgebung selbst in Echtzeit simulieren. Das erlaubt es, neuartige Hardwarekomponenten einem Stresstest zu unterziehen: Was passiert, wenn jetzt ein Kurzschluss vorliegt, wenn eine unsymmetrische Belastung auftritt, ein Schwungmassenspeicher eine Überlast bekommt und sich schneller dreht als geplant? Das getestete reale Gerät zeigt in diesen Fällen ein bestimmtes Verhalten und muss seine Zustandsdaten sehr schnell wieder an die Simulation des Netzes zurückgeben. Aus der Simulation erhält die Leistungselektronik dann ein Signal und kann entsprechend den realen Strom und die reale Spannung für die Hardwarekomponente einspeisen. Das ist ein geschlossener Loop, den wir möglichst schnell durchspielen, weil uns vor allem die transienten Vorgänge im Netz interessieren. Das PHIL kann so beispielsweise die Zulassung neuer energietechnischer Hardware erheblich beschleunigen.

Wie kann man die Topografie von neuen Stromnetzen am SEnSSiCC simulieren?

Dafür haben wir das EGSAL Labor aufgebaut. Dort gibt es Modellierungen der ver-

## Smart Energy System Control Laboratory (SESCL)

Das SESCL ermöglicht die Entwicklung und Erprobung moderner energietechnischer Anlagen und Regelalgorithmen. Da das Experimentierfeld vom öffentlichen Stromnetz galvanisch getrennt ist, können dort auch Regelungsstrategien in Grenzbereichen untersucht werden. Außerdem können Betriebspunkte angesteuert werden, die an die Stabilitätsgrenzen heranreichen.

*Friedrich Wiegel,  
Leiter des Smart  
Energy System Control  
Laboratory (SESCL)  
des KIT*

*Friedrich Wiegel,  
Head of the Smart  
Energy System Control  
Laboratory (SESCL)  
of KIT*



Um Experimente an realitätsnahen Niederspannungsnetzen durchführen zu können, stellt das Labor eine Vielzahl energietechnischer Anlagen wie Stromerzeuger, Umformer, Umrichter, PV-Anlagen, Batteriespeichersysteme und Ladestationen bereit, die sehr flexibel und unter Einbeziehung der physikalischen Eigenschaften der Verbindungsleitungen zu einem Microgrid mit variabler Topologie verschaltet werden können. Zur Modellierung des Betriebsverhaltens der Kabel bzw. der Freileitungen verfügt das Labor so-

wohl über reale Übertragungsmittel als auch über Leitungssimulationen, die mit diskreten RLC-Ersatzschaltungen das Verhalten physikalisch nachbilden. Es stellt damit eine ideale Verbindung von Simulation und Realität sicher und dient der Validierung von Modellierungen. Die Flexibilität bezüglich der Verschaltung entsteht durch eine Matrix aus Wechselstrom-/Gleichstromsammelschienen und Schützen, die von einem zentralen Automatisierungssystem gesteuert werden. Damit lässt sich sehr leicht ein Lastabwurf oder die Zuschaltung eines weiteren Erzeugers, Verbrauchers oder Prosumers realisieren. Damit kann aber auch ein sicherer Betrieb der Experimentierstätte sichergestellt werden, weil die Zulässigkeit der Verschaltung zuvor automatisch geprüft wird und keine händischen Arbeiten an leistungsfähigen elektrischen Komponenten vorgenommen werden müssen. Das Automatisierungssystem überwacht und steuert darüber hinaus sowohl die Sammelschienenmatrix selbst als auch die einzelne Komponente sowie den Ablauf eines geplanten Experimentes. Das Automatisierungssystem ist zudem für die Erfassung, Darstellung und Protokollierung aller Messgrößen, wie z. B. Strom, Spannung, Netzfrequenz oder Leistung, verantwortlich. Leistungsfähige Echtzeitsimulationssysteme sowie zwei Power-Hardware-in-the-Loop-Verstärker (PHIL) mit bis zu acht Kanälen und einer Gesamtleistung von 200 kVA ergänzen die Hardwareausstattung des Labors. ■

*Dr.-Ing. Simon Waczowicz, Leiter der Research Platform Energy (RPE) und wissenschaftlicher Koordinator des IAI im Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSiCC) des KIT*

*Dr.-Ing. Simon Waczowicz, Head of the Research Platform Energy (RPE) and Scientific Coordinator of IAI at the Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSiCC) of KIT*



schiedenen Netzebenen im Übertragungs- und Verteilnetz. Damit können wir in Verbindung mit den Simulationen der energietechnischen Anlagen bestimmte Netzszenarien virtuell aufbauen. Das ermöglicht beispielsweise Lastflussrechnungen oder Kurzschlussberechnung in den unterschiedlichen Netzebenen.

### Gibt es inzwischen eine genauere Vorstellung, wie dieses Netz der Zukunft aussehen wird?

Wir sind nicht völlig frei, was die Netzwerkarchitektur betrifft. Angesichts der enormen Investitionen, die im bestehenden Netz stecken, kann der Übergang nur ganz allmählich sein. Sicher ist, dass die Verteilnetze nach und nach eine wichtigere Rolle spielen werden. Vieles kann lokal geregelt und gesteuert werden, ohne dass über die übergelegte Ebene der Transportnetze ein Ausgleich stattfinden muss. Das ist das Spannende bei unseren Experimenten. Man muss entscheiden: Spielt sich ein Szenario auf der Transport-, also auf der höchsten Netzebene ab? Dann betrachtet man die lokalen Strom-

*In der SESCL Leitwarte können die erfassten Daten abgerufen werden*

*In the SESCL control room, the recorded data can be retrieved*



FOTOS: MARKUS BREIC

**NACHRUF** Als Leiter des SESCL-Labors widmete sich Dr. Jörg Isele mit großer Leidenschaft den Fragen der Energiewende und trug maßgeblich zur Planung und zum Aufbau dieses Labors bei, zuletzt als Leiter der Research Platform Energy im IAI. Leider hat uns Jörg Isele am 19.08.2019 für immer verlassen. Das gesamte Team des Energy Lab 2.0 verliert mit Jörg Isele einen äußerst engagierten und kompetenten Mitarbeiter, Kollegen und Freund, der immer einen klaren Blick für das Machbare hatte. Er wurde von allen sehr geschätzt und geachtet. Das Team hätte sich so sehr gefreut, mit ihm zusammen die Inbetriebnahme des Energy Lab 2.0 feiern zu können. Das Energy Lab 2.0 wird immer mit seinem Namen verbunden sein.

## The Heart and Brain of Energy Lab 2.0

### The Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC) Links the Real and Virtual Worlds

TRANSLATION: HEIDI KNIERIM

The Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC), which consists of four sub-laboratories, was established as a part of Energy Lab 2.0. At SEnSSiCC, the interaction of real and simulated components allows realistic research into various aspects of control and monitoring. In addition to the large number of components of an overall future energy system at KIT's Campus North, several facilities such as large electrolyzers, wind parks, and geothermal installations are integrated virtually. This is achieved by means of the large Power-Hardware-in-the-Loop facility of SEnSSiCC. Performance of real resources can be validated under realistic grid conditions simulated by a digital real-time simulator and reproduced in the lab by means of a power amplifier. This system enables testing of complex energy technologies, while reducing the time needed for development and commercialization.

The Power-Hardware-in-the-Loop (PHIL) Laboratory is a central element of SEnSSiCC. It is designed, built, and operated by the Institute for Technical Physics (ITEP) and used for the reliable and repeated testing of new grid components, topologies, and technologies in any conceivable operation situation, while hardware development costs are reduced.

The Energy Grids Simulation and Analysis Laboratory (EGSAL) tests the topographies of future energy grids, enabling load flow and short-circuit calculations for the different grid levels. Simon Waczowicz refers to different research questions. With regard to the transmission grids, the main focus is on capacity problems. What impact would it have if the large power plants in the south were shut down? Issues of future local electricity trading are being addressed with reference to microgrids. Can the existing grids handle individual buildings or urban districts selling their surpluses from PV systems to neighboring buildings or districts? In addition, the increase in the number of electric mobility charging stations in urban districts poses a challenge for local grids.

In the Smart Energy System Control Laboratory (SESCL), on the other hand, the real energy grid of the future is represented by connecting the most relevant energy technology systems in the Energy Lab in such a flexible way that experimental configurations can be changed quickly. Using a busbar matrix, all systems are connected together in such a way that contactors can open and close the connections quickly. Research into automatic control of these circuits is a unique feature of SESCL within Energy Lab 2.0.

Simon Waczowicz explains how the different time scales that apply to the various sectors - electricity, heat, gas - affect the control of the overall system. Whereas time scales on the order of microseconds are found in the field of electricity, heating grids allow much longer intervals. A suitable approach may consist in a two-sided modeling of the systems enabling the transition, i.e. of heat pumps in the case of electricity-to-heat coupling, and of gas turbines in the case of gas-to-electricity coupling. For modeling the transitions, so-called co-simulation tools have been developed at IAI and are now being further developed at Energy Lab 2.0.

In the fourth sub-laboratory of SEnSSiCC, the Control, Monitoring and Visualization Center (CMVC), the software tools for a control room for future energy grids are being developed. A research control room will be set up at the Energy Lab to investigate which information from the cross-sectoral grid is actually relevant to the control system and how that information can be visualized for safe monitoring. SEnSSiCC is complemented by the Helmholtz research infrastructure LLEC. The three identical single-family homes as part of the LLEC are linked to SEnSSiCC in terms of electrical and data technologies, thus expanding the portfolio of energy technology facilities available for experiments. ■

Contact: [simon.waczowicz@kit.edu](mailto:simon.waczowicz@kit.edu)

## Energy Grids Simulation and Analysis Laboratory (EGSAL)

EGSAL ist eine Forschungsinfrastruktur, die durch die Verbindung von Hard- und Softwarekomponenten die Modellierung, Simulation und Optimierung der Energienetze in allen vier Sektoren (Strom, Gas, Wärme, Kraftstoffe) erlaubt. State-of-the-Art-Software und am KIT entwickelte Computerlösungen bilden hierfür die Grundlage. Es werden sowohl Microgrids (Hausnetze, Inselnetze, das KIT-Campus-Nord-Grid) als auch Verbundnetze (das Stadtnetz Karlsruhe) und große Transportnetze (Übertragungs- und Verteilnetze in Baden-Württemberg und Deutschland sowie das ENTSO-E Übertragungsnetz Europa, Verbundnetz Zentraleuropa, CE) untersucht. Zusätzlich wird das Stromnetz im Simulationsmodell sektorenübergreifend mit dem Gas- und dem Wärmenetz verknüpft, wobei neuartige Komponenten, Anlagen und Systeme in der Simulation erforscht und erprobt werden. Außerdem können über die Simulation virtuelle Anlagenteile in das Energienetzmodell eingebunden werden, die am Campus Nord nicht realisiert werden können, wie zum Beispiel ein Windpark der 10 MW Leistungsklasse und größer. Eine Datenbank mit feingranularen, historischen Wetterdaten der letzten 30 Jahre erlaubt die Ko-Simulation des Energienetzes mit seiner fluktuierenden Stromerzeugung aus Wind und Sonne unter realistischen Wetterbedingungen.

Räumlich ist das EGSAL Simulation Lab im SSENSSICC-Gebäude direkt neben der Forschungsleitwarte (CMVC) und oberhalb des SESCL eingerichtet und von beiden durch Glaswände abgetrennt. Diese Raumarchitektur vereint den Vorteil der Nähe zur fachlichen Anwendung mit der Möglichkeit zur konzentrierten Arbeit an Simulationen.

Herzstück der Anlage ist ein 20-Core-Cluster für die dynamische Stromnetz-Echtzeit-Simulation (Real-Time-Dynamic Simulation, RTDS), der in zwei NovaCore-Racks integriert ist. Darauf lassen sich dynamische Transienten in Dreiphasen-Stromnetzen mit Zykluszeiten im Mikrosekundenbereich realisieren. Für Non-Realtime Anwendungen (z. B. mit Matlab/Matpower oder Dymola), steht ein dedizierter Server mit GPU-Unterstützung zur Verfügung. Das EGSAL ist über das Highspeed-Gigabit-Netz auch an die ForHLR-Architektur am Steinbuch Centre for Computing des KIT (SCC) angebunden. ■

*Das Herzstück von EGSAL:  
zwei RTDS-Systeme  
für die dynamische Strom-  
netz-Echtzeit-Simulation*

*The heart of EGSAL:  
Two RTDS systems for  
dynamic power grid  
real-time simulation*

netze als Einspeise- beziehungsweise Ausspeiseknoten. Wenn man das lokale Stromnetz beispielsweise der Stadt Karlsruhe untersuchen will, muss man die Verbindung zum übergelagerten Stromnetz geeignet simulieren. Die Forschungsfragen sind dann komplett andere. Beim großen Szenario geht es um die Transportkapazitäten der Übertragungsnetze. Welchen Einfluss hat es, wenn die Großkraftwerke im Süden abgeschaltet werden? Wenn man die lokale Ebene der Microgrids betrachtet, wird die Frage des Stromhandels wichtig. Wenn einzelne Gebäude oder Stadtviertel ihren Überschuss aus PV-Anlagen an benachbarte Gebäude oder Viertel verkaufen wollen, können die vorhandenen Netze das leisten? Wenn die Zahl der Ladestationen für Elektrofahrzeuge und der Wärmepumpen in den Quartieren zunimmt, kommen da möglicherweise die bestehenden Verteilnetze an ihre Grenzen?

**Damit die Smart Grids intelligent werden, müssen sehr viele Informationen aus den Netzen fließen. Welche Daten braucht man, um sicher regeln und steuern zu können?**

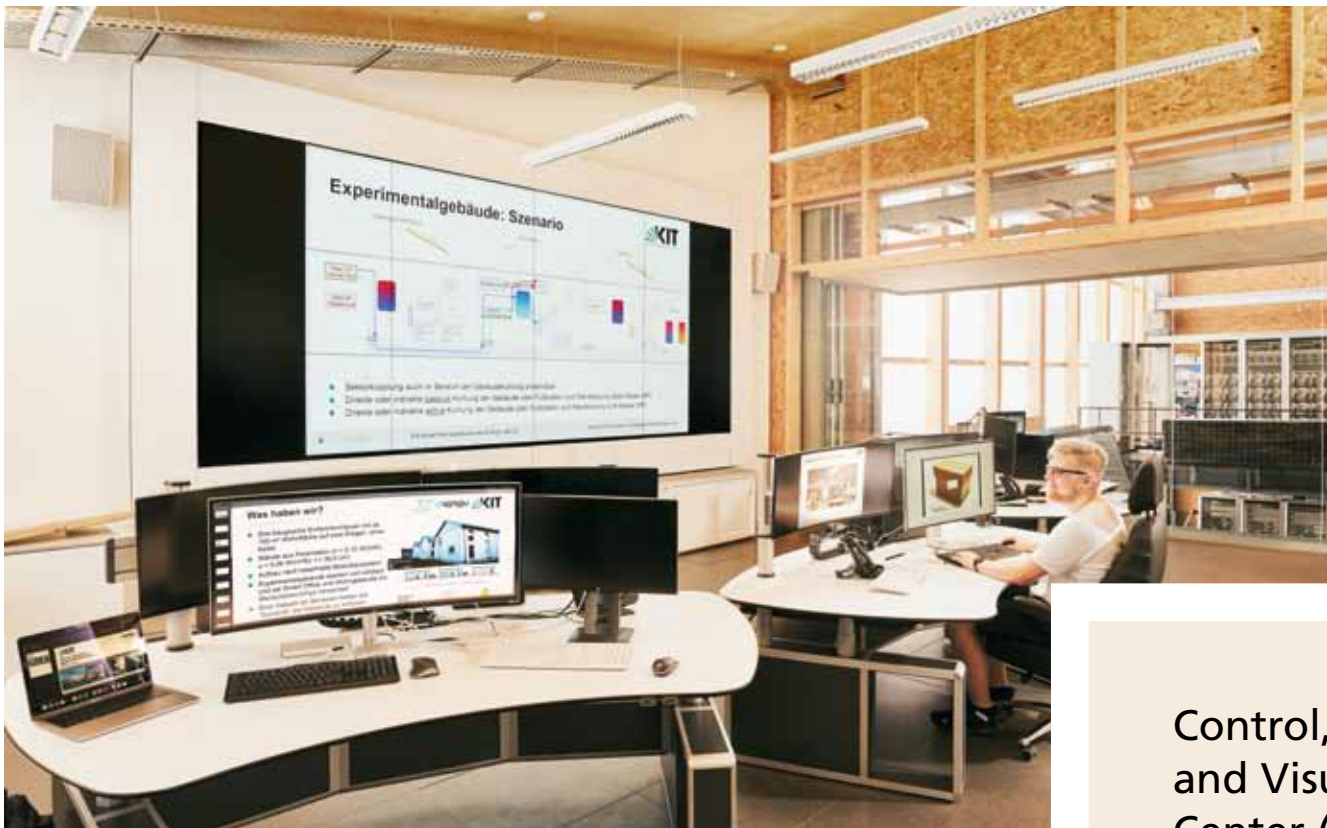
Zum einen die Informationen über den Zustand der energietechnischen Anlagen: Wie viel Strom produzieren die Windkraft- und PV-Anlagen, wie ist der Füllstand der zur Verfügung stehenden Batteriespeicher? Auch die Kapazitäten der Übertragungs- und Verteilnetze müssen bekannt sein. Das heißt, wie viel Strom man überhaupt über eine bestimmte Leitung schicken kann. Diese Informationen bilden die Grundlage von Lastflussrechnungen.

Wenn man dann das Lastmanagement in den Blick nimmt, muss man natürlich Prognosen über das Verhalten der Haushaltsstrom- und der Industriestromkunden haben. Es gibt wochenzeitliche Schwankungen im Verbrauchsverhalten – wie sieht es an trüben Tagen oder an Feiertagen aus? In Zukunft wird es sehr stark darauf ankommen, wie ich die Lastseite durch variable Stromtarife beeinflussen kann. Das setzt voraus, dass ich den Stromverbrauch der Kunden genau kenne. Smart Metering, das heißt hochaufgelöstes, sicheres Messen von Stromverbrauch, wird eine weitere wichtige Datenquelle darstellen.

**Wenn diese Daten im Mikrosekundentakt fließen, entstehen da nicht riesige Datenmengen?**

Nicht alle Daten müssen in hoher zeitlicher Auflösung zur Verfügung stehen. Für ein





*Im CMVC laufen alle Daten aus den Anlagen des Energy Lab 2.0 zusammen*

*All data of Energy Lab 2.0 come together at the CMVC*

Energiemanagementsystem ist es nicht notwendig, im Mikrosekundenabstand Daten zum Speicherfüllstand zu erhalten. Da reichen Minutenabstände. Wenn man den Bereich der Wärmenetze betrachtet, kann man mit noch größeren Zeitskalen rechnen. Das Wärmesystem reagiert sehr viel träger als das Stromsystem. Bei Photovoltaik- und Windkraftanlagen ist es sinnvoll im Sekundenbereich zu agieren. Da kann schon ein Wolkenzug oder eine Windböe Veränderungen bringen. Im Stromnetzbereich brauchen wir die hochfrequente Messung. Nur so lassen sich die elektrotechnischen Effekte erkennen, die für die Stabilität des Netzes entscheidend sind.

#### **Die Steuerung muss dann weitgehend automatisiert ablaufen?**

Die Erforschung der Automatisierungsoptionen ist ein Alleinstellungsmerkmal für das SESCL innerhalb des Energy Lab 2.0 am KIT. Aus sicherheitstechnischen Gründen kann man die einzelnen energietechnischen Anlagen im SESCL nicht von Hand steuern, trennen, ein- oder ausschalten. Wir haben die Automatisierung weit vorangetrieben. Auf der Hardware-Seite wurden alle Anlagen durch eine Sammelschienenmatrix miteinander verschaltet. An den Verknüpfungspunkten sind Schaltschütze angebracht, die man öffnen und schließen kann. Je nach Versuchsanordnung entscheidet die Automatisierungssoftware dann, welche Schütze geöffnet oder geschlossen werden. So können wir Experimente sehr schnell designen, konfigurieren und umsetzen, ohne die entsprechenden Anlagen immer wieder neu verdrahten zu müssen.

#### **Wie vervielfacht sich durch die Sektorenkopplung die Komplexität der notwendigen Steueralgorithmen?**

Die Regelungsalgorithmen der Stromnetze bewegen sich auf einer anderen Zeitskala als die entsprechenden Algorithmen für die Bereiche Gas und Wärme. Wenn man diese Sektoren koppeln möchte, spielen jene Anlagen eine zentrale Rolle, die diese Kopplung tatsächlich umsetzen. Wenn man die Kopplung von Strom zu Wärme betrachtet, dann sind das vor allem Wärmepumpen. Wärmepumpen lassen sich von der elektrischen Seite modellieren aber auch von der Wärmeseite. Bei der Kopplung Gas zu Strom findet die Kopplung entweder durch eine Gasturbine oder eine Brennstoffzelle statt. Umgekehrt geht es beim Übergang von Strom zu Gas um Elektrolyse- bzw. Methanisierungsanlagen. Wichtig ist, die Kopplung der beiden möglichen Modellierungsseiten umzusetzen. Dafür gibt es die Werkzeuge der sogenannten Ko-Simulationen. Sie helfen, die unterschiedlichen Welten in der Modellierung zusammenzubringen. Am IAI gibt es mit PROOF ein Ko-Simulation-Framework. In ersten Simulationsstudien wurde PROOF bereits eingesetzt; es befindet sich aber noch in der Entwicklung. Am Energy Lab 2.0 wird es vervollständigt und an den realen Anlagen getestet werden.

#### **Am Energy Lab 2.0 wird auch eine Forschungsleitwarte aufgebaut.**

In der Forschungsleitwarte sollen die Anlagen des Energy Lab 2.0 gesteuert und überwacht werden. Dafür haben wir die kommunikationstechnische Anbindung realisiert. Das geschieht über eine sogenannte SCADA-Instru-

## Control, Monitoring and Visualization Center (CMVC)

Im CMVC des Energy Lab 2.0 laufen mittels einer SCADA-Instrumentierung (Supervisory Control and Data Acquisition) und Glasfaserkabel alle Informationen aus den energietechnischen Anlagen des Energy Lab 2.0 einschließlich der simulierten Komponenten zusammen. Die Daten der vor Ort nicht verfügbaren Komponenten werden über speziell gesicherte Kanäle (VPN und vergleichbare Technologien) über das Internet geliefert. Eine Reihe für die Prognose wichtiger Datenbanken ist ebenfalls angeschlossen. Das CMVC bietet damit eine voll integrierte Forschungsumgebung, innerhalb derer alle Fragen der Planung, Steuerung, Überwachung, Datenanalyse und Visualisierung der Smart Grids und ihrer Komponenten adressiert werden können. Computercluster mit Cloud- und Big Data-Technologien stellen Datenmanagement-, Analyse-/Vorhersage-, Simulations-, Optimierungs- und Visualisierungsdienste bereit, die sich direkt über das Web nutzen lassen. Im CMVC werden die Softwareinstrumente und Standards für den automatisierten Betrieb einer Forschungsleitwarte für das sektorenübergreifende Energiesystem entwickelt. Welche Softwarearchitektur und welche Softwarekomponenten benötigen Leitwarten in Zukunft, um große Datenmengen mit beschränkter und modularer Rechenpower speichern und analysieren zu können?

Die Ko-Simulationsumgebung PROOF des CMVC erlaubt es, sektorenübergreifende Modellierungen in einem Gesamtmodell zusammenzuführen. Durch Hinzunahme von Datenvorhersagemodulen, Marktmodellen und Optimierungswerkzeugen zum Ermitteln von Betriebsfahrplänen können zukünftige Betriebsoptionen im Modell durchgespielt und evaluiert werden. ■



*Im PHIL-Labor werden reale Energie-Hardware-Komponenten in ein simuliertes Netz eingebunden. So können beispielsweise die Vorteile einer Energiespeicherung mittels Schwungrädern in realen deutschen Stromnetzen umfassend untersucht werden*

*In the PHIL laboratory, real energy hardware components are integrated in a simulated network. As an example, the benefit of having energy storage systems, such as flywheels, in German grids can be studied comprehensively*

## Power-Hardware-in-the-Loop (PHIL)

Das 1 MVA Power-Hardware-in-the-Loop-Labor ist eine der zentralen Einrichtungen des SEnSSiCC. Es bietet eine Simulationsumgebung, die in Echtzeit reale Leistungsbetriebsmittel über eine Schnittstelle bestehend aus Leistungsverstärkern und Messsystemen in ein virtuelles Energiesystem einbinden kann. Eine Verbindung von Datenverarbeitung und Leistungselektronik im Millisekundentakt erlaubt die sichere und wiederholbare Prüfung neuer Netzkomponenten, -topologien und -technologien in jeder erdenklichen Betriebssystemsituation. Das ermöglicht die Senkung von Entwicklungskosten und die Verkürzung der Zeitspanne vom Produktdesign zur Marktreife.

Große Synergien ergeben sich aus dem kombinierten Betrieb und der Zusammenschaltung mit anderen Laboreinrichtungen, z. B. dem SECSL, dem Photovoltaik-Testfeld,

Power-to-X-Anlagen sowie Energiespeichern und Ko-Simulationen. Auf diese Weise können alle Komponenten zukünftiger Energiesysteme in der Laborumgebung dargestellt werden. Neben dem 1 MVA Hauptlabor verfügt die Laborumgebung auch über eine Trainingsstation im Leistungsbereich bis zu 30 kVA zu Studien- und Testzwecken. ■

*Giovanni De Carne, Leiter des PHIL Labors und Gruppenleiter der Echtzeit Systemintegration Gruppe am Institut für Technische Physik des KIT*

*Giovanni De Carne, Head of the PHIL lab and Group Leader of the "Real Time System Integration" group of KIT's Institute for Technical Physics*



mentierung. Das steht für Supervisory Control and Data Acquisition und bezeichnet eine übergeordnete Steuerung und Regelung der energietechnischen Anlagen. Jetzt geht es um die Konfiguration. Welche Prozessparameter sind aus Sicht einer Leitwarte überhaupt interessant? Es macht beispielsweise keinen Sinn, jede Druckleitung der Methanisierungsanlage zu überwachen. Deshalb sind wir im engen Gespräch mit den beteiligten Instituten, um für jede energietechnische Anlage, die wir in der Forschungsleitwarte abbilden, die relevanten Parameter zu finden, die man dann visualisieren muss. Wir haben in der Forschungsleitwarte die Möglichkeit, existierende Leitwartensoftware zu testen und mit Eigenentwicklungen zu vergleichen. Da im neuen Energiesystem sehr viel mehr lokal passiert, müssen andere Software-Architekturen entwickelt und erprobt werden.

**Die Visualisierung von Daten ist ein weiterer Forschungsbereich von SEnSSiCC. Betrifft das auch die Gestaltung der Forschungsleitwarte?**

Wenn man mal in einer Leitwarte der heutigen Übertragungsnetze war, weiß man, wie die elektrotechnische Welt aussieht. Sehr technisch und vor allem mit Liniendiagrammen. Wir wollen zusätzlich über Dashboards eine übersichtsartige Visualisierung des Netzzustandes und der energietechnischen Anlagen ermöglichen. Die Forschungsleitwarte wird der Ort sein, wo wir ganz unterschiedliche Visualisierungsmöglichkeiten erproben können. ■

Kontakt: [simon.waczowicz@kit.edu](mailto:simon.waczowicz@kit.edu)

Das Gespräch führte Dr. Stefan Fuchs



FOTOS: MARKUS BREIG





FOTO: MAGALI HAUSER

## KANN AUS LUFT KRAFTSTOFF HERGESTELLT WERDEN?

### CAN FUEL BE MADE FROM AIR?

FOTO: SANDRA GÖTTISHEIM



VON LAURA JÖRGER // TRANSLATION: HEIDI KNIERIM

Kraftstoff aus Luft – nachhaltige Zukunftstechnologie oder zu schön, um wahr zu sein? Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des KIT ist es gemeinsam mit Partnern gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, zu verfeinern und inzwischen sogar in Richtung Marktreife zu bewegen, das genau diese Idee umsetzt. Doch wie funktioniert die vielversprechende Technologie, die bei der Bekämpfung des Klimawandels helfen soll? Das Herzstück ist ein Verfahren, das es bereits seit etwa 100 Jahren gibt: „Die sogenannte Fischer-Tropsch-Synthese wurde in den 1920er Jahren von den Chemikern Franz Fischer und Hans Tropsch am Kaiser-Wilhelm-Institut in Mülheim an der Ruhr entwickelt“, sagt Professor Peter Pfeifer vom Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) des KIT, „und dieses Verfahren wurde mit den vom KIT entwickelten und von INERATEC kommerzialisierten chemischen Kompaktreaktoren als Basis für die Herstellung von nachhaltigen Kraftstoffen perfektioniert.“ Bevor diese Synthese jedoch stattfinden kann, muss als erster Schritt Kohlenstoffdioxid aus der Umgebungsluft herausgefiltert werden. Danach entsteht aus dem CO<sub>2</sub> und Wasser mithilfe von erneuerbarem Strom in einem zweiten Schritt, der sogenannten Ko-Elektrolyse, das Synthesegas. Dieses besteht aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid und wird für die zuvor genannte Synthese benötigt. Das Syntheseprodukt kann durch einen vom KIT entwickelten Aufarbeitungsschritt angepasst werden, sodass es Benzin, Diesel oder Kerosin direkt ersetzen kann. „Diese Kraftstoffe sind klimaneutral, da dafür CO<sub>2</sub> aus der Luft genutzt wird und der Strom aus erneuerbaren Quellen stammt. Außerdem verbrennen sie deutlich schadstoffärmer als Kraftstoffe aus Rohöl, da sie keine Aromaten und andere Stoffe wie Schwefel enthalten.“ ■

Mehr Informationen zu diesem Verfahren finden Sie auf Seite 36 (Die P2X-Revolution kommt im Container) und Seite 31 (INERATEC – Kompaktanlagen im Containerformat). Kontakt: peter.pfeifer@kit.edu

Fuel from air – a sustainable technology of the future, or too good to be true? Together with partners, KIT researchers have succeeded in developing, refining, and advancing the marketability of a process that implements exactly this idea. How does this promising technology, which is supposed to prevent climate change, work? Its core is a process that has existed for about 100 years. “The so-called Fischer-Tropsch synthesis was developed in the 1920s by the chemists Franz Fischer and Hans Tropsch at the Kaiser Wilhelm Institute in Mülheim an der Ruhr,” says Professor Peter Pfeifer from KIT’s Institute for Micro Process Engineering (IMVT). “This process was brought to perfection with the chemical compact reactors developed by KIT and commercialized by INERATEC as a basis for the production of sustainable fuels.” Before such synthesis can take place, the first step is to filter carbon dioxide from ambient air. In a second step, so-called co-electrolysis, synthesis gas is produced from CO<sub>2</sub> and water with the help of renewable electricity. Synthesis gas consists of hydrogen and carbon monoxide and is required for the aforementioned synthesis. The synthesis product can be adapted by a processing step developed by the KIT to directly replace gasoline, diesel, or kerosene. “These fuels are climate-neutral, since CO<sub>2</sub> from air is used for this purpose and electricity comes from renewable sources. In addition, they do not contain aromatics and other substances such as sulfur; hence, their combustion causes less pollution than the combustion of fuels from crude oil.” ■

More information on this process can be found on page 36 (A Containerized Revolution of P2X) and page 31 (INERATEC – Kompaktanlagen im Containerformat).

Contact: peter.pfeifer@kit.edu



Drei baugleiche Einfamilienhäuser mit etwa 100 Quadratmetern Wohnfläche entstehen in der Helmholtz-Forschungsinfrastruktur Living Lab Energy Campus (LLEC) am KIT Campus Nord. Die als Reallabor konzipierten, voll möblierten Experimentalgebäude erscheinen äußerlich identisch, sind aber mit verschiedenen regelbaren Heizsystemen ausgestattet. Die Musterhäuser sind neben zwei Bürogebäuden Teil eines Projekts, welches das KIT mit dem Forschungszentrum Jülich und der RWTH Aachen realisiert. „Ziel des Gemeinschaftsprojekts ist ein CO<sub>2</sub>-neutraler Campusbetrieb bei größtmöglicher Netzunterstützung“, erläutert Dr. Clemens Düpmeier, Leiter des Fachgebiets IT-Methoden und -Komponenten für smarte Infrastrukturen (IT4SI) am Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI).

Das Gemeinschaftsprojekt umfasst den Aufbau eines Reallabors für die Erforschung von intelligenten, dezentralen Energiesystemen. Hier lassen sich die Versorgung eines Gebäude- oder Industrieareals mit Strom, Wasser, Gas, Wärme und Kälte dynamisch an Marktbedingungen und Netzanforderungen anpassen. Das Reallabor besteht aus einem Testfeld auf dem Campus in Jülich und dem Testfeld auf dem KIT Campus Nord. „Wir analysieren

*Mithilfe der Forschungsinfrastruktur können typische Campus-Gebäude-Infrastrukturen und Industrieareale analysiert werden*

*Using the research infrastructure, typical campus building infrastructures and industrial areas can be analyzed*



typische Campus-Gebäude-Infrastrukturen und Industrieareale, die am KIT Campus Nord aus den drei Musterhäusern, zwei ausgewählten Bürogebäuden und den auf die Energie bezogenen Forschungsanlagen und Netzen bestehen“, führt Düpmeier weiter aus. Jan Wachter, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAI ergänzt: „Die Experimentalgebäude machen die Auswirkungen der Energiewende für Bürgerinnen und Bürger erlebbar und zeigen, wie sich bei absolut identischen Wetterbedingungen eine lernfähige, vorausschauende und netzdienliche Prozessführung auf verschiedene Gebäudeheiz- und -kühlkonzepte auswirkt, wie sich ein multimodales Nachbarschaftsnetz bewährt und wie das öffentliche Stromversorgungsnetz unterstützt werden kann.“ Beide Testumgebungen sind über die informations- und kommunikationstechnische Leitwarten-Infrastruktur des Energy Lab 2.0 miteinander verbunden.

Die LLEC-Plattform hat zum Ziel, integrierte Energieversorgungssysteme in den Bereichen Wärme, Strom, chemische Energiespeicher und Mobilität durch lernfähige und vorausschauende Regelungsstrategien zu entwickeln. Wachter erläutert: „Notwendig ist das, weil verschiedene dezentrale Energiequellen nicht zu jeder Tages- und Jahreszeit oder bei allen Wetterbedingungen konstante Energie liefern können. Die verfügbare Energie hängt beispielsweise von Wetterbedingungen, Lichteinfall oder anderen schwankenden Parametern ab. Für eine stabile Energieversorgung wird die Kopplung verschiedener Energiesektoren, wie Elektrizität, Wärme und Gas immer wichtiger.“

In den Musterhäusern ist es möglich, verschiedene Gebäude-Heizkonzepte unter vollkommen identischen Wetterbedingungen zu untersuchen. Das erste Haus (Wärmepumpenhaus) heizt und kühlt mit Wärmepumpen, das zweite (Stromhaus) mit Elektrodirektheizung, Bauteilaktivierung mit Heizkabeln und Solarthermie, das dritte (Brennstoffzellenhaus) arbeitet mit einer Erdgas-Brennstoffzel-

## WELCHE TECHNOLOGIE PASST, UM GEBÄUDE UND INDUSTRIEPARKS INS NETZ ZU INTEGRIEREN?

VON CORNELIA MROSK



# Ungleiche Drillinge



Die drei baugleichen  
Einfamilienhäuser sind  
voll möblierte Reallabore,  
die mit unterschiedlichen Heizsystemen  
ausgestattet sind. Sie sind Teil des  
Living Lab Energy Campus (LLEC)  
der Helmholtz-Gemeinschaft

The three identically designed single-family  
homes are fully furnished real-life laboratories,  
which are equipped with different heating  
systems. They are part of the Living Lab Energy  
Campus (LLEC) of the Helmholtz Association

## Dissimilar Triplets

### Which Technology Can Be Used to Integrate Buildings and Industrial Parks in the Grid?

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Three single-family houses of identical design with an area of about 100 sqm each are being built on the Living Lab Energy Campus (LLEC), a Helmholtz research infrastructure on KIT's Campus North. The fully furnished experimental buildings are designed for use as a real-world lab and appear to be identical, but are equipped with different adjustable heating systems. These houses and two office buildings are part of a project operated by KIT in cooperation with Forschungszentrum Jülich and RWTH Aachen. "Our joint project is aimed at a CO<sub>2</sub>-neutral campus operation with maximum grid support," says Dr. Clemens Döpmeier, Head of the Research Area "IT Methods and Components for Smart Infrastructures" (IT4SI) of KIT's Institute for Automation and Applied Informatics (IAI).

The collaborative project includes establishing a real-world lab for studying smart, decentralized energy systems. Here, supplying a building or industrial area with power, water, gas, heat, and cold can be adapted dynamically to market conditions and grid requirements. The real-world lab consists of a test field on the campus in Jülich and a test field on KIT's Campus North. "We analyze typical campus infrastructures and industrial areas, including the three model houses, two selected office buildings, and the energy-related (research) facilities and grids on KIT's Campus North," Döpmeier continues. Jan Wachter, scientist of IAI, adds: "The experimental buildings allow the effects of the energy transition to be experienced by citizens. In addition, they demonstrate the impact of anticipatory and grid-supporting process control, which is capable of learning, on various heating and cooling concepts of buildings under absolutely identical weather conditions, whether operation of a multi-modal neighborhood network is successful or not, and how the public power supply grid can be supported." Both test environments are connected via the ICT-based control system of the Energy Lab 2.0. ■

Contact: clemens.duepmeier@kit.edu

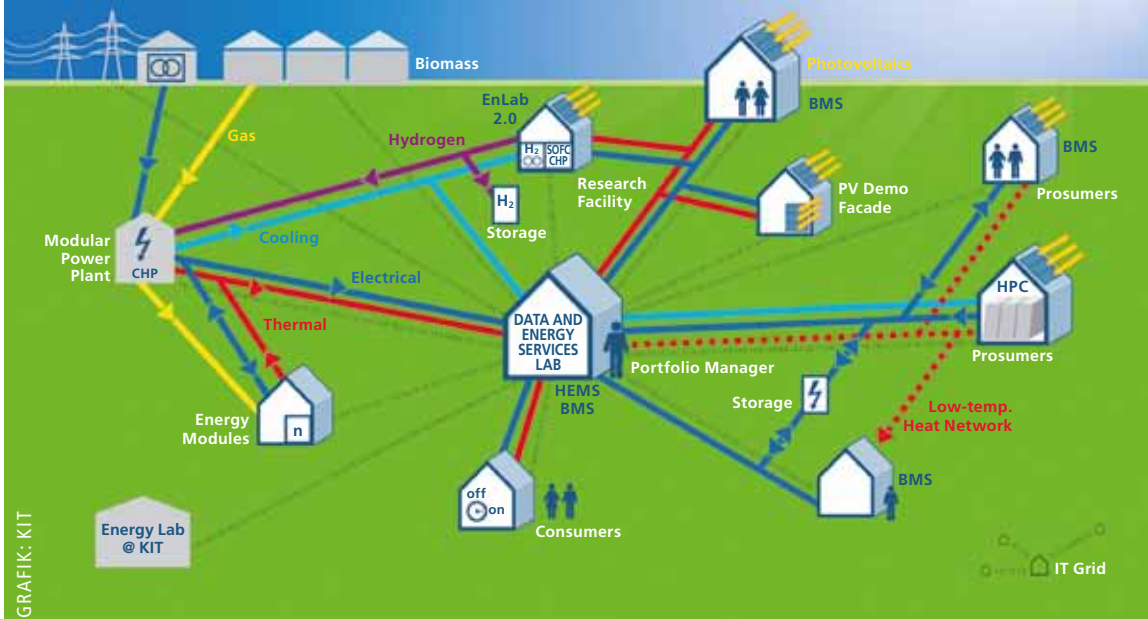


Clemens Döpmeier, Leiter des Fachgebiets IT-Methoden und -Komponenten für smarte Infrastrukturen (IT4SI) am Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) des KIT

Clemens Döpmeier, Head of the Research Area "IT Methods and Components for Smart Infrastructures" (IT4SI) of KIT's Institute for Automation and Applied Informatics (IAI)

Die einzelnen Komponenten bilden zusammen die Helmholtz-Forschungsinfrastruktur Living Lab Energy Campus (LLEC)

The individual components together form the Living Lab Energy Campus (LLEC) Helmholtz research infrastructure



le und kontrollierter Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung. Jedes Haus verfügt über einen Schichtspeicher mit 1 000 Litern Fassungsvermögen. Dort lassen sich mehrere Wärmeerzeuger mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen anschließen und je nach Bedarf Wärme oder Kälte speichern. Außerdem steht an jedem Haus eine bidirektionale Ladestation für Elektroautos zur Verfügung. Das Elektroauto kann Energie sowohl speichern als auch zurück ins Stromnetz speisen. Zu Zeiten mit geringer Last und hoher Verfügbarkeit von Strom wird es geladen, zu Zeiten mit hoher Last gibt das Fahrzeug bei Bedarf die Energie an das Netz zurück. So dient es auch als zusätzlicher Pufferspeicher. Den Strom beziehen die Experimentalhäuser je nach Anforderung aus dem öffentlichen Netz oder dem Energy Lab Microgrid, teilweise ergänzt durch eine PV-Anlage. Eine Besonderheit im Brennstoffzellenhaus ist neben der Versorgung mit üblichem Wechselstrom auch eine Gleichstromversorgung, die den direkten Anschluss von geeigneten Verbrauchern ohne Wandlungsverluste erlaubt. Schließlich erzeugen viele erneuerbare Energiequellen Gleich-



FOTO: MARKUS BREIG

Luigi Spatafora: Leiter der  
LLEC Experimentalgebäude

Luigi Spatafora: Head of  
the LLEC Experimental  
Buildings

strom, mit dem entsprechende Verbraucher dann direkt versorgt werden können.

Die drei Häuser sind mit einer Technik-Garage verbunden, die mit einem 1 300 Liter großen Schichtspeicher und einem konventionellen Pufferspeicher mit 1 500 Liter Fassungsvermögen ausgestattet ist. Eine spezielle Isolierung der Speicher erlaubt es auch, Kälte zu speichern. „Die Garage lässt sich beispielsweise als Erweiterung des Nachbarschaftsnetzes nutzen, sodass ein gleitendes Nahwärmenetz simuliert werden kann oder die Speicherkapazität wird bei Bedarf einem einzelnen Haus zugeteilt“, ergänzt Wachter. Außerdem können hier Wärme- und Kälteerzeuger von externen Wissenschaftlern und Kooperationspartnern angeschlossen werden und über das Nahwärmenetz einzelne oder alle Häuser versorgen. Genutzt werden die Häuser als Smart Office und als Wohngebäude, wobei Menschendummies durch Wärme- und Feuchteinfluss den Nutzereinfluss simulieren.

Um den aktuellen Zustand und die Dynamik der Gebäude, der energietechnischen Anlagen und Netze sowie die Energietopologien



FOTO: CHRISTIAN WETZEL

## Modularer Niedertemperaturkreislauf Karlsruhe (MoNiKa)

Ebenfalls auf dem Campus Nord ist am Institut für Kern- und Energietechnik (IKET) ein generischer Kraftwerkskreis eines Geothermiekraftwerks installiert. Der Kraftwerkskreis ist modular aufgebaut, mobil und bietet diverse Möglichkeiten zur Untersuchung der geothermalen bzw. Niedertemperatur-Stromerzeugung. Hauptkomponenten wie Pumpe, Wärmeüberträger, Turbine etc. sind austauschbar und lassen sich in weiten Betriebsbereichen charakterisieren. Teil der Forschungsarbeiten sind auch die Wechselwirkungen der Komponenten untereinander unter Berücksichtigung standortspezifischer Randbedingungen. Auf diese Weise können sowohl die einzelnen Komponenten als auch der Kreislauf als Ganzes thermodynamisch und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimiert werden. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten an MoNiKa leisten einen Beitrag zur Effizienzsteigerung der Stromerzeugung aus niederenthalpen Geothermalquellen.

Zusätzlich sollen mit dem generischen ORC-Kreis (Organic Rankine Cycle) die verschiedenen Arbeitsfluide und auch Mischungen untersucht werden, hauptsächlich überkritisches Propan. Kraftwerkskreise mit überkritischen Frischdampfparametern zeigen eine deutlich höhere Stromausbeute als vergleichbare unterkritische Kraftwerkskreise, denn die Exergieverluste bei der Aufheizung und Verdampfung des Arbeitsfluids im Wärmetauscher sind geringer. Um standortunabhängige Untersuchungen durchführen zu können, ist der Kraftwerkskreis nicht an der Bohrung eines Thermalwasserkreises angeschlossen. Derzeit wird künstliches Thermalwasser in einem Heißwassererzeuger erhitzt und dann dem Kraftwerk zugeführt. Es können aber Temperatur und Massenstrom in weiten Bereichen variiert und zusätzlich Störeinflüsse wie Korrosion, Scaling oder standortspezifische Wasserzusammensetzungen aus den Untersuchungen eliminiert werden. Damit werden die Voraussetzungen geschaffen, auch Geothermie als Erzeugungsquelle einzusetzen und mit dem Fernwärmenetz zu koppeln. ■

Info: [www.monika.kit.edu](http://www.monika.kit.edu)  
Kontakt: [kuhn@kit.edu](mailto:kuhn@kit.edu)

## Biomass-to-Liquids (BtL) – Der bioliq-Prozess

Das Karlsruher bioliq-Verfahren dient der Herstellung synthetischer Kraftstoffe und chemischer Grundprodukte aus trockener Biomasse. Die Entwicklung setzt hauptsächlich auf relativ preisgünstige, bisher weitgehend ungenutzte Restbiomasse. Diese enthält mehr Asche und Heteroatome als beispielsweise rindenfreies Holz und erfordert die Entwicklung entsprechender Verfahren. Die Stoffe haben meist eine niedrige Energiedichte. Um teure Transportwege zu sparen, kombiniert das Karlsruher BtL-Konzept die dezentrale Erzeugung des energiereichen Biosyncrude mittels Schnellpyrolyse mit dessen zentraler Umwandlung zu Synthesegas. Dieses wird anschließend im industriellen Maßstab zum gewünschten Endprodukt veredelt. Da die Energiedichte des Biosyncrude bezogen auf das Volumen von trockenem Stroh um mehr als eine Größenordnung höher ist, trägt die dezentrale Energieverdichtung zur Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bei. Als Nebenprodukte entstehen Wärme und Strom, die einen großen Teil der Prozessenergie decken und damit zu dem geforderten hohen CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial beitragen. So erzeugt die bioliq-Anlage hochwertiges Benzin aus biogenen Reststoffen. Das Benzin kann direkt eingesetzt und auch herkömmlichem Benzin beigemischt werden. So lässt sich die Biomasse stofflich bzw. energetisch vollständig verwerten und nutzen. Die gesamte Prozesskette wurde im KIT in Form einer Pilotanlage errichtet und wird mit Partnern aus der Industrie gemeinsam betrieben. ■

Info: [www.bioliq.de/59.php](http://www.bioliq.de/59.php)  
Kontakt: [nicolaus.dahmen@kit.edu](mailto:nicolaus.dahmen@kit.edu)



FOTO: AMADEUS BRANSIEPE

Jan Wachter, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) des KIT

Jan Wachter, Research Associate of the Institute for Automation and Applied Informatics (IAI) of KIT

zu erfassen, sind die Netze, Anlagen, Musterhäuser und die Bürogebäude mit zahlreichen Sensoren ausgestattet. Thermische Messungen in den Gebäuden erfolgen beispielsweise bei der Raumluft, an und in Wänden und Decken, an Wärme- und Kälteerzeugern oder im Schichtspeicher. Wetterstationen nehmen die solare Strahlung, den Bewölkungsgrad, die Außentemperatur, Windgeschwindigkeit, Luftdruck oder die Helligkeit auf. Darüber hinaus werden elektrische Messungen an den aktiven Netzteilnehmern (Prosumer) sowie Messungen von Strom, Spannung und Frequenz im Verteilernetz mit zeitlich hochauflösenden Datenrekordern vorgenommen. Hydraulische und wärmetechnische Messungen in den Technikräumen der Gebäude und im Fernwärmenetz geben Auskunft über Volumenstrom und Temperaturverläufe durch die Heizkreise sowie über die Druckverhältnisse im Rohrleitungssystem. Wachter erklärt: „Mit der umfangreichen Sensorausstattung können wir testen, welche Messwerte maßgeblich für den Praxiserfolg neuer Konzepte sind, aber auch, welche Anforderungen an die Platzierung und Qualität der Sensoren nötig sind, um den Komfort zu erhöhen oder den Energieverbrauch weiter zu reduzieren.“

Schnittstellen innerhalb und außerhalb der einzelnen Gebäude lassen eine flexible Topo-

logie sowohl bei der Erzeugung als auch bei der Verteilung von Wärme und Kälte zu. Die hohe Flexibilität der Experimentalgebäude (Strom- und Heizmatrix) ermöglicht eine Vielzahl an Szenarien, die real erprobt und in geeignete Modelle überführt werden können. „So können wir ein breites Spektrum an Bestandsgebäuden abbilden und erproben, ob neue Entwicklungen praxistauglich sind“, so Wachter. Es lassen sich beispielsweise netzdienliche Wohnraumheiz- und -kühlkonzepte zur Netzunterstützung untersuchen und das Verhalten verschiedener Hausausstattungen in einem zukünftigen Smart Grid aufzeigen.

Die Schwerpunkte der ersten Versuche liegen in der Sektorenkopplung, der Netzdienlichkeit der einzelnen Konzepte sowie in der Effizienz multimodaler Nachbarschaftsnetze. Doch das ist nur der erste Schritt auf dem Weg zu CO<sub>2</sub>-neutralen und netzflexiblen Campus-Infrastrukturen. Döpmeier resümiert: „Die Reallabor-Umgebung dient dem Monitoring und der Erforschung neuer Energiemanagement-Konzepte in campusähnlichen Liegenschaften. Im Reallabor zeigt sich die Praxistauglichkeit der neuen Konzepte, die durchaus auch auf typische Industriegelände übertragbar sind und damit einen Meilenstein der Energiewende markieren.“ ■

Kontakt: [clemens.duepmeier@kit.edu](mailto:clemens.duepmeier@kit.edu)



FOTO: MARKUS BREIG

## INERATEC – Kompaktanlagen im Containerformat

INERATEC, ein Spin-off des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), zeigt, wie Sektorenkopplung aussehen kann. Forschungspartner des Kopernikus-Projektes P2X haben auf dem Gelände des KIT Kraftstoff mit hoher Energiedichte aus Kohlendioxid, Wasser und Ökostrom produziert. Für die Verfahren, CO<sub>2</sub> in klimaneutralen Sprit umzuwandeln, und die Idee, die dezentralen Anlagen wie Autos in Serie zu bauen, hat das Unternehmen unter anderem den Deutschen Gründerpreis 2018 erhalten.

Über eine Elektrolyse wird Wasserstoff aus erneuerbarer Energie erzeugt, dann zusammen mit CO<sub>2</sub> Synthesegas hergestellt und anschließend via Fischer-Tropsch-Synthese zu Kohlenwasserstoff

umgesetzt. Die Kohlenwasserstoffe lassen sich in synthetische Kraftstoffe wie Benzin, Kerosin oder Diesel umwandeln und realisieren eine CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität. Die kompakten Reaktoren können in Anlagen in Containergröße integriert werden. Dabei lassen sich unterschiedliche Reaktorsysteme wie Power-to-Gas oder Power-to-Liquid je nach Anwendung auch miteinander kombinieren. Wie bioliq hat auch das Kopernikus-Projekt P2X zum Ziel, treibhausgasneutrale Kraftstoffe zu produzieren und den CO<sub>2</sub>-Anteil zu reduzieren. Das bei der Verbrennung entstehende CO<sub>2</sub> wird für die Herstellung neuer synthetischer Kraftstoffe wiederverwertet, sodass ein Kreislauf entsteht. Auf diese Weise wandelt sich klimaschädliches Treibhausgas zum Rohstoff. Im Ko-



FOTO: PATRICK LANGER

pernikus-Projekt wird das für die Kraftstoff-Herstellung benötigte CO<sub>2</sub> direkt aus der Luft gewonnen. Der Baustein Wasserstoff entsteht per Elektrolyse aus Grünstrom und Wasser. Das Projekt zeigt die große Bedeutung zukünftiger flüssiger Kraft- und Brennstoffe für den Klimaschutz. ■

Info und Kontakt: <https://ineratec.de/>

ANZEIGE

ifh<sup>W</sup>

Innovationsfabrik  
Heilbronn

## COWORKING-PLÄTZE

## SCHON AB 98€\*

DAS EINZIGARTIGE KONZEPT  
BALD AN NEUEM STANDORT!

Die Innovationsfabrik Heilbronn bietet ein ideales Umfeld für kreative Gründer und etablierte Unternehmen! Mit **Platz für Startups, Coworking-Plätzen** und **attraktiven Büroräumen**. Alle Infos zu Räumlichkeiten und Events sowie zum Umzug der IFH unter [innovationsfabrik.de](http://innovationsfabrik.de) und auf Facebook.

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

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



Bistrobereich



Chillzone mit Ideenboard



ZWEI STATIONÄRE  
GROSSPEICHER SIND  
INS ENERGY LAB 2.0  
INTEGRIERT

VON ALMUT OCHSMANN

# Doppelt hält besser

Doppelt hält besser



Besonders sicher und effizient: Der Lithium-Ionen-Batteriespeicher im Energy Lab 2.0 eignet sich als Quartierspeicher zur lokalen Netzstabilisierung

Highly safe and efficient: The lithium-ion battery storage system of Energy Lab 2.0 can be used for local grid stabilization



Lithium-Ionen-Batterien sind überall. Wir nutzen sie im Handy, im Laptop und mittlerweile auch immer mehr in Elektroautos. „Als wir am KIT vor ein paar Jahren angefangen haben, uns mit stationären Lithium-Ionen-Batterien zu befassen, war das noch ziemliches Neuland“, sagt Michael Mast, „es gab noch keine kommerziellen Systeme, weder Großspeicher noch Heimspeicher. Wir mussten uns da ziemlich reinfuchsen. In unserem ersten Versuchsspeicher hatten wir eine Batterie aus dem Automobilbereich eingebaut. Sie war überraschend auf das Gerüffel im Fahrzeug angewiesen und funktionierte bald nicht mehr, als sie stillstehen sollte.“

Michael Mast arbeitet in der Gruppe Systemtechnik am Batterietechnikum des KIT. Das sechsköpfige Team hat in den letzten drei Jahren den Aufbau von zwei Großspeichern initiiert und umgesetzt. Einer der beiden ist der Lithium-Ionen-Batteriespeicher, den die Arbeitsgruppe von Grund auf entwickelt hat: Jahrelange Erfahrungen und Expertise im Betrieb von Batterieanlagen waren die Voraussetzungen dafür. „In dem Batteriespeicher sind rund 600 Batteriemodule verbaut. Jedes ist ungefähr so groß wie ein Schuhkarton“, sagt Michael Mast. Darin befinden sich die Lithium-Ionen-Zellen, die mit einem Kühlsystem und der Elektronik zusammen in einem großen Betoncontainer eingebaut sind, wie er für Transformatorenhäuschen eingesetzt wird. Diesen Lithium-Ionen-Speicher haben Michael Mast und seine Kollegen in allen Punkten optimiert. Sie haben besonders langlebige Zellen ausgewählt, die Leistungselektronik, die Kühlung und die Steuerung wurden auf „Effizienz getrimmt“.

Seit letztem Jahr ergänzt eine Redox-Flow-Batterie die Großspeicher-Infrastruktur am Campus Nord. Als Technologiealternative für stationäre Batteriespeicher wird sie dem Lithium-Ionen-Speicher gegenübergestellt, und ihr gemeinsamer Betrieb soll untersucht werden: „Die Redox-Flow-Batterie möchten wir aus Anwendersicht detailliert analysieren und eine Steuerung für den hybriden Betrieb mit der Lithium-Ionen-Batterie entwickeln“, sagt Julian Kirn, Leiter der Arbeitsgruppe Systemtechnik. Die Redox-Flow-Batterie besteht aus drei 10 Fuß-Seefrachtcontainern, in denen Gleichstrom ein- und gespeichert wird, und einem kleineren Container, in dem Gleich- in Wechselstrom gewandelt wird. Dieses Speichersystem steht nun in etwa zwanzig Metern Entfernung zum Lithium-Ionen-Speicher. Die beiden Großspeicher sind für stationäre Anwendungen ausgelegt, wie beispielsweise die Stabilisierung eines Stromnet-



*Im Fokus des Lithium-Ionen-Großspeichers steht ein kostenoptimiertes Design mit einem innovativen Kühlkonzept*

*The lithium-ion mass storage system has a cost-optimized design with an innovative cooling concept*

zes: „Im Rahmen des Energy Lab 2.0 wird unser zukünftiges Energiesystem erprobt. Beispielsweise unterliegt Photovoltaikstrom wetterbedingten Schwankungen, was sich negativ auf das Netz auswirkt. Wir können die Speicher so betreiben, dass die Batterie entladen wird, wenn die Sonnenenergie abfällt und können so das Netz stützen“, erklärt Julian Kirn. Das Batterietechnikum wird jetzt alle Betriebsdaten sammeln, um das Verhalten der Batteriesysteme zu analysieren und aufzudecken, wo noch optimiert werden kann, damit elektrische Energie möglichst zuverlässig und günstig gespeichert werden kann. „Dafür müssen wir noch viel forschen und weiterentwickeln. Die Lithium-Ionen-Systeme sind derzeit noch die dominanten Batteriesysteme, unter anderem, weil ihre Entwicklung von mobilen Anwendungen vorangetrieben wurde. Im Rahmen des Energy Lab 2.0 stehen nun die Anforderungen für den stationären Betrieb im Vordergrund.“

Jede Technologie ist, auch unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, für eine andere Speicherdauer geeignet. Lithium-Ionen-Batteriesysteme sind sehr gute Kurzzeitspeicher und werden normalerweise für Entladezeiten im Bereich von einer halben Stunde bis zu vier Stunden ausgelegt. Sie können außerdem auf wenig Raum viel Energie speichern, ihre Energiedichte ist sehr hoch. Das Verhältnis von Leistung und Energie ist miteinander gekoppelt, abhängig von der ausgewählten Zelle. Die flüssigen Redox-Flow-Speicher hingegen haben den Vorteil, dass die installierte Energie und Leistung unabhängig voneinander skaliert werden können. Dadurch können auch Entladezeiten von mehr als vier Stunden sinnvoll abgedeckt werden. Lithium-Ionen-Batterien müssen in einem engen Temperaturfenster um 25 Grad Celsius gehalten werden, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten. Die hierfür notwendige Klimatisierung kann wiederum so viel Energie benötigen, dass die Ef-

*Michael Mast, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe Systemtechnik am Batterietechnikum des KIT*

*Michael Mast, Research Associate in the Systems Technology Group of KIT's Battery Technical Center*



FOTO: PRIVAT

FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE



*Julian Kirn bei der Sichtprüfung der Anlage, in der die Energiewandlung stattfindet*

*Julian Kirn visually inspects the energy conversion facility*

fizienz stark sinkt. Die Redox-Flow-Batterie ist, was ihre Betriebstemperatur angeht, weniger anspruchsvoll. Aber sie ist insgesamt noch nicht so ausgereift und viel weniger verbreitet als die Lithium-Ionen-Batterie. „Wir wollen das Gesamtsystem und das Betriebsverhalten untersuchen, um die Entwicklung voranzutreiben“, sagt Julian Kirn.

„Die Idee ist, die Nachteile des einen Systems durch die Vorteile des anderen zu kompensieren“, erklärt Thorsten Grün, Doktorand am Batterietechnikum. Seit vielen Jahren beschäftigt er sich mit Batteriemodellierungen und arbeitet jetzt an der Steuerung der Redox-Flow-Batterie. Es werden Betriebsstrategien entwickelt, um den Speicher möglichst effizient und zu geringen Speicherkosten zu betreiben.

Thorsten Grün ist Energietechniker und spezialisiert auf hybride Energiespeichersysteme für den Automobilbereich. Vieles davon lässt sich auf die stationären Speicher übertragen. Weder im Auto noch im Stromnetz wird eine Lithium-Ionen-Batterie vollständig entladen. Meist werden nur 80 Prozent der Kapazität genutzt: „Das ist wie bei einem Schwamm, der sich beim Aufladen vollsaugt und beim Entladen zusammenzieht. Durch diese Mikrobewegung entsteht mechanischer Stress in den Elektroden der Zellen. Je geringer dieser Hub ist, desto geringer ist der Schaden“, sagt Thorsten Grün. „Als vor ein paar Jahren der Hurrikan Irma in den USA tobte, hat Tesla per Software den Autos mehr nutzbare Kapazität freigeschaltet, damit die Leute längere Strecken fahren konnten. Da ist nicht mehr Energie entstanden, sondern die Softwareparameter, die die Lebensdauer der Batterie beeinflussen, wurden temporär geändert, natürlich ohne das Betriebsfenster der Zellen zu verletzen.“

Auch bei stationärer Anwendung wird die Lithium-Ionen-Batterie nicht zu hundert Prozent genutzt, während die Kapazität der Redox-Flow-Batterie ohne negative Auswirkungen vollständig verwendet werden kann. Sie hat dafür einen schlechteren Wirkungsgrad und eine wesentlich geringere Energiedichte. „Beide Speichertechnologien sind in der Lage, kurzfristige Netzschwankungen auszugleichen“, sagt Grün, „und sie können beide verwendet werden, um die Netzstabilität sicherzustellen. Wenn Kohle- und Atomkraftwerke vom Netz gegangen und wir ausschließlich auf fluktuierende Erzeuger angewiesen sind, brauchen wir Speichermedien, die ausgleichen können: Die bereitgestellte Energie und der Bedarf müssen immer im Gleichgewicht sein. Dafür sind Batterien und eine adäquate Steuerung notwendig.“

Die kommunikationstechnische Anbindung der Speichersysteme ist auch deshalb so wichtig, weil sie örtlich von anderen energie-technischen Anlagen getrennt sein können. Julian Kirn erklärt: „Das Energy Lab 2.0, in dem unsere Speicher integriert sind, bildet

*Außenansicht der Redox-Flow-Batterie*  
*Exterior view of the redox-flow battery*





*Doktorand Thorsten Grün und Julian Kirn, Leiter der Arbeitsgruppe Systemtechnik am Batterietechnikum des KIT*

*Doctoral researcher Thorsten Grün and Julian Kirn, Head of the Systems Technology Group of KIT's Battery Technical Center*

eine dezentrale Energieinfrastruktur ab, wobei zukünftige Stromnetze sowie Erzeuger und Verbraucher simuliert werden. Für einen optimalen Betrieb muss es also zentrale Stellen geben, die Informationen, beispielsweise über Wettervorhersagen und aus den Speichern zusammenbringen.“ Das Energy Lab 2.0 umfasst neben den Batteriespeichern auch andere Speichertechnologien, wie Wasserstoff, mit dem beliebig lange gespeichert werden kann. Die verschiedenen Speichertechnologien und ihre Wechselwirkungen zu untersuchen, erscheint allen drei Wissenschaftlern besonders wichtig. Maschinenbauer, Mechatroniker, Elektro- und Energietechniker, Chemiker und Physiker sowie Konstrukteure waren am Aufbau der beiden Großspeicher beteiligt: „Bei so was wird jeder gebraucht“, sagt Thorsten Grün, „die Fachbereiche überschneiden sich sehr stark. Ich lerne immer wieder etwas Neues. Wir werden in Zukunft viele verschiedene Speichertechnologien nebeneinander haben. Alle speichern Energie, aber auf unterschiedliche Weise.“ Julian Kirn fügt hinzu: „Die Speichertechnologien sind die Kernpunkte für eine gelingende Energiewende. Es ist enorm wichtig, daran zu forschen. Um von den Fossilen vollständig wegzukommen, müssen wir das Zusammenspiel von verschiedenen Technologien untersuchen.“ Und Michael Mast ergänzt: „Im Energy Lab 2.0 sind wir ein Baustein von vielen. Dort wird eine große Forschungsinfrastruktur geschaffen, mit der wir am KIT extrem viele Möglichkeiten haben werden. Die Forschung macht viel Spaß, weil wir immer am Puls der Zeit sind.“ ■

Kontakt: [michael.mast@kit.edu](mailto:michael.mast@kit.edu),  
[julian.kirn@kit.edu](mailto:julian.kirn@kit.edu) und [thorsten.gruen@kit.edu](mailto:thorsten.gruen@kit.edu)

## Two Is Better Than One

### Two Stationary Mass Storage Systems Are Integrated in Energy Lab 2.0

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

“When we started to work on stationary lithium-ion batteries at KIT a few years ago, we entered completely new ground,” Michael Mast says. “Commercial systems, mass storage as well as home storage systems, were still lacking.” Since then, Michael Mast has worked in the Systems Technology Group of KIT’s Battery Technical Center. His team of six initiated and realized the construction of two mass storage systems in the last three years. One of them is a lithium-ion battery storage system that the group developed from scratch. “This battery storage system accommodates about 600 battery modules, each of which is about the size of a shoebox,” Michael Mast says. The modules contain lithium-ion cells. Together with a cooling system and electronic components, they are installed in a large concrete container similar to those used for transformer buildings.

Last year, a redox-flow battery was added to the mass storage infrastructure on Campus North for comparison and analysis of joint operation with lithium-ion batteries. “We want to study the redox-flow battery in detail from the user’s perspective and develop a control system for hybrid operation with the lithium-ion battery,” says Julian Kirn, Head of the Systems Technology Group. The redox-flow battery consists of three 20-foot sea freight containers for storage and withdrawal of alternating current and a smaller container to convert the current from direct to alternating. This storage system is located about 20 m away from the lithium-ion storage system. Both mass storage systems are designed for stationary applications, such as grid stabilization. “At the Energy Lab 2.0, our future energy system is tested. For example, photovoltaic power is subject to fluctuations caused by the weather. This has a negative impact on the grid. We can operate the storage systems such that the battery is discharged when solar power production decreases and, thus, we support the grid,” Julian Kirn explains. The Battery Technical Center now plans to collect all operational data to analyze the behavior of the battery systems and identify potential ways to optimize the storage of electrical power so it is as reliable and inexpensive as possible. ■

Contacts: [michael.mast@kit.edu](mailto:michael.mast@kit.edu), [julian.kirn@kit.edu](mailto:julian.kirn@kit.edu), and [thorsten.gruen@kit.edu](mailto:thorsten.gruen@kit.edu)





# Die P2X-Revolution kommt im Container

Die Dreiphasen-Methanisierungsanlage ist Teil des Energy Lab 2.0. Sie stellt aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid über eine katalytische Reaktion Methan her

The three-phase methanation plant is part of Energy Lab 2.0 and produces methane from hydrogen and carbon dioxide via a catalytic reaction



*In der Methanisierungsanlage wird die Methanisierung in der Blasensäule und im Mikroreaktor im Pilotmaßstab erforscht*

*In the methanation plant, methanation in the bubble column and microreactor is studied on the pilot scale*



FOTOS: AMADEUS BRAMSIEPE

## ERNEUERBARE ENERGIEN SPEICHERN, TRANSPORTIEREN UND FÜR WÄRME ODER MOBILITÄT NUTZBAR MACHEN

VON DR. MARTIN HEIDELBERGER

Wer den Anlageverbund des Energy Lab 2.0 am KIT besichtigt, dem fallen bald die großen Container auf. Blau und weiß lackiert stehen sie neben dem Photovoltaikfeld und erinnern an Hafen und Aufbruch. Tatsächlich soll das, was dort in Containern steckt, möglichst bald in die große weite Welt hinaus: Nämlich Technologien, die es der Menschheit ermöglichen, ein großes Dilemma unserer Zeit zu durchbrechen. Um einen katastrophalen Klimawandel abzuwenden, müssen wir den Ausstoß von CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen drastisch reduzieren – gleichzeitig sind wir aber auf chemische Energieträger wie Methan, Benzin und Kerosin angewiesen, deren Gebrauch jede Menge Emissionen verursacht.

Warum es trotzdem funktionieren kann, erklärt der Wissenschaftler Siegfried Bajohr vom Engler-Bunte-Institut des KIT. Für ihn sind die chemischen Energieträger sogar Voraussetzung für eine erfolgreiche Energiewende: „Selbst in den optimistischsten Szenarien können wir mit Elektrizität nicht alle Anwen-





FOTOS: AMADEUS BRAMSIEPE

Doktorand Dominik Schollenberger und Fachgebietsleiter Siegfried Bajohr vom Engler-Bunte-Institut des KIT

Doctoral researcher Dominik Schollenberger and head of department Siegfried Bajohr from the Engler-Bunte Institute of KIT

dungen unseres Energiesystems abdecken. Es wird also auch zukünftig nicht ohne Energiemoleküle funktionieren.“ Das sei aber auch nicht notwendig, solange sie keinen fossilen Ursprung haben: „Durch die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarer Energie und die anschließende Wandlung in synthetisches Erdgas, Kraftstoffe oder andere chemische Produkte werden Wärmeerzeugung, Mobilität und stoffliche Nutzung ohne zusätzliche Treibhausgasemissionen möglich.“ Eine breite Anwendung dieser unter dem Begriff Power-to-X (P2X) bekannten Prozessketten könnte sogar noch weitere Hindernisse bei der Transformation des Energiesystems aus dem Weg räumen, etwa beim Transport oder der Speicherung von erneuerbarer Energie aus dezentraler und schwankender Produktion. Bereits heute transportiert das deutsche Gasnetz jährlich eine Energiemenge von über 1 000 Milliarden kWh über die Fern- und Verteilnetze mit insgesamt etwa 500 000 Kilometern Länge. „Nutzt man diese Kapazitäten konsequent für erneuerbare Gase, dann gehören Debatten rund um Stromautobahnen oder Dunkelflauten vielleicht bald der Vergangenheit an“, so Bajohr.

Der Schlüssel zur P2X-Revolution sind geeignete Konversionstechnologien – und das ist

es auch, was in den Containern am KIT steckt. Sie enthalten beispielsweise Anlagen zur Methanisierung, die gemeinsam mit der Wasserelektrolyse als Schnittstelle zwischen Strom- und Gasnetz fungieren. Dabei wird „grüner“ Wasserstoff ( $H_2$ ) aus der Elektrolyse gemeinsam mit Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) – beziehungsweise Kohlenstoffmonoxid ( $CO$ ) – unter Zuhilfenahme von Katalysatoren in Wasser ( $H_2O$ ) und Methan ( $CH_4$ ) umgewandelt. In einem der Container ist hierfür ein spezieller Wabenreaktor installiert, der am KIT entwickelt wurde. In diesem strömen  $H_2$  und  $CO_2$  durch eine Struktur aus abwechselnd geschichteten glatten und gewellten Blechlagen. „Sie erinnern an Bienenwaben, deshalb der Name“, erklärt Bajohr, der am Energy Lab 2.0 für die Methanisierung zuständig ist. „Diese Waben sind mit einem Katalysator beschichtet und bieten eine große Oberfläche für die Reaktion. Außerdem helfen sie dabei, die Wärme aus der exothermen Methanisierung effizient abzuleiten.“ Die Anlage im Energy Lab 2.0 ist mit 60 kW Leistung relativ klein ausgelegt, durch die modulare Bauweise kann die marktreife Technologie aber fast beliebig skaliert werden.

Ein anderer Ansatz wird mit der weltweit einzigartigen Containeranlage zur sogenannten



FOTO: MAGALI HAUSER/PATRICK LANGER



FOTO: CYNTHIA RUF

*Michael Klumpp vom Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) des KIT*

*Michael Klumpp from the Institute for Micro Process Engineering (IMVT) of KIT*

*INERATEC, eine Ausgründung des KIT, hat eine containerbasierte Fischer-Tropsch-Anlage zur Herstellung von E-Fuels entwickelt*

*INERATEC, a KIT spin-off, has developed a container-based Fischer-Tropsch plant for the production of E-Fuels*



## A Containerized Revolution of P2X

### Renewable Energy Can Be Stored and Transported to Provide Heat and Mobility

TRANSLATION: HEIDI KNIERIM

In order to avert disastrous climate change, we must drastically reduce CO<sub>2</sub> emissions from fossil sources. At the same time, however, we depend on chemical energy sources such as methane, gasoline, and kerosene whose use produces a great deal of emissions. Siegfried Bajohr, a scientist from KIT's Engler-Bunte Institute, is responsible for methanation at Energy Lab 2.0. He says drastic reductions in fossil fuel emissions are possible. In his opinion, chemical energy carriers are actually a prerequisite for a successful energy transition: "Even in the most optimistic scenarios, electricity cannot cover all applications of our energy system. This means that in the future, we will still depend on energy molecules." This is not a big issue, however, as long as these molecules are not of fossil origin: "By producing hydrogen from renewable energy and then converting it into synthetic natural gas, fuels, or other chemical products, heat generation, mobility, and material use will become possible without additional greenhouse gas emissions." A broad application of these process chains, known as Power-to-X (P2X), could even remove further obstacles to the transformation of the energy system, such as the transport or storage of renewable energy from decentralized and fluctuating production. Suitable conversion technologies are the key to the P2X revolution. They include, for example, methanation plants which, together with water electrolysis, act as an interface between the electricity and gas networks. Here, "green" hydrogen (H<sub>2</sub>) from electrolysis is converted together with carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) – or carbon monoxide (CO) – into water (H<sub>2</sub>O) and methane (CH<sub>4</sub>) with the aid of catalysts. A special honeycomb reactor developed at the KIT is installed in one of the containers at Energy Lab 2.0. In this reactor, H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> flow through a structure of alternating layers of smooth and corrugated sheet metal. The 60 kW plant at Energy Lab 2.0 is relatively small, but due to its modular design, the market-ready technology can be scaled up almost arbitrarily.

A different approach is being pursued with the globally unique container-based test facility for so-called three-phase methanation. This type of facility is suitable as a buffer in conjunction with fluctuating electricity production: "Our 200-kW facility is load-flexible and highly dynamic – we go from 0 to 100 percent output in 30 seconds," says Bajohr.

The power-to-fuel process for the production of CO<sub>2</sub>-neutral liquid fuels is also being tested at Energy Lab 2.0. "From a chemical point of view, e-fuels are hydrocarbons produced by the Fischer-Tropsch process," explains Michael Klumpp from KIT's Institute of Micro Process Engineering, which conducts intensive research on the power-to-fuel topic. A container-based facility provided by KIT spinoff INERATEC was set up at KIT. Its core is a highly efficient microstructured reactor in which the hydrocarbon chains are formed from synthesis gas (consisting of CO and H<sub>2</sub>) with the aid of a catalyst (see also page 31).

In addition to power-to-gas and power-to-fuel, other P2X processes are incorporated in Energy Lab 2.0. In Stuttgart, for example, the German Aerospace Center (DLR) is researching the storage of electrical energy in the form of high-temperature heat in a solid. This means that the interaction of the various conversion technologies with other components of the energy system can be tested for the first time on a multi-100 kW scale. ■

Contacts: [siegfried.bajohr@kit.edu](mailto:siegfried.bajohr@kit.edu) and [michael.klumpp@kit.edu](mailto:michael.klumpp@kit.edu)

For a video (in German) of Roland Dittmeyer speaking about "Power-to-X – CO<sub>2</sub>-neutral e-fuels from regenerative power and CO<sub>2</sub> from Air," click:





FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE/PATRICK LANGER

Technikumsanlage zur Synthese von Kraftstoffen aus Synthesegas am Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) des KIT

Pilot plant for the synthesis of fuels from synthesis gas at KIT's Institute for Micro Process Engineering (IMVT)

Dreiphasen-Methanisierung verfolgt. „Hier nutzen wir drei Phasen: Der feste Katalysator wird in einer geeigneten Flüssigkeit suspendiert und diese Mischung wird wiederum von den Reaktivgasen durchströmt“, erklärt Bajohr. „Den Katalysator zu suspendieren hat den Vorteil, dass sich die Reaktionswärme gleichmäßig verteilt und leicht in anderen Prozessschritten genutzt werden kann.“ Dieser Anlagentyp eignet sich als Puffer im Zusammenspiel mit schwankender Stromproduktion: „Unsere 200-kW-Anlage ist lastflexibel und hochdynamisch – von 0 auf 100 Prozent Leistung fahren wir in 30 Sekunden“, so Bajohr.

Auch der Power-to-Fuel-Prozess zur Produktion von CO<sub>2</sub>-neutralen flüssigen Kraftstoffen wird im Energy Lab 2.0 erprobt. „Die E-Fuels sind chemisch gesehen Kohlenwasserstoffe, die wir nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren herstellen“, erklärt Michael Klumpp vom Institut für Mikroverfahrenstechnik des KIT, das intensiv am Thema Power-to-Fuel forscht. Im Anlagenverbund am KIT wurde hierfür eine Containeranlage der Firma INERATEC installiert, einem Spin-off des KIT. Ihr Herzstück ist ein hocheffizienter mikrostrukturierter Reaktor, mit dem aus Synthesegas (bestehend aus CO und H<sub>2</sub>) mithilfe eines Katalysators die Kohlenwasserstoffketten gebildet werden

(siehe auch Seite 31). „Aus diesen lassen sich dann durch weitere Schritte die E-Fuels herstellen – egal ob Benzin, Diesel oder Kerosin“, sagt Klumpp. Ausgelegt ist die Anlage für gut 200 Liter pro Tag. Aber da die Technologie modular ist, lässt auch sie sich gut skalieren.

Diese Anlage des Energy Lab 2.0 wird auch im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Kopernikus-Projektes „P2X“ eingesetzt. „Wir werden dabei Kraftstoffe aus Luft und Strom in einer einzigen integrierten containerbasierten Prozesskette produzieren“, sagt Klumpp. Der Ausgangsstoff CO<sub>2</sub> wird dabei per Direct-Air-Capture-Verfahren aus der Atmosphäre gefiltert. Das entsprechende Modul installiert die Firma Climeworks im Anlagenverbund. Aus dem CO<sub>2</sub> wird zusammen mit Wasserdampf durch die Hochtemperatur-Co-Elektrolyse der Firma Sunfire besonders effizient das Synthesegas erzeugt. Aus diesem wiederum entstehen im mikrostrukturierten Reaktor von INERATEC die Kohlenwasserstoffe, die anschließend noch unter Wasserstoffatmosphäre und mit einem Katalysator in Richtung der gewünschten Kraftstoffe optimiert werden. Ein entsprechendes Modul wurde im Rahmen der vom Land Baden-Württemberg geförderten Forschungsinitiative „reFuels“ entwickelt. „Perspektivisch könnten solche Anlagen ein-

mal in Serie gefertigt werden“, sagt Klumpp. „Aufgestellt neben Solar-, Wind- oder Wasserkraftwerken kann dann grüner Strom direkt vor Ort für die Produktion von E-Fuels genutzt werden.“

Neben Power-to-Gas und Power-to-Fuel sind in das Energy Lab 2.0 noch weitere P2X-Verfahren eingebunden. In Stuttgart erforscht das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) etwa die Speicherung von elektrischer Energie in Form von Hochtemperaturwärme in einem Feststoff. Insgesamt kann so erstmals das Zusammenspiel der unterschiedlichen Konversionstechnologien im Multi-100 kW-Maßstab mit anderen Komponenten des Energiesystems erprobt werden. Sobald sie ihren Platz im komplexen „Energieballet“ aus Produktion, Speicherung und Transport sowie Verbrauch und Steuerung gefunden haben, wird es Zeit, die P2X-Container einzuschiffen. ■

Kontakt: [siegfried.bajohr@kit.edu](mailto:siegfried.bajohr@kit.edu) und [michael.klumpp@kit.edu](mailto:michael.klumpp@kit.edu)

Ein Video mit Professor Roland Dittmeyer zum Thema „Power-to-X – CO<sub>2</sub>-neutrale eFuels aus regenerativem Strom und CO<sub>2</sub> aus der Luft“ finden Sie unter:





## Elektrolyse: Der erste Schritt bei P2X

Um elektrischen Strom aus erneuerbaren Quellen in chemischen Molekülen zu speichern, stellen Wasserelektrolyseverfahren den ersten Schritt dar. Dabei wird Wasser ( $H_2O$ ) mithilfe von elektrischem Strom in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) gespalten – ein Prinzip, das schon seit über 200 Jahren bekannt ist. Für P2X werden allerdings effiziente und kostengünstige Lösungen benötigt. Um das Zusammenspiel von unterschiedlichen Elektrolyseverfahren mit anderen P2X-Komponenten zu testen, sind in den Anlageverbund des Energy Lab 2.0 unter anderem zwei größere Anlagen mit unterschiedlichen Technologien eingebunden. Physisch stehen diese neben der PEM-Elektrolyse und der Hochtemperatur-Dampfelektrolyse am Energy Lab auch im Living Lab Energy Campus (LLEC) des Forschungszentrums Jülich. Die Erforschung und Entwicklung der elektrochemischen Anlage findet in Jülich am Institut für elektrochemische Verfahrenstechnik, (IEK-14) statt.

Eine dieser Anlagen nutzt die Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse (Proton Exchange Membrane, PEM) und besteht aus 56 geschichteten Zellen mit einer Gesamtleistung von 400 kW. Bei bis zu 90 Grad Celsius werden Wassermoleküle mithilfe von Edelmetallkatalysatoren an einer protonendurchlässigen Polymermembran gespalten. Die PEM-Anlage in Jülich zeichnet sich durch einen besonders kompakten Aufbau, hohe Dynamik sowie einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad ( $> 70\%$ ) aus. Neben der Einbindung in P2X-Prozesse untersuchen die Energieforscherinnen und -forscher in Jülich auch die Strömungsdynamik in den porösen Schichtsystemen sowie die Langzeitstabilität der PEM-Zellen. Außerdem prüfen sie, wie sich der Edelmetalleinsatz vermindern lässt. Die zweite virtuell mit dem Campus Nord verschaltete Anlage in Jülich ist ein reversibel arbeitendes Festoxidzellen-System zur Dampf-Elektrolyse und Wasserstoff-Rückverstromung (reversible Solid Oxide Cell, rSOC), das eine ionenleitende keramische Membran nutzt und mit einem Nickelkatalysator zur Molekülsplaltung auskommt. Diese Technologie arbeitet in einen Temperaturbereich von ca.  $700\text{ }^\circ\text{C}$ , wodurch ein Teil der zur Wassersplaltung erforderlichen Energie als Wärme aus anderen Prozessen zugeführt werden kann, was die Effizienz deutlich erhöht. Eine nützliche Eigenschaft der rSOC ist die Möglichkeit zur Rückverstromung mit demselben Aufbau, wobei die Anlage in Jülich im Elektrolysebetrieb 40 kW und im Brennstoffzellenbetrieb 10 kW leistet. Neben Forschung zu unterschiedlichen Betriebsmodi und deren Auswirkung auf Performanz und Degradation, wird mit der Anlage auch mittels Modellierung und Simulation an einer weiteren Wirkungsgradsteigerung geforscht, hierbei wird ein Elektrolysewirkungsgrad von  $> 75\%$  und ein Rückverstromungswirkungsgrad von  $> 60\%$  angestrebt. ■



Die Dreiphasen-Methanisierungsanlage des Energy Lab 2.0

The three-phase methanation plant of Energy Lab 2.0

FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

ANZEIGE

## HECTOR SCHOOL OF ENGINEERING & MANAGEMENT



- **Activate the Progress of Intelligent Energy Systems, and Energy Transition** with an executive master of science, or certificate courses
- **Part-Time Studies and Work** in the fields of power to X and X to power, smart grids & buildings, regenerative energy systems, e-mobility, and well-to-wheel

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





## ERPROBUNG DER DEZENTRALEN TECHNOLOGIE MIT WEITER BANDBREITE AN FLÜSSIGEN ODER GASFÖRMIGEN BRENNSTOFFEN

VON HEIKE MARBURGER

Im Energy Lab 2.0 gehen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Wege in der Energieforschung: Sie untersuchen das komplette Energiesystem - von der Erzeugung der Energieträger über deren Speicherung bis hin zum Verbrauch. Im Visier ist dabei auch die Stromerzeugung mit Mikrogasturbinen, ein perfektes Teilstück im Anlagenverbund des Energy Lab 2.0. Betreut werden die Turbinen vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart. Dort wurde ein Verbrennungssystem für Gasturbinen entwickelt, das unterschiedliche erneuerbare Brennstoffe effizient nutzen kann. Im Anlagenverbund des Energy Lab 2.0 ist eine solche Mikrogasturbine integriert, um die Aspekte der last- und brennstoffflexiblen Verstromung erneuerbarer Brennstoffe im Reallabor zu untersuchen. Sie verwendet das nachhaltige Synthesegas aus der bioliq-Anlage, (siehe auch Seite 30) um daraus Strom zu erzeugen, wenn beispielsweise die Photovoltaikanlage (siehe Seite 46) keinen liefern kann.

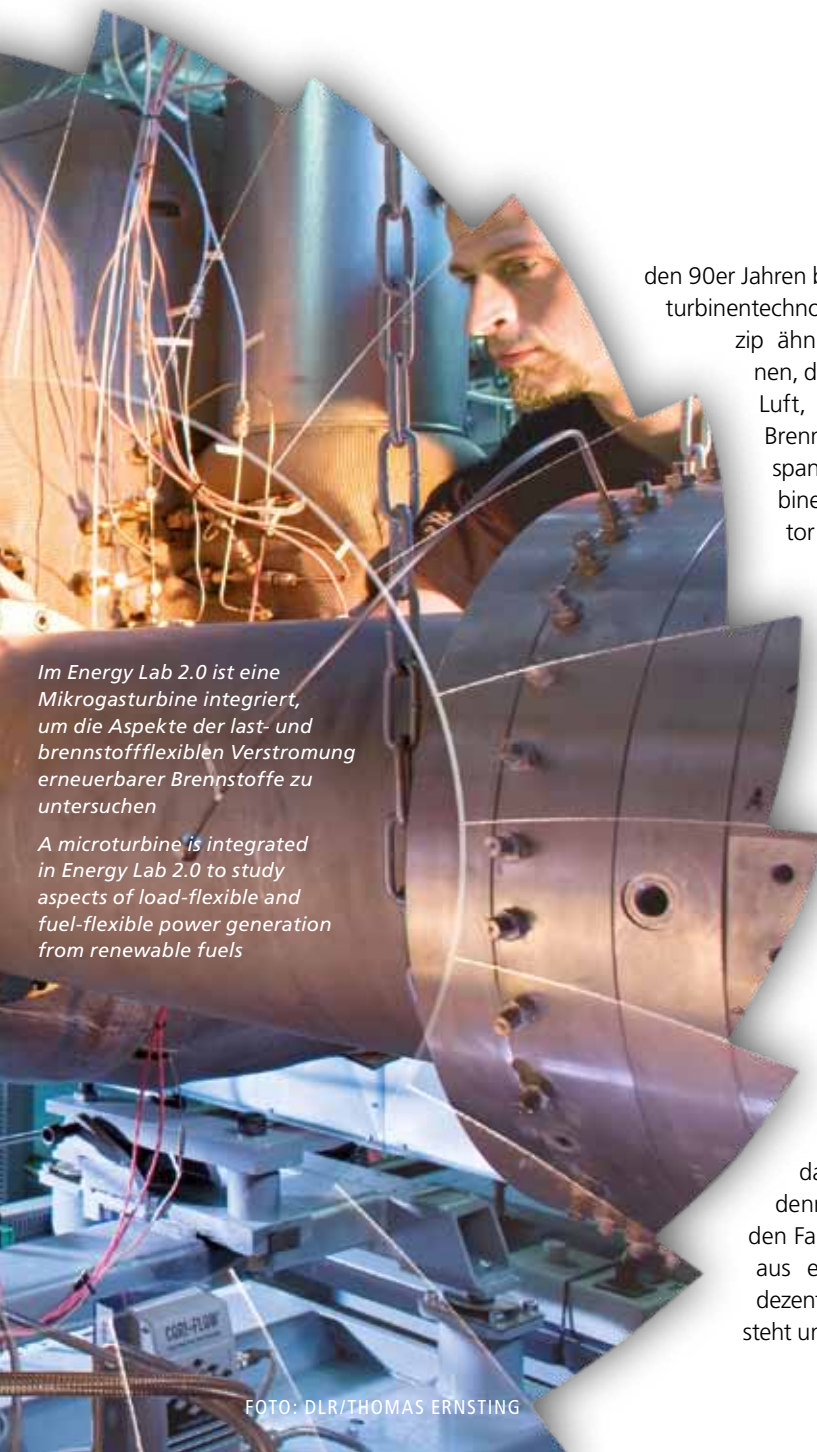
„Ein Aspekt bei erneuerbaren Energien ist, dass diese nur temporär zur Verfügung stehen. Die von Windrädern und Solarzellen eingespeiste Energie ist aufgrund ihrer Wetterabhängigkeit zeitlich sowie mengenmäßig schwankend. Ziel ist es aber, eine stabile Stromversorgung zu erreichen, dazu müssen wir Tiefpunkte kompensieren. Ein Kernthema am Energy Lab 2.0 ist deshalb die Frage nach einer sicheren Netzstabilität“, erklärt Dr. Bernd

Zimmerlin, Leiter der Abteilung Energietechnik des Instituts für Technische Chemie (ITC) und Betriebsleiter der bioliq-Anlage am KIT. Dazu suchen die Forschenden nach Lösungen, um erneuerbare Energieträger im Anlagenverbund des Energy Lab ideal miteinander zu kombinieren, sodass am Schluss das Stromangebot dem Bedarf angepasst werden kann. Eine intelligente Vernetzung der verschiedenen Komponenten ist ihr Ziel und die Mikrogasturbine scheint ein perfektes Verbindungsstück dafür zu sein.

Dr. Peter Kutne arbeitet am Institut für Verbrennungstechnik des DLR, er leitet dort die Abteilung Gasturbinen und ist auch am Energy Lab 2.0 für den Betrieb der Mikrogasturbine zuständig. Die Technologie sei vergleichsweise jung, erklärt der Chemiker. Die Entwicklung der Systeme habe in



# Stromerzeugung mit Mikrogasturbinen



den 90er Jahren begonnen. „Die Mikrogasturbinentechnologie funktioniert im Prinzip ähnlich wie große Gasturbinen, das heißt, man komprimiert Luft, erhitzt sie, in dem man Brennstoff verbrennt und entspannt die Luft über eine Turbine, die dann einen Generator antreibt“, erläutert Kutne das Prinzip der Stromerzeugung mittels Mikrogasturbine.

Ein Vorteil der Technologie ist laut beiden Wissenschaftlern, dass die Mikrogasturbinen dezentral betrieben werden können.

Die Turbine am KIT hat etwa 100 kW elektrische Leistung, sie ist mobil aufgebaut und kann in verschiedenen Umgebungen eingesetzt werden. „Gerade bei Systemen mit erneuerbaren Energien ist das ein wichtiger Punkt, denn hier haben wir häufiger den Fall, dass Synthesegas, etwa aus einer Biomassevergasung, dezentral in kleinen Mengen entsteht und man diese dann bei Be-

darf mit der Mikrogasturbine nutzen kann“, so Kutne. Ein Grund dafür ist, dass die Turbine ein sehr schnelles Ansprechverhalten hat, das heißt sie kann sehr zügig ab- und wieder angefahren werden.

Auch lassen sich Mikrogasturbinen mit einer deutlich weiteren Bandbreite an flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen betreiben, als es die motorischen Systeme von Blockheizkraftwerken erlauben. Daher sind sie vor allem für den Betrieb mit schwankenden Brennstoffzusammensetzungen geeignet. „Mit Synthesegas der bioliq-Anlage testen wir, wie effizient ein Gasturbinensystem mit unterschiedlichen Brennstoffangeboten funktioniert. Uns steht zeitweise Synthesegas in unterschiedlichen Mengen und Qualitäten zur Verfügung und im Energy Lab 2.0 wurde die Gasturbine so modifiziert, dass sie sowohl mit Synthesegas als auch mit Erdgas oder Mischungen davon funktioniert“, sagt Bernd Zimmerlin. Die Forschenden wollen hier erproben, wie das Zusammenspiel der Systeme funktioniert, wenn auch die Brennstoffmenge und das Synthesegas sich ändern.

Auch seien die Mikrogasturbinen wegen der kontinuierlichen Verbrennung schadstoffärmer als Motoren, betont Peter Kutne. Eine kostenintensive Abgasnachbehandlung, etwa durch einen Katalysator, ist bei ihrem Einsatz nicht notwendig. Der Wartungsaufwand ist ebenfalls geringer, da eine Turbine mit weni-

*Im Energy Lab 2.0 ist eine Mikrogasturbine integriert, um die Aspekte der last- und brennstoffflexiblen Verstromung erneuerbarer Brennstoffe zu untersuchen*

*A microturbine is integrated in Energy Lab 2.0 to study aspects of load-flexible and fuel-flexible power generation from renewable fuels*

links: Peter Kutne vom Institut für Verbrennungstechnik des DLR  
rechts: Bernd Zimmerlin, Leiter der Abteilung Energietechnik des Instituts für Technische Chemie (ITC) und Betriebsleiter der bioliq-Anlage am KIT

Left: Peter Kutne from DLR's Institute of Combustion Technology  
Right: Bernd Zimmerlin, Head of the Department of Energy Laboratories of the Institute for Technical Chemistry (ITC) and Operations Manager of KIT's bioliq plant



FOTO: PRIVAT



FOTO: MARKUS BREIG

ger bewegten Teilen auskommt, als ein Motor. Weitere Vorteile bietet die Turbine durch die erzeugte Abwärme, die im Vergleich zu Kolbenmotoren auf einem höheren Temperaturniveau ist und gleichbleibend anfällt. Damit ist die Mikrogasturbine auch für die Erzeugung von industrieller Prozesswärme geeignet.

Doch warum sind diese Gasturbinen im kleinen Maßstab nicht schon längst am Markt und haben andere Blockheizkraftwerke verdrängt? Peter Kutne sagt dazu: „Ein wichtiges Forschungsthema an dem wir arbeiten, ist der elektrische Wirkungsgrad der Turbinen, diesen versuchen wir zu steigern. Der andere Aspekt, der gerade bei den kleinen Systemen in die Waagschale fällt, ist, dass die Anschaffungskosten für so ein System noch relativ hoch sind.“ Da sie noch nicht in der großen Menge produziert werden und die einzelnen Herstellungsschritte zu teuer sind, dauert es länger bis sich die Investition auszahlt. Auch daran arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler – die Senkung der einzelnen Investitionskosten.

„Es ist hilfreich, dass das Energy Lab 2.0 so viele unterschiedliche Komponenten hat, denn es wird nicht ein bestes Szenario für die Energieversorgung geben. Wegen der regionalen Unterschiede werden für unterschiedliche Teile Deutschlands ganz unterschiedliche Ansätze in der Energieversorgung nötig sein“, resümiert Peter Kutne. Der Anlagenverbund verknüpft erneuerbare elektrische, thermische und chemische Energieströme sowie neue Informations- und Kommunikationstechnologien. Ziel der Forschungsarbeit sei es, Transport, Verteilung, Speicherung und Nutzung des Stromes zu verbessern und damit die Grundlage für die Energiewende zu schaffen. Im Energy Lab 2.0 seien alle Komponenten vertreten – sozusagen der Idealfall, um Modellierungswerkzeuge zu entwickeln und unterschiedliche Möglichkeiten bewerten zu können, so Kutne. ■

Kontakt: bernd.zimmerlin@kit.edu und peter.kutne@dlr.de

## Power Generation by Micro Gas Turbines

### Test of a Decentralized Technology Using a Wide Range of Liquid or Gaseous Fuels

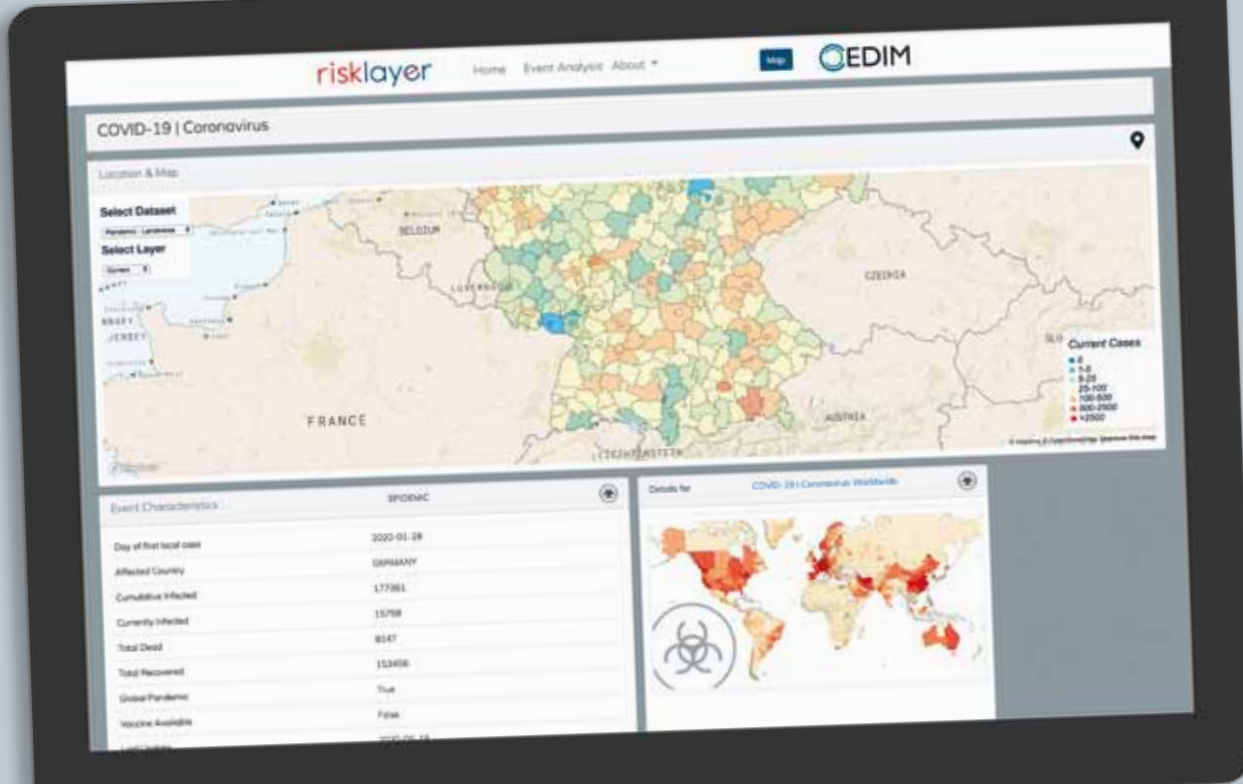
TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

At the Energy Lab 2.0, scientists pursue new lines of energy research. They study the complete energy system, from the generation of energy carriers to their storage and consumption. Work also focuses on power generation by micro gas turbines integrated in the Energy Lab. These turbines are controlled by the German Aerospace Center (DLR) in Stuttgart. DLR developed a combustion system for gas turbines which efficiently uses various renewable fuels. The micro gas turbine integrated in the Energy Lab 2.0 serves to study aspects of load-flexible and fuel-flexible power generation from renewables in a real-world lab. The turbine uses a sustainable synthesis gas from the bioliq plant (see page 30) to produce power when a photovoltaic system (see page 46) is unable to supply it.

A great advantage is that the micro gas turbines can be operated in a decentralized way. The turbine at KIT reaches an electric output of about 100 kW. It is mobile and can be used in various surroundings. In addition, the turbine responds quickly and can be shut down and re-started rapidly.

Micro gas turbines can be operated with many more types of liquid or gaseous fuels than the engines of cogeneration plants. This makes them particularly suitable for operation with fluctuating fuel compositions. “Using synthesis gas produced by the bioliq plant, we test gas turbine efficiencies for various fuels. Sometimes, the amount and quality of the synthesis gas vary. The gas turbine was modified to use synthesis gas, natural gas, or mixtures of both,” says Dr. Bernd Zimmerlin, Head of the Energy Laboratories Department of the Institute for Technical Chemistry (ITC) and Operations Manager of KIT's bioliq plant. At the Energy Lab 2.0, the researchers plan to test the interaction of the systems for varying amounts and compositions of the synthesis gas. ■

Contacts: bernd.zimmerlin@kit.edu and peter.kutne@dlr.de



## DATEN ERHEBEN UND EINSCHÄTZEN

DIE RISKLAYER GMBH SAMMELT UND BEWERTET INFORMATIONEN ZU KRISEN UND KATASTROPHEN

## COLLECTING AND ASSESSING DATA

RISKLAYER GMBH COLLECTS AND EVALUATES INFORMATION ON CRISES AND DISASTERS

VON DOMENICA RIECKER-SCHWÖRER // TRANSLATION: HEIDI KNIERIM // FOTO: RISKLAYER

Bei plötzlich eintretenden Katastrophen sind schnell verfügbare Informationen der Schlüssel zum Verständnis von Umfang und Auswirkung der Ereignisse und bieten eine Grundlage für weitere Entscheidungen – wie die Corona-Krise eindrücklich zeigt. Die Risklayer GmbH sammelt die begehrten Daten und stellt die lokalen und regionalen Informationen nahezu in Echtzeit zusammen. Aktuell bietet das Team gemeinsam mit dem Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) des KIT in Karten einen schnellen Überblick über die Ausbreitung des Coronavirus in Deutschland und weltweit, zudem werden Risikogebiete bis hinunter zur Kreisebene identifiziert. Das Team nutzt offizielle Statistiken der Gesundheitsministerien sowie lokaler Regierungen. Bisher haben sie mit der Scraping-Methode – also dem Zusammenführen von Informationen durch gezieltes Sammeln der benötigten Daten von Webseiten – über 5 000 Datenquellen analysiert. Dazu kommen 150 Freiwillige aus Deutschland und der ganzen Welt, die sich seit Mitte März der Risklayer-CEDIM-Crowdsourcing-Initiative angeschlossen haben. Die Ergebnisse fließen auch in die Zahlen der Johns-Hopkins-Universität ein, in Deutschland nutzen Der Tagesspiegel und ZDF sie für ihre Darstellungen. „Denn je genauer wir Risikozonen identifizieren, desto besser können wir uns schützen“, erklärt James Daniell, Wissenschaftler des KIT und Mitgründer des Spin-offs Risklayer GmbH.

Insgesamt geht das Angebot an Risikomodellierung und -management der Risklayer GmbH weit über Corona hinaus: So analysiert das Team beispielsweise auch die Wetterrisiken für den Weinanbau, hilft Stadtplanern dabei, die urbane Infrastruktur krisensicher zu machen oder unterstützt Hotels bei Anpassungen an den Klimawandel. ■

Info und Kontakt: [www.risklayer.com/de/](http://www.risklayer.com/de/)

The Corona crisis has shown that when disasters occur suddenly, the rapid availability of information is key to understanding the scope and impact of the incidents and providing a basis for further decisions. Risklayer GmbH collects essential data and compiles local and regional information in near real time. The team, together with KIT's Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM), currently is producing maps that provide a quick overview of the spread of the Corona virus in Germany and worldwide. In addition, risk areas are identified down to district level. The team uses official statistics provided by the health ministries and local governments. So far, they have analyzed more than 5000 data sources using the scraping method, i.e., by collecting relevant data from websites. In addition, 150 volunteers from Germany and around the world have joined the Risklayer-CEDIM Crowdsourcing Initiative since the middle of March. The data collected are also being incorporated into the figures of the Johns Hopkins University, which Der Tagesspiegel and the ZDF use for their presentations. "The more precisely we identify risk zones, the better we can protect ourselves," explains James Daniell, KIT scientist and co-founder of the Risklayer GmbH spinoff.

The range of risk modeling and risk management services offered by Risklayer GmbH goes far beyond the Corona crisis. For example, the team also analyzes weather risks for winegrowing, helps urban planners to make urban infrastructures crisis-proof, and supports hotels in adapting to the climate change. ■

Information and contact: [www.risklayer.com/de/](http://www.risklayer.com/de/)



# Forschen



# und Ernten

## DIE PV-ANLAGE LIEFERT ENERGIE UND ERKENNTNISSE

VON GEREON WIESEHÖFER

Ob der Anlagen-Designer betrunken gewesen sei, wo doch in Deutschland sonst alles so ordentlich ist, wollte ein Besucher aus den USA wissen, als er bei einer Führung auf dem Campus Nord die Photovoltaik (PV)-Anlage besichtigte. Was auf den ersten Blick tatsächlich wie ein wildes Durcheinander von PV-Modulen aussieht, ist jedoch das Ergebnis einer wohl durchdachten Versuchsplanung.

Als man vor acht Jahren am KIT überlegte, wie man regenerative Energieformen sinnvoll nutzen und nachhaltig in das Energiekonzept einbinden könnte, entstand die Idee, mit einer eigenen PV-Anlage einen Teil des hohen Energiebedarfs am Campus Nord durch Solarstrom zu decken. „Da lag es natürlich nahe, damit gleichzeitig ein Forschungsprojekt zu starten, welches das Zusammenspiel von Solarmodulen, Stromrichtern und Lithium-Ionen-Batterien untersucht“, erklärt Nina Munzke, Leiterin der Gruppe für Systemsteuerung und -analyse

am Batterietechnikum des KIT. Sie trug 2013 die Hauptverantwortung für den Aufbau der PV-Anlage und betreut diese bis heute. Der Solarstrom wird seither komplett für den Betrieb von Großforschungsgeräten am Campus Nord genutzt. Um verschiedene Betriebsstrategien zu testen, wird der Strom zeitweise auch in einem Lithium-Ionen-Großspeicher zwischengespeichert.

„Insgesamt haben wir rund 1,5 Millionen Euro in die Anlage investiert, sparen durch die Energiegewinnung aber etwa 200 000 Euro jährlich an Stromkosten. Bei einer Lebensdauer von ca. 20 Jahren ist die Anlage wirtschaftlich also erfolgreich“, erklärt Munzke.

Der effiziente und nachhaltige Einsatz regenerativer Energien war der eine Beweggrund, der Forschungsaspekt der andere: Dafür wurden in die PV-Anlage, die aus insgesamt 102 PV-Teilanlagen besteht, sechs verschiedene



FOTO: MARKUS BREIG



FOTO: ANDREA FABRY

Die PV-Anlage am Campus Nord des KIT besteht aus insgesamt 102 PV-Teilanlagen, sechs verschiedenen Modultypen und vier verschiedenen Wechselrichtern

The PV facility on Campus North of KIT consists of 102 PV panels, six different module types, and four different inverters



FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

Nina Munzke, Gruppenleiterin für Systemsteuerung und -analyse am Batterietechnikum des KIT

Nina Munzke, Head of the Systems Control and Analysis Group at KIT's Battery Technical Center

PV-Modultypen und vier verschiedene Wechselrichter unterschiedlicher Hersteller eingesetzt. Die PV-Teilanlagen sind individuell in insgesamt 37 unterschiedlichen Winkelkonstellationen ausgerichtet: Der Neigungswinkel variiert in 15°-Schritten von 2° bis 60° und die Ost-West-Ausrichtung ebenfalls in 15°-Schritten von -60° bis +60°. „Damit sind mehr als 100 verschiedene Systemkonfigurationen möglich und wir können die Leistungsfähigkeit kommerzieller Komponenten bewerten“, so Munzke. Partner von Beginn an sind bei den PV-Modulen die SOLARWATT GmbH mit Sitz in Dresden und bei den Wechselrichtern die KOSTAL Solar Electric GmbH mit Sitz in Freiberg.

Seit mittlerweile knapp sechs Jahren werden die Leistungsdaten der einzelnen PV-Teilanlagen zu Forschungszwecken im Sekundenraster gespeichert, statistisch ausgewertet und analysiert. „Damit können wir zum Beispiel

die Performance sowohl der PV-Module als auch der Wechselrichter im Verlauf der Zeit bestimmen“, so Munzke.

Gefragt sind die Erfahrungen der Arbeitsgruppe vor allem, wenn Häuser und Industrieanlagen mit Photovoltaik-Anlagen ausgestattet werden, an die ein stationäres Speichersystem angeschlossen ist. Dafür werden verschiedene Konstellationen durchgerechnet, bei denen die Ausrichtung und Größe der PV-Anlage und damit der Tagesgang der Energiegewinnung in Kombination mit der Größe der Batterie optimal auf den zu erwartenden Energiebedarf abgestimmt werden. Ziel ist es, die Anlage so wirtschaftlich wie möglich auszulegen unter Berücksichtigung weiterer Parameter wie zum Beispiel dem Autarkiegrad des Anlagenbetreibers.

Das sinnvolle Be- und Entladen der Speicher ist deshalb so wichtig, weil es sowohl die Effi-



FOTO: MARKUS BREIG

*Ein Solarfeld am  
Campus Nord des KIT*

*A solar field on KIT's  
Campus North*



FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

## Research and Harvest

### Photovoltaic Facility Produces Energy and Findings

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Eight years ago, scientists of KIT thought about how to reasonably use regenerative energy sources and sustainably integrate them in its energy concept. They came up with the idea of covering part of the high energy consumption of Campus North by solar power produced by its own PV facility. "Then, it was quite logical to launch a parallel project to study the interaction of solar modules, power inverters, and lithium-ion batteries," says Nina Munzke, Head of the Systems Control and Analysis Group at the Battery Technical Center of KIT's Institute of Electrical Engineering (ETI). In 2013, she was mainly responsible for the construction of the PV facility and has controlled it to date. Since then, all solar power generated has been used to operate large-scale research infrastructure on Campus North. To test various operation strategies, the power can be stored temporarily in a lithium-ion mass storage system. "In total, we have invested about EUR 1.5 million in the facility. Our own energy production reduces annual electricity costs by about EUR 200,000. With a service life of about 20 years, the facility is economically successful," Munzke continues.

Efficient and sustainable use of regenerative energy sources was one reason for constructing the facility; research was the other. The PV facility, consisting of 102 PV panels, thus was equipped with six different PV module types and four different power inverters made by different manufacturers. The PV panels are oriented at 37 different angles. Their inclination varies in steps of 15° from 2° to 60°, east/west orientation also varies in steps of 15° from -60° to +60°. "This allows for more than 100 different system configurations in which we can assess the performance of commercial components," Munzke says. From the very beginning, the project partners have been SOLARWATT GMBH, Dresden and KOSTAL Solar Electric GmbH, Freiberg for the PV modules and inverters, respectively.

For about six years now, the performance data of the individual PV panels have been stored at intervals of seconds for research purposes. The data are statistically evaluated and analyzed. The resulting findings are of particular interest when equipping houses and industrial facilities with photovoltaic systems to which a stationary storage system is connected. Various cases are calculated. On this basis, orientation and dimension of the PV facility and the resulting diurnal cycle of energy production in combination with the size of the battery are optimally adjusted to the anticipated energy need. Work is aimed at reaching maximum energy efficiency taking into account other parameters, such as the degree of autonomy of the operator. ■

Contact: [nina.munzke@kit.edu](mailto:nina.munzke@kit.edu)





*Sergej Koch vom Batterie-  
technikum des KIT entwickelt  
ein System zur Maximierung  
der Leistung großer  
PV-Anlagen*

*Sergej Koch of the KIT  
Battery Technical Center  
develops a system to  
maximize the output  
of large PV facilities*

zienz der Anlage als auch die Lebensdauer der Batterie erhöht und somit zur Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage beiträgt. Ein besonderes Augenmerk werfen die Forschenden des ETI daher auf den zu erwartenden PV-Ertrag im Tagesverlauf. „Um das Speichersystem möglichst effizient und batterie-schonend betreiben zu können, müssen wir wissen, wann im Tagesverlauf die Überschüsse zur Ladung des Speichers zur Verfügung stehen. Dafür erstellen wir für jede der 102 PV-Teilanlagen mindestens stündlich eine PV-Ertragsprognose. Dabei werden zwei verschiedene Ansätze verfolgt: Zum einen greifen wir auf die tagesaktuellen Wetterdaten, wie zum Beispiel die Strahlungsdaten, aus zuverlässigen Online-Wettervorhersagen zurück. In einem weiteren Ansatz ziehen wir ausschließlich lokal gemessene Daten heran und lassen die Leistungsdaten der Anlage selbst mit einfließen. Dadurch werden örtliche Gegebenheiten wie beispielsweise die temporäre Beschattung durch Bäume mitberücksichtigt. Beide Prognosen werden für den Betrieb kleinerer Speichersysteme auf dem PV-Feld genutzt und deren Mehrwert für die Optimierung des Betriebs bewertet“, so Munzke.

Auch für Forschungsgruppen anderer Institute sind die Leistungsdaten, die die PV-Anlage liefert, interessant und aufschlussreich. Anfragen kommen von den unterschiedlichsten Fachbereichen. Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) des KIT war beispielsweise an bestimmten Zeitfenstern interessiert, in denen die Forschenden den Einfluss

von Saharastaubeintrag auf den Leistungsertrag von PV-Anlagen untersucht haben. Bei einem anderen Projekt hat die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) aus Berlin untersucht, wie der Neigungswinkel der PV-Module den Bewuchs durch Mikroorganismen beeinflusst. Aktuell besteht auch eine Kooperation mit BRC SOLAR, die Moduloptimierer entwickeln und diese auf dem PV-Feld testen.

Von den aktuellen ETI-eigenen Forschungsprojekten an der PV-Anlage ist das von Sergej Koch sehr aussichtsreich: Er entwickelt zurzeit ein System weiter, mit dem die Leistung großer Photovoltaikanlagen maximiert werden kann. Diese Schaltung kann bei schwankenden Umweltverhältnissen eine theoretisch unbegrenzte Zahl an Photovoltaik-Strängen in ihrer Leistung untereinander ausbalancieren

und maximieren. In einer Versuchsanlage mit drei Strängen und einer Leistung von drei kW pro Modul konnte belegt werden, dass der Wirkungsgrad der HILEM-Schaltung bei 99,8 Prozent liegt. Nun möchte er seine HILEM-Module hochskalieren und nutzt dafür die PV-Anlage am Campus Nord.

Munzke weiß die Bedeutung der PV-Anlage zu schätzen: „Wir haben die PV-Anlage ursprünglich aus ökonomischen und aus Gründen der Nachhaltigkeit gebaut. Die Entscheidung, sie auch für Forschungszwecke zu nutzen, war aber goldrichtig. So haben wir nicht nur viele Erkenntnisse im Photovoltaik-Bereich an sich gewonnen, sondern auch im Kontext mit dem Energy Lab 2.0, also im Anlagenverbund und in Kopplung mit Speichern.“ ■

Kontakt: [nina.munzke@kit.edu](mailto:nina.munzke@kit.edu)

## Gedacht für die Wildnis. Wie gemacht fürs Leben.

**Der neue GLA.** Der kompakte Begleiter für Dich.  
Mit vielen innovativen Sicherheitsfeatures.





Anbieter: S&G Automobil AG, Schoemperlenstraße 14, 76185 Karlsruhe.  
 Sie fahren gut mit **S&G** - Weltweit ältester Mercedes-Benz Partner -  
**S&G Automobil AG**, Autorisierter Mercedes-Benz Verkauf und Service  
 Schoemperlenstr. 14, 76185 Karlsruhe, Telefon 0721 9565-0, [www.sug.de](http://www.sug.de)

ANZEIGE

## ORTUNGSSYSTEM FÜR IN NOT GERATENE RETTUNGSKRÄFTE

Das Messsystem ist nur wenige Zentimeter groß und lässt sich leicht am Schuh der Nutzerin oder des Nutzers befestigen: Um Rettungskräfte schnellstmöglich unterstützen zu können, haben Wissenschaftler vom Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme des KIT

ein System zur Lokalisierung verletzter oder verschütteter Rettungskräfte in Gebäuden entwickelt, das ohne GPS-Signal auskommt. Durch Sensoren, die Beschleunigungen und Drehraten messen, erkennt ein autonomes System, in welche Richtung und mit welcher Geschwindigkeit sich eine Person bewegt – eine Technologie, die beispielsweise auch in Smartwatches eingesetzt wird. Über eine externe, unabhängige Funkverbindung werden dem Einsatzleiter die aktuellen Positionen aller Einsatzkräfte auf einem Computer übermittelt. So kennt dieser in einer Notsituation den genauen Standort der einzelnen Personen und kann schnellstmöglich reagieren.

Kontakt: nikolai.kronenwett@kit.edu



FOTO: ROBERT FUGE

## FORDERUNG AUS DER WISSENSCHAFT: ARTENSTERBEN AUF 20 SPEZIES PRO JAHR BEGRENZEN

Das Zwei-Grad-Ziel dient Klimapolitikerinnen und -politikern als Grundsatz in der Diskussion zum Klimawandel. Eine ähnliche übergeordnete Vorgabe fordert Professor Mark Rounsevell, Leiter der Forschungsgruppe Landnutzungsänderung und Klima am Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Department Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) für den Erhalt der Biodiversität. Zusammen mit anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern setzt er sich dafür ein, das Artensterben auf 20 verschwundene Spezies pro Jahr zu begrenzen. Um diese Zahl nicht zu überschreiten, müssten viele verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, die sich insgesamt positiv auf den Zustand der Ökosysteme auswirken. Das Ziel soll unter anderem als Leitlinie bei den Neuverhandlungen der Biodiversitätskonvention dienen. Ein Beitrag der Forscher erschien in der Zeitschrift Science.

Publikation DOI: 10.1126/science.aba6592

Kontakt: mark.rounsevell@kit.edu

## AGILES PRODUKTIONSSYSTEM FÜR ELEKTROMOTOREN

Elektromotoren in variabler Technologie und Stückzahl künftig wirtschaftlich in Deutschland produzieren zu können, ist Ziel des Projekts AgiloDrive am KIT. Die Forscherinnen und Forscher entwickeln darin mit Wirtschaftspartnern neuartige Produktbaukästen und Produktionstechnologien, die dann direkt in die Industrie übertragen werden sollen. AgiloDrive ist ein institutsübergreifendes Projekt des KIT-Zentrums Mobilitätssysteme. Die Projektleitung liegt beim wbk Institut für Produktionstechnik, ebenfalls beteiligt sind das Institut für Produktentwicklung und das Elektrotechnische Institut. Partner aus der industriellen Praxis sind die Schaeffler Automotive Buehl GmbH Co. KG, die Gehring Technologies GmbH sowie die Landesagentur e-mobil BW GmbH als assoziierter Partner. Die Partner bündeln ihr Know-how entlang des gesamten Entwicklungsprozesses sowie der Liefer- und Prozesskette. Das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg fördert die Pilotphase des Forschungsprojekts AgiloDrive mit rund einer Million Euro.

Kontakt: juergen.fleischer@kit.edu

FOTO: SCHAEFFLER

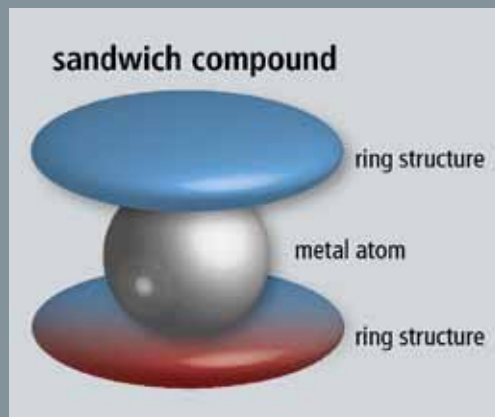


## MOLECULES FOR INNOVATIVE HIGH-TECH MATERIALS

Thanks to their special properties, rare earths are used in many high-tech products. Professor Peter Roesky, Head of the Chair for Inorganic Functional Materials of the Institute of Inorganic Chemistry (AOC), and his team are now working on the synthesis of new metal complexes of these elements. By using the so-called sandwich structural motif, they plan to introduce heteroatoms to design new compounds based on the rare earths. These might serve as novel molecular materials for more efficient storage media or displays in future. The German Research Foundation (DFG) funds this groundbreaking study with EUR 500,000 under a Reinhart Koselleck Project.

Contact: [peter.roesky@kit.edu](mailto:peter.roesky@kit.edu)

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER // FOTO: ASERV GRAFIK



## MINT SCENT INHIBITS THE GROWTH OF WEEDS

In the competition for space, nutrients, and water, some plants inhibit the growth of their competitors by chemical compounds that cause cells of the neighboring plant to die (allelopathy). Scientists of the team of Peter Nick, Professor for Molecular Cell Biology at KIT's Botanical Institute, study this effect for potential use for environmentally compatible bio-herbicides. Using extracts from the collection of authenticated mints in the KIT botanical garden, the team found that essential oil from Korean mint destroyed microtubules, protein structures needed for cell division. In cooperation with the Max Planck Institute for Chemical Ecology in Jena, the responsible compound was identified as menthone. Together with the Swiss Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), use of menthone as bio-herbicide is explored within the Dialogprotec interregional upper Rhine project. Publication: DOI : 10.5445/IR /1000099195.

Contacts: [peter.nick@kit.edu](mailto:peter.nick@kit.edu) and [mohammed.sarheed@kit.edu](mailto:mohammed.sarheed@kit.edu)

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER // FOTO: JANA MÜLLER

## NEUER SUPERCOMPUTER

Forscherinnen und Forscher nutzen die schnellsten Hochleistungsrechner der Welt: Ab Herbst 2020 stellt das KIT die erste Aufbaustufe eines neuen Supercomputers für viele Fachgebiete bereit. Der neue „Hochleistungsrechner Karlsruhe“ (kurz HoreKa) wird ab 2021 voraussichtlich zu den zehn leistungsfähigsten Rechnern Europas gehören und eine Rechenleistung von rund 17 PetaFLOPS erbringen – also etwa 17 Billionen Rechenoperationen in der Sekunde, was der Leistung von mehr als 150 000 Laptops entspricht. Der nun unterzeichnete Liefervertrag hat eine Größenordnung von 15 Millionen Euro.



# Am Rande des Vulkans: Eine Forschungsreise in Zeiten von Corona

**Valentin Goldberg, Doktorand am Institut für Angewandte Geowissenschaften des KIT, beschäftigt sich in seinem Promotionsprojekt mit der nachhaltigen Gewinnung von Rohstoffen und Trinkwasser aus geothermalen Wässern**

**In his doctoral project, Valentin Goldberg, doctoral researcher at the Institute of Applied Geosciences of KIT, studies the sustainable extraction of raw materials and drinking water from geothermal waters**

In seinem Promotionsprojekt beschäftigt sich der Doktorand Valentin Goldberg, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Geowissenschaften des KIT, mit nachhaltigen Methoden zur Lithiumgewinnung aus geothermalen Wässern. Während die Welt aufgrund der Corona-Krise den Atem anhält, befindet er sich auf dem abgelegenen Vulkan Tolhuaca in Chile – und bekommt zunächst nichts mit.

Die letzten Vorbereitungen seiner Feldkampagne fanden Anfang März in Santiago de Chile statt, einer Stadt, die schon zu diesem Zeitpunkt im Ausnahmezustand war, der allerdings nichts mit Corona zu tun hatte: „Ich habe regelmäßig beobachtet, wie gegen die soziale Ungleichheit im Land demonstriert wurde und die Polizei hart durchgriff. Da viele

Studierende der Universidad de Chile den Protest unterstützten, kam es auch im direkten Umfeld der Universität zu Konfrontationen und Einschränkungen im Forschungs- und Lehrbetrieb“, erzählt Valentin Goldberg.

Ganz anders ist die Situation im 700 Kilometer südlich gelegenen Curacautín, einer friedlichen Kleinstadt am Fuße des Tolhuaca-Vulkans. Von dort startete seine Forschungsgruppe – bestehend aus dem chilenischen Geologen Alberto Espinoza von der Firma Transmark Renewables und Goldberg – um Wasserproben aus entlegenen Thermalquellen zu entnehmen. Da aufgrund der Vegetation und der Topografie eine Anfahrt mit dem Geländewagen nicht möglich war, erfolgte die Anreise traditionell chilenisch: per Pferd. Dafür wurde der ortsansässige Arriero (Last-



tiertreiber) engagiert – Don Juan. Mit seinen Pferden transportiert dieser schon seit vielen Jahren Menschen und Lasten und kennt den Vulkan wohl besser als jeder Wissenschaftler. „Neben dem Wissen über die Routen, verfügt er auch über beeindruckende Kenntnisse über Lage und Beschaffenheit sämtlicher Quellen und Fumarolen im Vulkangebiet, womit er ein wichtiger Partner bei unserem Unterfangen war.“

Bei seinem Promotionsprojekt geht es Goldberg nicht um die Ausbeutung von Chiles Rohstoffen auf Kosten von Natur und Menschen vor Ort. „Im Gegenteil: Meine Forschungsarbeit beschäftigt sich vielmehr mit einer nachhaltigen Rohstoff- und Trinkwassergewinnung aus geothermalen Wässern. Hintergrund ist die immer größer werdende, weltweite Nachfrage nach Lithium für die Batterieherstellung.“ Diese Nachfrage wird unter anderem mit der Produktion von Lithium aus den Grundwässern der Atacama-Wüste im Dreiländereck Chile-Bolivien-Argentinien bedient. Um das Lithium wirtschaftlich gewinnen zu können, wird dieses Wasser an die Wüstenoberfläche in große Becken gepumpt, um durch die Verdunstung des Wassers eine Anreicherung des Lithiums zu erreichen. Gerade in einer der trockensten Regionen der Welt führt diese Art der Gewinnung

**DOKTORAND  
VALENTIN  
GOLDBERG  
BERICHTET ÜBER  
SEINE ZEIT IN CHILE  
UND DIE TURBULENTE  
RÜCKKEHR**

aber zu verschiedenen Umwelt- und Wassernutzungskonflikten mit den dort ansässigen indigenen Völkern.

Ein alternativer Ansatz der Gewinnung von Lithium und weiteren Rohstoffen ist die Abscheidung aus thermalen Tiefenwässern. Dieses Verfahren wird am KIT am Lehrstuhl für Geothermie von Professor Thomas Kohl, zusammen mit dem Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE und dem Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA) der Universidad de Chile, verfolgt. Ziel des Projekts BrineMine ist es, das Wasser und die darin enthaltenen mineralischen Rohstoffe mit der wassereigenen Energie voneinander zu trennen. Für Projektleiter Dr. Sebastian Held bietet diese ressourcenschonende Methode gerade in trockenen Regionen das Potenzial, neben den Rohstoffen auch Trinkwasser für die Bevölkerung vor Ort zu gewinnen.

Am Anfang einer solchen Rohstoffgewinnung steht die Exploration möglicher geothermalen Systeme. Ein vielversprechendes System ist dabei das Gebiet rund um den Vulkan Tolhuaca im Süden Chiles. „Ziel unserer Expedition war es, die chemische Zusammensetzung der Wässer exakt zu bestimmen, um potenziell gewinnbare Rohstoffe



FOTOS: VALENTIN GOLDBERG



FOTOS: VALENTIN GOLDBERG

für unsere nachhaltige Methode zu identifizieren und die Fließregime des Wassers zu analysieren. Bei den Fließregimen untersuchen wir, wie die Wasserströmungen im Untergrund zusammenhängen und wie sich das heiße Tiefenwasser mit dem kalten Oberflächenwasser vermischt“, erklärt Goldberg.

Am Fuße des Vulkans wurden also die Pferde gesattelt und das Equipment fest verzurrt. Über schmale, von den Pferden in den Untergrund getretene Pfade ging es in einem mehrstündigen Ritt hoch in Richtung der Spitze des etwa 2 800 Meter hohen Tolhuacas. „Beim Anstieg passierten wir mehrere Vegetationszonen. Die anfänglichen dichten Wälder sowie Flussläufe, die gekreuzt werden mussten, stellten eine besondere Herausforderung dar“, so Goldberg. Immer wieder mussten Zwangspausen eingelegt werden, um verlorenes Gepäck einzusammeln oder die Ladung neu zu befestigen. „Über steile Hänge gewannen wir aber schnell an Höhenmetern, während sich der Wald Stück für Stück lichtete und vereinzelt kleinen Bäumen und Büschen wich. An der oberen Grenze der Vegetation, am Übergang zu kargen, von Gletschern überprägten Steinlandschaften, war das Gebiet erreicht, wo wir unser Camp errichteten. Es bestand aus einem kleinen Zwei-Mann-Zelt, das Alberto und mir sowie unserem Equipment Unterschlupf bot. Don Juan zog mit den Pferden zurück ins Tal und als einziger Kontakt zur Außenwelt blieb nun ein Notfall-Satellitentelefon.“

Um das Gebiet der Probennahme zu erreichen, ging es anschließend jeden Morgen mit dem Equipment im Rucksack 500 Höhenmeter auf die Spitze des Vulkans zu dem Gebiet, in dem sich die heißen Quellen befinden. Die Vegetation wich dort trockenen Schotterhalden, Gletscherspuren auf dem Untergrund, erkalteten Lavaströmen und letzten Gletscherüberresten. „Die Quellen hatten ganz unterschiedliche Erscheinungsformen. Es gab einfach zugängliche Pools sowie von Algen und Moosen bedeckte Wasseraustritte. Besonders herausfordernd waren brodelnde Hochtemperaturquellen, die mit dampfenden Fumarolen auftraten.“

Bevor die Beprobung einer Quelle beginnen konnte, galt es die ideale Austrittsstelle des Thermalwassers zu bestimmen. Dafür wurde der Bereich der höchsten Temperatur gewählt, der ebenfalls eine ausreichende Schüttung bieten musste. Die Beprobung der bis zu 89 Grad Celsius heißen Quellen erfolgte über direkte Messungen an der Quelle sowie durch Wasserentnahme für spätere Analysen im Labor. Für die Messungen im Labor mussten die Proben unterschiedlich aufbereitet werden, um sie je nach durchzuführender Messung für den Transport zu konservieren. Dazu müssen Proben beispielsweise angesäuert werden, um chemische Reaktionen zu verhindern oder sie müssen unter der Wasseroberfläche verschlossen werden, um eine Kontamination mit der Atmosphäre zu vermeiden. „Gerade bei den besonders heißen Quellen stellte das eine besondere Herausforderung dar“, erklärt Goldberg. „Mit den Proben im Gepäck ging es jeden Abend von der Spitze des Vulkans zurück zum Camp. Während die Temperaturen am Tag 30 Grad Celsius erreichen konnten, kühlte es in der

# At the Edge of the Volcano: A Research Trip in the Time of Corona

## Doctoral Researcher Valentin Goldberg Talks about His Time in Chile and His Turbulent Return

TRANSLATION: HEIDI KNIERIM

In his doctoral project, doctoral researcher Valentin Goldberg, research associate at KIT's Institute of Applied Geosciences, studies sustainable methods for lithium extraction from geothermal waters. While the world was holding its breath in the face of the corona crisis, he was on Tolhuaca, a remote volcano in Chile, and initially did not notice anything.

After leaving Curacautín, a peaceful small town 700 kilometers south of Santiago at the foot of the Tolhuaca volcano, in early March, a research group, consisting of Chilean geologist Alberto Espinoza from Transmark Renewables and Valentin Goldberg from Karlsruhe Institute of Technology, began to take water samples from remote thermal springs. Since the vegetation and topography did not allow an off-road vehicle to be used, the journey was made by horse. Goldberg's research work deals with sustainable raw material and drinking water extraction from geothermal waters against the background of the ever-increasing global demand for lithium for battery production. This demand is met, among other things, by lithium extracted from the groundwaters of the Atacama Desert in the triangle of Chile, Bolivia, and Argentina, causing environmental damage and conflicts with the local indigenous inhabitants. Alternatively, lithium, and other raw materials, can be separated from deep thermal waters. Together with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE and Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA) of Universidad de Chile, this approach is being pursued by the team of Professor Thomas Kohl at KIT's Chair of Geothermal Energy. The aim of the BrineMine project is to separate the water and the mineral raw materials it contains using the energy inherent in the water. This technique makes it possible to produce raw materials and drinking water in a more sustainable way than the conventional mining methods.

Every morning, Goldberg and his colleague went to the top of the volcano and returned to camp in the evening carrying backpacks heavy with samples. After about a week, the day of departure had come. With their bags filled with 20 kilograms of water samples, they started to ride back into the valley. "We were completely unaware of what awaited us there," Goldberg recalls. "Curacautín had become a different place. We saw people with masks on the streets, long lines formed in front of the supermarkets, and cars lined up in front of the gas stations. It did not take long before we received a phone call from Santiago de Chile. We were asked, in no uncertain terms, to leave the south of Chile as soon as possible." After the first Covid-19 cases had occurred, more and more towns in Chile were closed off. "The capital, which we reached on the same evening, seemed

also to have changed completely: The streets of the once lively city were empty and swept clean somehow, without even a trace of former protests. "Zona de cuarentena" was written in bright red letters on the illuminated panels normally used for colorful advertising." The return flight was also anything but smooth. "Now and again, normal flights were being canceled. Safe booking had become impossible," Goldberg explains. "I contacted the German Embassy in Santiago, which started to organize the return program for German citizens in Chile a few days later." After a week of being stuck in Santiago, Valentin Goldberg was finally given a free seat on a Swiss Air plane chartered by the Swiss Embassy. "This was even a historic flight – according to the embassy, it was the longest Swiss Air-operated civil flight, namely from Santiago to Zurich, without stopover." ■

Read more: [www.agw.kit.edu/11489.php](http://www.agw.kit.edu/11489.php)  
Contact: [valentin.goldberg@kit.edu](mailto:valentin.goldberg@kit.edu)

GRAFIK: SAN JOSE/WIKIPEDIA.ORG





*Schöne Aussicht oder steile Hänge und Schotterhalden – der Vulkan zeigte sich täglich von einer anderen Seite*

*Beautiful views or steep slopes and gravel dumps – every day, the volcano presented itself in a different light*

Nacht teilweise bis unter den Gefrierpunkt ab. Eine Entlohnung für alle Strapazen war die Aussicht über das Tal sowie der von Lichtverschmutzung unbeeinflusste, klare Sternenhimmel – mitten darin die gut sichtbare Milchstraße.“

Jeden Morgen ging es aufs Neue auf die Spitze des Vulkans und abends mit den durch die genommenen Proben beschwerten Rucksäcken zurück ins Lager. „Wir wollten möglichst viele Quellen beproben, um eine gute Abdeckung des Gebiets rund um die Spitze des Vulkans zu erhalten. Die Beprobung einer Quelle dauerte bis zu drei Stunden, weshalb mit den langen Laufwegen gerade maximal zwei Quellen pro Tag zu schaffen waren. Jede Quelle hatte dabei ihre individuellen Herausforderungen und auch der Vulkan zeigte sich jeden Tag von einer neuen Seite: Manchmal schenkte er uns fantastische Aussichten über das Umland und die benachbarten Vulkane, dann forderte er uns wieder mit steilen Hängen und rutschigen Schotterhalden heraus, die zu überwinden waren.“

Nach einer knappen Woche war der Tag der Abreise gekommen. Don Juan erschien am Horizont mit den Pferden und die Ladung wurde für den Abstieg bereit gemacht. Mit schweren Taschen, gefüllt mit 20 Kilogramm Wasserproben, begann so der Ritt nach unten ins Tal. „Wir waren völlig ahnungslos, was uns dort erwartete“, blickt Goldberg zurück. „Der Ort Curacautín, den wir erreichten, war ein anderer geworden. Wir sahen Menschen mit Mundschutz auf den Straßen, vor den Supermärkten bildeten sich lange Schlangen und vor den Tankstellen reihten sich die Autos. Bald erreichte uns ein Anruf aus Santiago de

Chile, in dem wir unmissverständlich aufgefordert wurden, den Süden Chiles so schnell wie möglich zu verlassen.“ Nach Auftreten der ersten COVID-19-Fälle wurden nun auch in Chile immer mehr Städte abgeriegelt. „Die Hauptstadt, die wir noch am selben Abend erreichten, war ebenfalls wie verwandelt. Die Straßen der vorher so lebendigen Stadt waren jetzt wie leergefegt. Von den Protesten war keine Spur mehr zu sehen. Auf den normalerweise für bunte Werbung genutzten Leuchtafeln stand nun „Zona de cuarentena“ – in leuchtend roten Lettern.“

Auch der Rückflug erwies sich alles andere als problemlos. „Die normalen Airline-Flüge wurden immer wieder spontan abgesagt, weshalb es nicht möglich war, sicher zu buchen“, erzählt Goldberg. „Deshalb meldete ich mich bei der Deutschen Botschaft in Santiago, die wenige Tage später auch anfang, das Rückholprogramm für deutsche Staatsbürger in Chile zu organisieren.“ Schlussendlich ausgeflogen wurde er nach einer Woche Festsitzen in Santiago – jedoch mit einem extra von der Schweizer Botschaft gecharterten Maschine der Swiss Air. Da diese Maschine des schweizer Rückholprogramms noch Plätze frei hatte, wurde das freie Kontingent an die Deutsche Botschaft weitergeleitet. „Damit konnte ich dann nach Zürich ausgeflogen werden, von wo aus ich mit dem Zug nach Karlsruhe gefahren bin. Es handelte sich dabei sogar um einen historischen Flug, da es laut Angaben der Botschaft der längste zivile Flug der Schweiz war, nämlich von Santiago nach Zürich ohne Zwischenlandung.“ ■

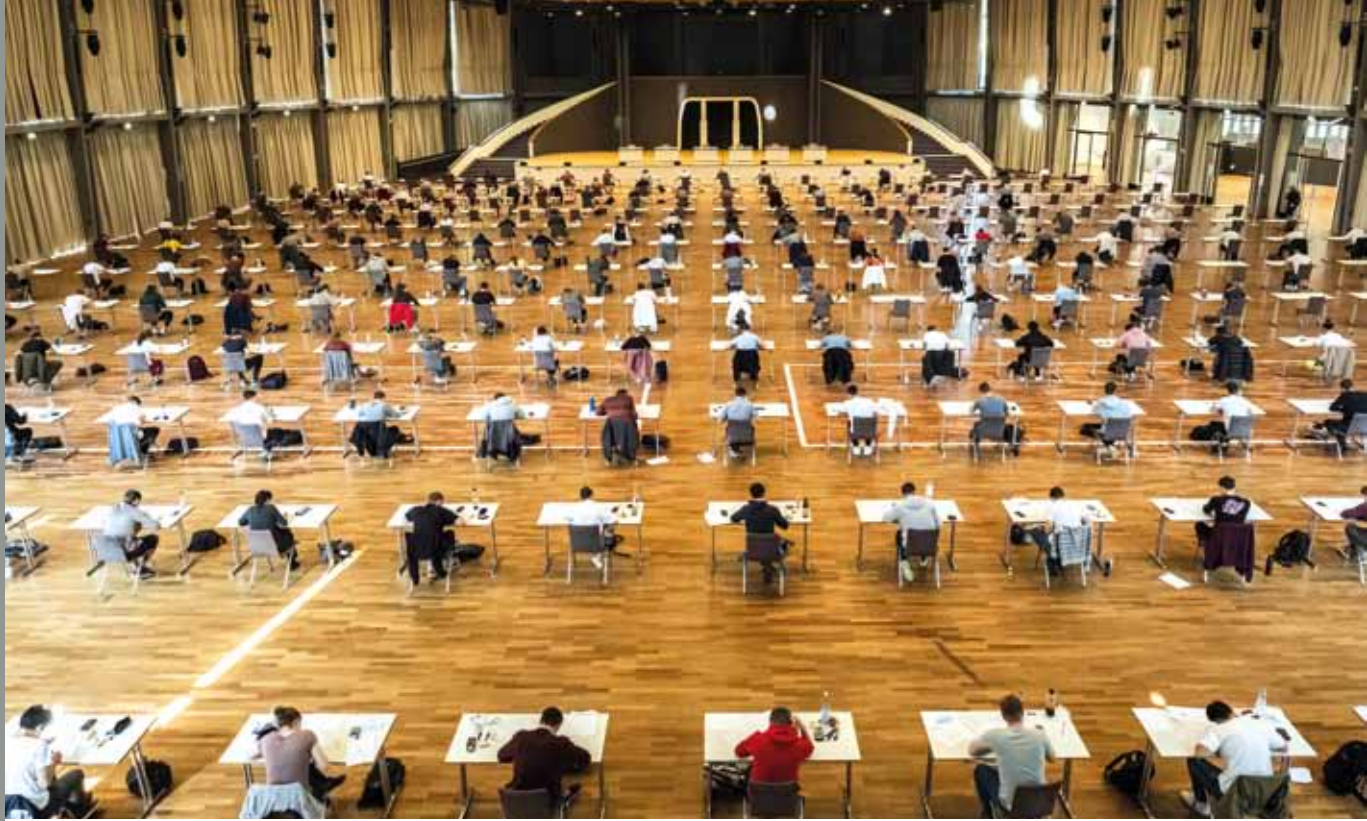
Info: [www.agw.kit.edu/11489.php](http://www.agw.kit.edu/11489.php)  
Kontakt: [valentin.goldberg@kit.edu](mailto:valentin.goldberg@kit.edu)

*Belohnung für die täglichen Strapazen der Beprobung: Ausblick über das Umland*

*Reward for the daily strains of sampling work: View of the surroundings*







## KLAUSUR STATT KONGRESS

IN VERSCHIEDENSTEN HALLEN UND HÖRSÄLEN KONNTEN STUDIERENDE DES KIT IHRE PRÜFUNGEN NACHHOLEN

## WRITTEN EXAMS TAKE THE PLACE OF CONFERENCES

WRITTEN EXAMINATIONS OF KIT STUDENTS EXPANDED INTO VARIOUS HALLS AND AUDITORIUMS

VON CAROLA MENSCH // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER // FOTO: MARKUS BREIG

In der Schwarzwaldhalle der Messe Karlsruhe drängen sich normalerweise Besucher von Konzerten oder Ausstellungen. Im Zeitraum vom 18. Mai bis 4. Juli 2020 rauchten dort und an verschiedenen anderen Orten in Karlsruhe jedoch die Köpfe von Studierenden des KIT über schriftlichen Prüfungsbögen. Nachdem mit der ersten „Corona-Verordnung“ der Studienbetrieb an baden-württembergischen Hochschulen ausgesetzt werden musste, konnten rund 170 schriftliche Prüfungen verschiedener KIT-Fakultäten nun stattfinden. Das KIT erarbeitete dafür ein umfangreiches Konzept, mit dessen Hilfe die Hygiene- und Abstandsregeln eingehalten werden konnten.

„Wir freuen uns, dass wir den Studierenden durch unser umfangreiches Raum- und Hygienekonzept sowie die hervorragende Zusammenarbeit aller Beteiligten einen Fortschritt ihres Studiums ermöglichen konnten“, sagt Professor Alexander Wanner, Vizepräsident des KIT für Lehre und akademische Angelegenheiten. Das Konzept legte unter anderem Hygienemaßnahmen und die Einhaltung eines Sicherheitsabstands bei den schriftlichen Präsenzklausuren fest. Da die Abstandsregelung dazu führte, dass beispielsweise im Audimax nur 36 von rund 750 Plätzen besetzt werden konnten, mussten einige Prüfungen parallel in mehreren Hörsälen durchgeführt werden. Um die räumlichen Kapazitäten zu erweitern, mietete das KIT zusätzliche Räume bei der Messe Karlsruhe. Die Schwarzwaldhalle, die Teil des Kongresszentrums ist, bot Platz für rund 250 Arbeitstische mit ausreichendem Abstand. In der nebenan liegenden Gartenhalle konnten rund 360 Studierende gleichzeitig ihre Klausuren bearbeiten. ■

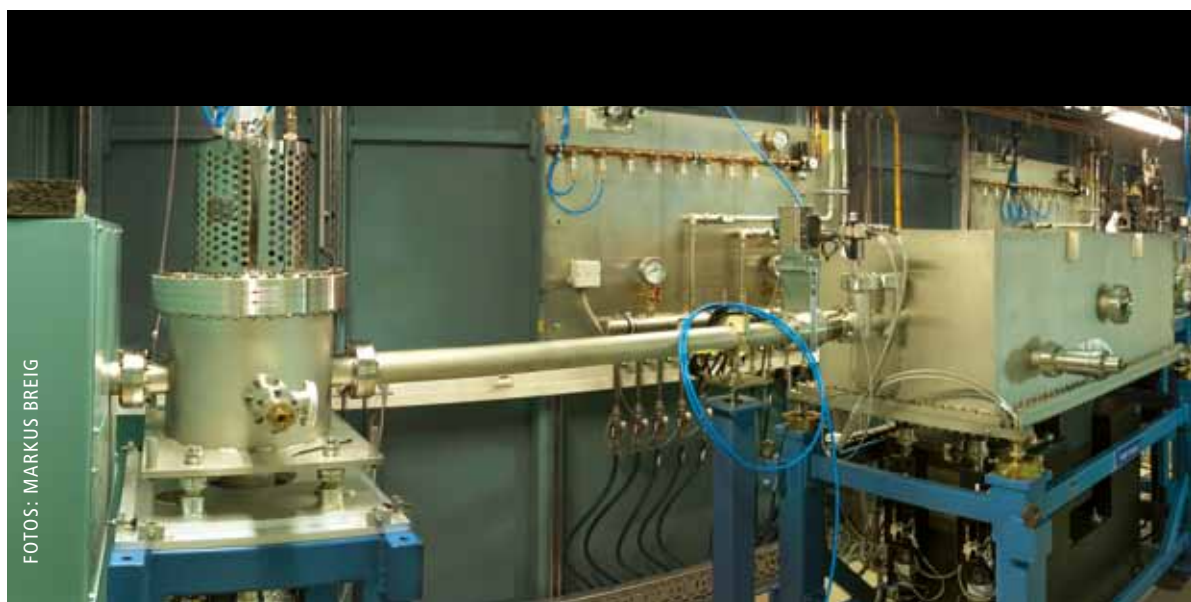
Normally, the Schwarzwaldhalle, a public exhibition and concert hall of the city of Karlsruhe, is crowded with many visitors. From May 18 to July 04, 2020, however, students of KIT met there and at other places in Karlsruhe to pass their written exams. After academic education operations at universities in Baden-Württemberg were suspended by the first Corona Ordinance, new accommodations had to be made so about 170 written exams in various KIT departments could take place again. For this, KIT worked out a comprehensive plan to ensure observation of hygiene and distancing rules. “We are very happy that our students can now proceed with their studies thanks to our comprehensive room and hygiene concept and excellent collaboration by all parties involved,” said Professor Alexander Wanner, KIT Vice-President for Higher Education and Academic Affairs. Details of this plan included necessary hygiene measures and the spacing to be observed during written examinations. To allow for social distancing, for instance, occupancy of the Audimax was reduced from about 750 to just 36. That meant that some examinations had to take place simultaneously in several lecture halls. To increase capacity, KIT rented additional rooms in the city of Karlsruhe. The Schwarzwaldhalle, part of the Karlsruhe convention center, offered sufficient space for around 250 desks. In the neighboring Gartenhalle, about 360 students wrote their exams simultaneously. ■

# Die 1-Million-Jahre- Frage

**DIE NEUREGELUNG DER  
DEUTSCHEN ENDLAGERSUCHE  
STÄRKT DIE NUKLEARE  
ENTSORGUNGSFORSCHUNG  
AM KIT. IN DIESEM JAHR FEIERT  
DAS INSTITUT FÜR NUKLEARE  
ENTSORGUNG SEIN 40-JÄHRIGES  
BESTEHEN**

VON JUSTUS HARTLIEB

Wer am Eingang zum Institut für Nukleare Entsorgung den Blick wendet, kann den einstigen Abluftkamin des ersten deutschen Kernreaktors und das wuchtige Zwischenlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle erkennen. Einen Spaziergang entfernt liegen weitere stillgelegte Forschungsreaktoren, außerdem das großflächig umzäunte Gelände der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe. Aus KIT-Sicht überwiegt in diesem Ensemble der Vergangenheitsbezug: Im Gründungsjahr 2009 hat man



FOTOS: MARKUS BREIG



*Ermöglichen Spitzenforschung: die hauseigenen Labore des INE zur Handhabung radioaktiver Stoffe und die umfangreiche Analytik-Sektion*

*Enabling cutting-edge research: the INE's in-house laboratories enable cutting-edge research for handling radioactive materials and analytics*

## The One-million-year Question

### New Legal Regulation on the Selection of a German Repository Site Drives KIT's Nuclear Waste Disposal Research as It Celebrates Its 40th Anniversary

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

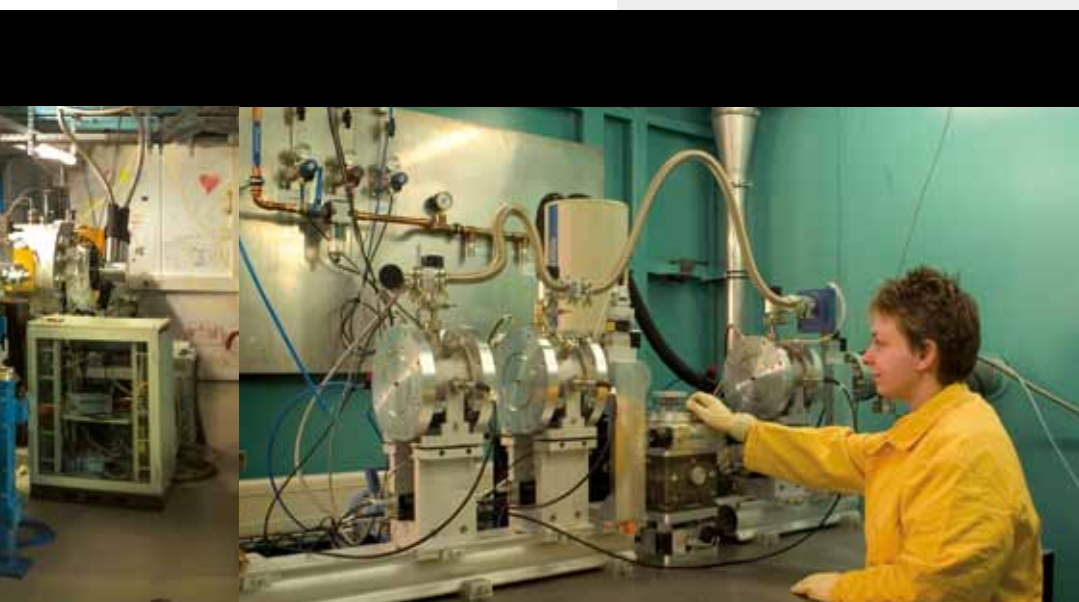
KIT's Institute for Nuclear Waste Disposal (INE) is renowned worldwide. Its work focuses on contributing to the scientific basis for the selection of a potential site for a German repository for notably long-lived, heat-generating radioactive wastes. A new act adopted in 2017 caused this procedure to be changed considerably. Among others, the search for potential locations was extended to cover all of Germany, maximum safety must be ensured for one million years, and the selection process must be science-based, transparent, and provide a high degree of participation for all involved stakeholders, including the civil society.

To live up to this special challenge, about 100 staff members of INE provide valuable contributions in such areas as radiochemistry, radionuclide speciation, and the quantification of radionuclide behavior in repository systems and components. They do so by relying on a portfolio of radiochemical and radioanalytical methods that is unique in Germany. The Head of INE, Professor Horst Geckeis, considers nuclear waste disposal research a part of the energy transition: "Phasing out the use of fossil and nuclear energy sources takes place parallel to the establishment of sustainable energy production from renewable sources. Safe disposal of nuclear waste in the long term is a task for all humankind from which we cannot shirk." ■

den Betrieb und den Rückbau aller kerntechnischen Anlagen des KIT der Obhut eines bundes-eigenen Unternehmens übergeben. Gleichwohl zielt die Botschaft der im Rückbau befindlichen kerntechnischen Einrichtungen auch auf die Zukunft – unser aller Zukunft, um genau zu sein. Das Institut für Nukleare Entsorgung (INE) ist ein guter Ort, um das zu verstehen.

Auf den mal lichtdurchfluteten, mal neonhellen Fluren des INE begegnet man sich freund-

Contact: horst.geckeis@kit.edu



*Im Elektronen-Synchrotron KARA des KIT betreibt das INE zwei Strahlrohre, sogenannte Beamlines, an denen Radionuklidforschung durchgeführt wird*

*At KARA, KIT's electron synchrotron, INE operates two beamlines for radionuclide research*

# „Was wir machen, ist ein Teil der Energiewende“



FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

**INE-Chef Horst Geckeis zur Suche nach einem nuklearen Endlager und zum schwierigen Standing seiner Zunft. Er ist Professor für Radiochemie am KIT und stellvertretender Vorsitzender der Entsorgungskommission (ESK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Das INE leitet er seit 2008.**

**lookKIT: Was hat Endlagerforschung mit der Energiewende zu tun?**

**Professor Horst Geckeis:** In Deutschland ganz viel. Global gibt es seit der UN-Klimakonferenz von Paris die Vorgabe, das Energiesystem so umzubauen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 2045 und 2060 auf null zurückgefahren werden können. Zugleich hat Deutschland beschlossen, bis 2022 sämtliche Kernreaktoren abzuschalten. Die dort angefallenen radioaktiven Abfälle bleiben uns allerdings erhalten und warten darauf, sicher endgelagert zu werden.

**Der Atomausstieg als die andere Seite der Energiewende?**

Ja, gewissermaßen. Auf der einen Seite sehen wir gewaltige Anstrengungen, eine nachhaltige Energieerzeugung mittels erneuerbarer Energien aufzubauen. Auf der anderen Seite gibt es den vergleichbar komplexen Prozess des Ausstiegs aus der Nutzung fossiler und nuklearer Energieträger. Und die langfristige sichere Entsorgung des nuklearen Abfalls ist ein Teil dieses Prozesses. Im Kontext der Energiewende können wir diese große Herausforderung endlich mit einem breiten politischen Konsens angehen.

Dafür gibt das Standortauswahlgesetz der Forschung ja auch reichlich Zeit.

Laut dem Gesetz muss der Standort für das Endlager in einem wissenschaftsbasierten, transparenten und selbstlernenden Verfahren bis 2031 ausgewählt werden. Darin inbegriffen ist der Vergleich aller in Deutschland vorhandenen Wirtsgesteine. Glauben Sie mir, statt „reichlich Zeit“ bedeutet das: „reichlich zu tun“.

**Warum steht die nukleare Entsorgungsforschung trotzdem nur selten im Blickpunkt?**

Zum einen hat das wohl mit unseren Zeitskalen zu tun: Erst circa 2050 wird das Endlager, das wir jetzt suchen, in Betrieb gehen. Erst Anfang des nächsten Jahrhunderts werden seine Tore geschlossen werden. Und die Sicherheit jener Lagerstätte wird auf eine Million Jahre ausgelegt sein. Ebenso wie der Klimawandel zwingt die nukleare Entsorgung uns, mit Zeiträumen umzugehen, die mit menschlichen Maßstäben kaum zu greifen sind. Zum anderen gibt es für Politik und Wissenschaft sicherlich attraktivere Themen als die Frage, wie zehntausende Tonnen hochradioaktiver Abfälle sicher und für immer verwahrt werden können. Das verstehe ich gut – wobei die Frage, wo die Abfälle letztlich endgelagert werden, sehr große Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit erzeugen wird. Zugleich weiß ich, dass es sich um eine Menschheitsaufgabe handelt, vor der wir uns nicht drücken können. ■

Das Gespräch führte Justus Hartlieb



FOTO: AMADEUS BRAMSIEPE

*Professor Horst Geckeis, Leiter des Instituts für Nukleare Entsorgung (INE) des KIT*

*Professor Horst Geckeis, Head of the Institute for Nuclear Waste Disposal (INE) of KIT*

lich, aber konzentriert. Wobei Konzentration hier die Minimalanforderung ist: „Die Endlagerung radioaktiver Abfälle und der Rückbau kerntechnischer Anlagen fußen auf einer äußerst komplexen und interdisziplinären Grundlagenforschung“, erklärt Institutsleiter Horst Geckeis und lächelt einladend. Entsprechend breit gefächert sind die Kompetenzen der Männer und Frauen seines Instituts: Neben Expertinnen und Experten aus den Disziplinen Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaft und Technik sind auch Fachleute aus der Geologie, der Radiochemie, der Materialwissenschaft und der IT an Bord.

Komplexität und disziplinäres Teamwork signalisiert auch die Aufstellung des Instituts: In der Abteilung „Endlagersysteme und -komponenten“ geht es um die Langzeitsicherheit

*Nur ein paar Querstraßen vom INE entfernt: das Elektronen-Synchrotron KARA des KIT*

*Only a few crossroads away from INE: KIT's electron synchrotron KARA*



FOTO: MARKUS BREIG



FOTO: MARKUS BREIG

2006: Verabschiedung von Professor Thomas Fanghaenel (rechts), Leiter des Instituts für Nukleare Entsorgung im Forschungszentrum Karlsruhe, durch Professor Volker Saile, damals Leiter des Instituts für Mikrostrukturtechnik

2006: Farewell to Professor Thomas Fanghaenel (right), Head of the Institute for Nuclear Waste Disposal of Forschungszentrum Karlsruhe, by Professor Volker Saile, then Head of the Institute of Microstructure Technology

unterirdischer, sogenannter Mehrbarrierensysteme, in der „Radiochemie“ wird das Verhalten langlebiger Radionuklide speziell in wasserführenden Umgebungen erforscht, und die „Radionuklidspeziation“ steht für die Verfeinerung von Messverfahren wie der Spektroskopie, die helfen, das geochemische Verhalten langlebiger radioaktiver Abfallbestandteile vorherzusagen. Der Forschungsbereich „Rückbau“ schließlich erinnert den Besucher daran, dass ein verantwortungsvoller Umgang mit den Hinterlassenschaften von Kernanlagen diese selbst immer mitmeint.

Auf die Güte der diesen Strukturen entspringenden Erkenntnisse zählt ferner die einzigartige Ausstattung des Instituts ein – erinnert sei nur an die „Verglasungseinrichtung Karlsruhe“, in der gemeinsam mit der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe zwischen 2009 und 2010 rund 60 Kubikmeter hochradioaktive Flüssigabfälle erfolgreich in endlagerfähige Glaskokillen eingebunden wurden; ein Verfahren, das mittlerweile seinen Weg bis nach China gefunden hat. Neben hauseigenen Laboren (fernhandhabbare Heiße Zellen, Actiniden-Labor) zur Handhabung radioaktiver Stoffe und einer umfangreichen Analytik-Sektion sind es die kurzen Wege zu anderen Einrichtungen des KIT, die Spitzenforschung ermöglichen. Nur ein paar Querstraßen entfernt liegt zum Beispiel das Elektronen-Synchrotron KARA. Dort betreibt das Institut zwei Beamlines, berichtet Abteilungsleiter Jörg Rothe, der an den Strahlrohren die Radionuklid-Forschung betreut. Wobei die Proben, wie Rothe verschmitzt anmerkt, selbstverständlich nicht in der Aktentasche überführt werden.

Leitmarke der INE-Aktivitäten ist das 2017 vom Bundestag verabschiedete Standortauswahlgesetz (StandAG). In einem mehrstufigen Verfahren regelt es die deutsche Suche nach einem Endlager für langlebige, wärmentwickelnde radioaktive Abfälle. Das in der Bugwelle des vorgezogenen Atomausstiegs entstandene Gesetz hat die Entsorgungsforschung kräftig geschüttelt: Statt des in ferner Zeit (1977) zum Endlager bestimmten und bis 2012 ebenso gründlich erkundeten wie erbittert umkämpften Salzstocks im niedersächsischen Gorleben gilt nun praktisch die gesamte Republik als Erkundungsgebiet. Einziges Präjudiz: Die finale Verbringung wird hunderte Meter unterhalb der Erdoberfläche stattfinden, in geeigneten geologischen Formationen aus Ton oder Granit oder eben Salz.

„Geradezu elektrisierend“, sagt Susanne Fanghänel vom Institutsmanagement, haben zwei Detailvorgaben des StandAG auf die INE-Forschung gewirkt: Zum einen gilt die Suche nun jenem Ort, der laut Gesetz „bestmögliche Sicherheit“ bietet – was die Kraftanstrengung einer landesweit einheitlichen Datengrundlegung impliziert. Zum anderen soll Sicherheit „für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet“ werden – was mit Blick auf die Halbwertszeiten der langlebigeren Radioisotope plausibel ist, als Auftrag an Forschung und Entwicklung jedoch eine, wie Fanghänel diplomatisch formuliert, „besondere Herausforderung“ darstellt. Auch die nächsten 40 Jahre des INE, so wird deutlich, haben viel Zukunft. ■

Kontakt: horst.geckeis@kit.edu



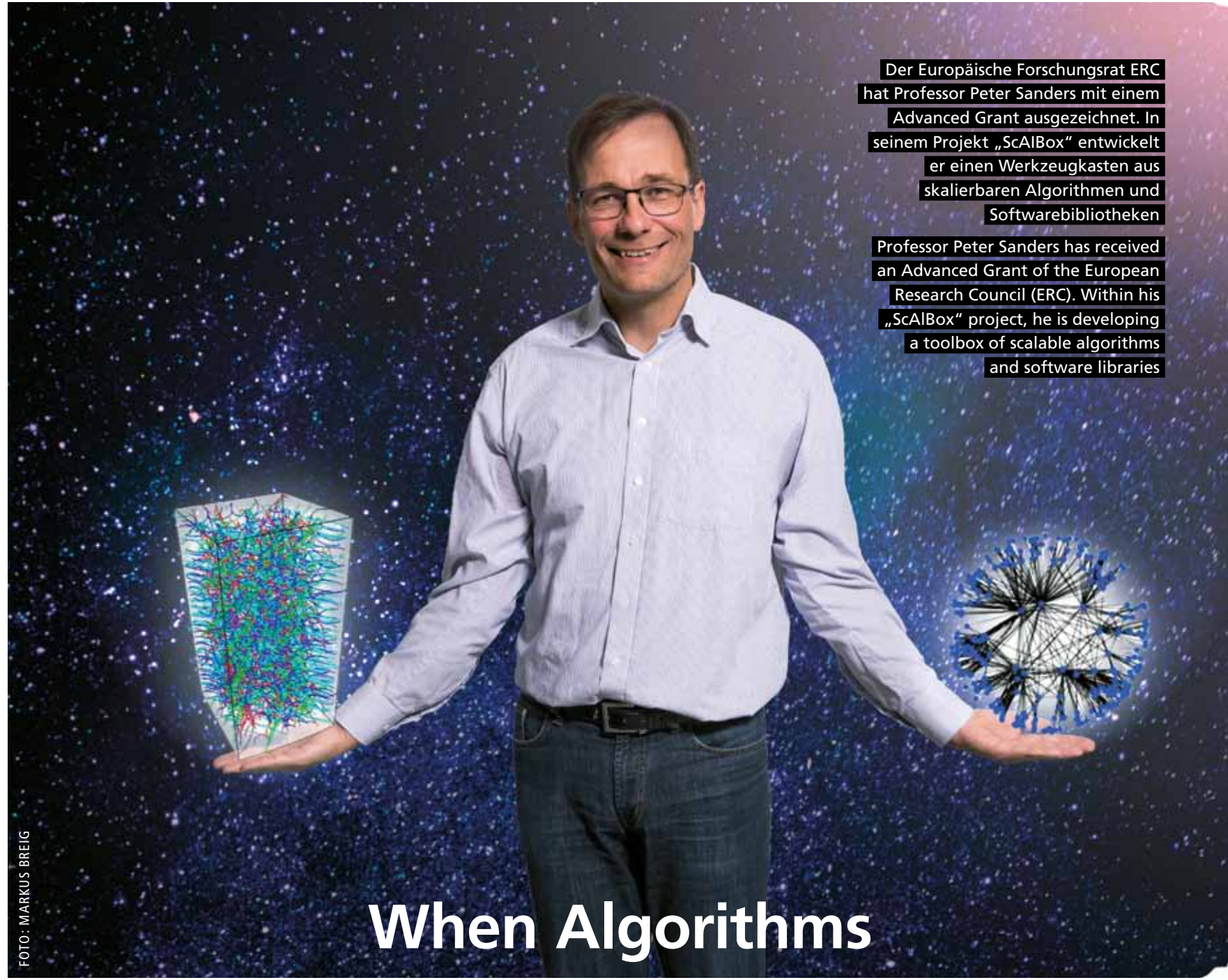
FOTO: SANDRA GÖTTISHEIM

Professor Armin Grunwald, Leiter des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des KIT  
Professor Armin Grunwald, Head of the Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS) of KIT

## „Endlagerung ist auch eine gesellschaftliche Herausforderung“

Professor Armin Grunwald lehrt am KIT Technikphilosophie und Technikethik und leitet das renommierte Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS). Er ist Co-Vorsitzender des Nationalen Begleitgremiums (NBG) für die Endlager-Suche.

„Vor 15 Jahren haben wir hier am ITAS zum ersten Mal einen Workshop zu gesellschaftlichen Fragen der Endlagerung veranstaltet. Damals führte das noch zu einem gewissen Erstaunen bei Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren. Heute wissen wir, dass es der Startschuss für eine lange und intensive Kooperation mit dem INE war. Kooperation in Forschung und Lehre, Kooperation in der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung und bei Tagungen. So ist das KIT zu einem Pionier in der Umsetzung der Erkenntnis geworden, dass das Endlagerproblem weder eine rein naturwissenschaftlich-technische noch eine primär politisch-gesellschaftliche Herausforderung ist. Gemeinsam gilt es, beide Dimensionen im Blick zu behalten. Nur so können sichere und friedliche Lösungen gelingen. Diese Gedanken haben ihren Weg auch in die Endlagerkommission des Bundestages und das aktuelle Standortauswahlverfahren gefunden.“ ■



Der Europäische Forschungsrat ERC hat Professor Peter Sanders mit einem Advanced Grant ausgezeichnet. In seinem Projekt „ScAIBox“ entwickelt er einen Werkzeugkasten aus skalierbaren Algorithmen und Softwarebibliotheken

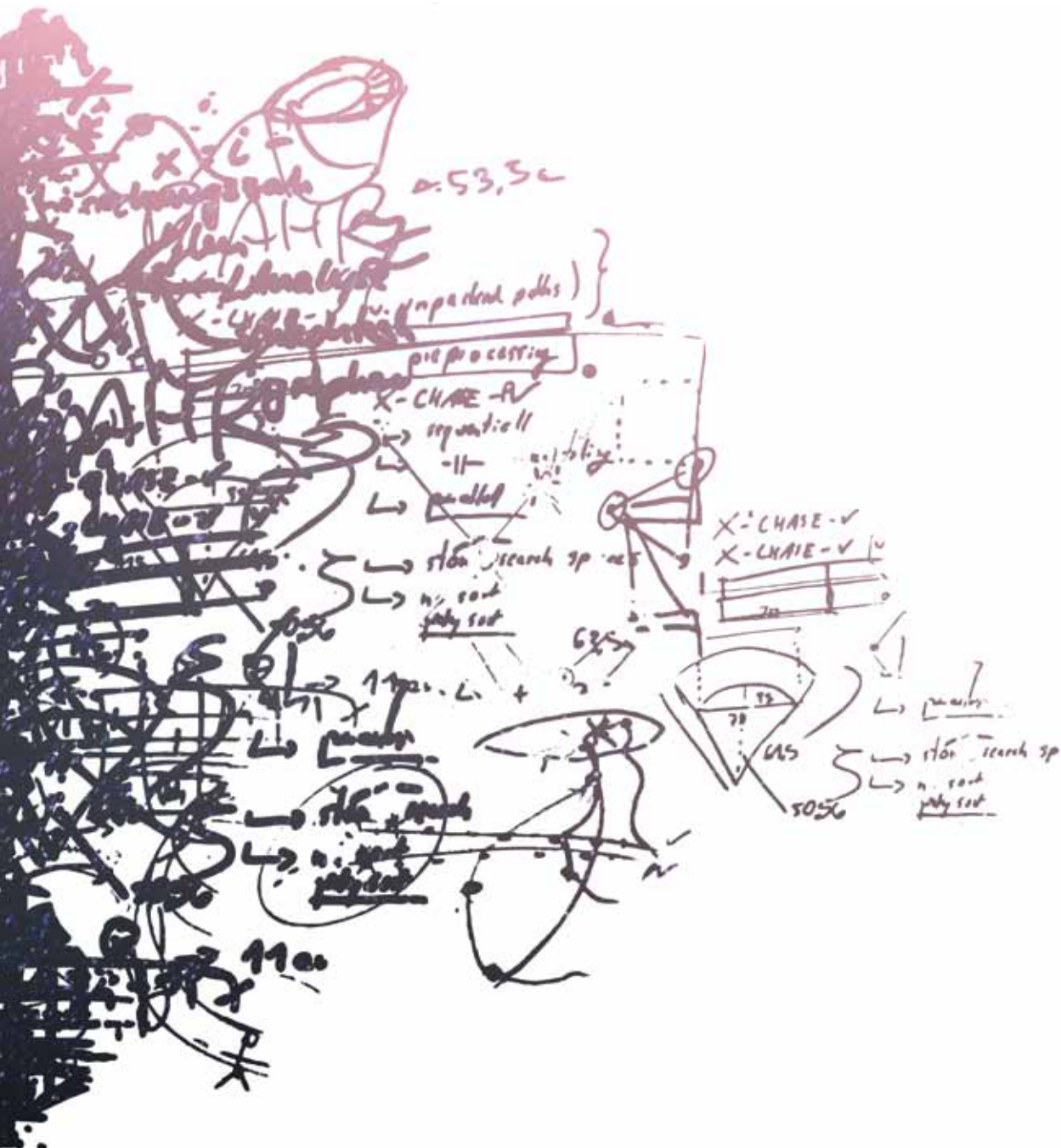
Professor Peter Sanders has received an Advanced Grant of the European Research Council (ERC). Within his „ScAIBox“ project, he is developing a toolbox of scalable algorithms and software libraries

FOTO: MARKUS BREIG

# When Algorithms **GROW** with Their Tasks

PETER SANDERS WORKS ON A TYPE OF TOOLBOX FOR DATASETS OF ANY SIZE WITH MILLIONS OF PROCESSORS RUNNING IN PARALLEL

BY DR. JUTTA WITTE // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER



His early love of computer science led him from designing a poem generator for the German youth science competition "Jugend forscht" to winning the Leibniz Prize. Professor Peter Sanders of KIT's Institute of Theoretical Informatics, Algorithmics II, is one of the leading algorithm experts worldwide. Now, he has received an Advanced Grant of the European Research Council (ERC) for his "ScAlBox" project.

Algorithms have been used since ancient times. Strictly speaking, we all come across algorithms when going to school and being taught the four basic arithmetic operations. Since the first algorithms were used in data administration in the 1950s, however, these computation tools have not only advanced to a key technology in our digitized society, they have also faced ever increasing requirements. Today, exponentially growing data volumes, modern computer architectures with increasing numbers of processors, and

ever more complex applications require scalable algorithms of maximum efficiency that can adapt to technical progress. "This is the reason why this actually very old topic offers such great potential for innovation," Sanders explains.

53-year old Sanders has found his scientific home in algorithm engineering. Here, theory and practice meet when searching for problem solutions. "I always try to build a bridge to application," Sanders says. This is what drives his work under the new ERC-funded research project "ScAlBox – Engineering Scalable Algorithms for the Basic Toolbox." The work is aimed at developing a toolbox of algorithms and software libraries that are capable of growing with their tasks, which means that they can be scaled to datasets of any size and millions of processors running in parallel. These algorithms are to be used for a variety of basic components needed to develop software for searching, sorting, ad-



*Professor Peter Sanders vom  
Institut für Theoretische  
Informatik, Algorithmik II  
des KIT*

*Professor Peter Sanders  
of the Institute of  
Theoretical Informatics,  
Algorithmics II, of KIT*

## Wenn Algorithmen mit ihren Aufgaben wachsen

### Peter Sanders arbeitet an einer Art Werkzeugkasten für beliebig große Datensätze und Millionen von parallel arbeitenden Prozessoren

Sein früh entdecktes Faible für Informatik führte ihn vom Gedichte-Generator bei Jugend forscht bis zum Leibniz-Preis: Professor Peter Sanders vom Institut für Theoretische Informatik, Algorithmik II am KIT gehört zu den führenden Algorithmus-Experten weltweit. Nun hat ihn der Europäische Forschungsrat ERC für sein Projekt „ScAlBox“ mit einem Advanced Grant ausgezeichnet.

Seine wissenschaftliche Heimat hat der 52-jährige im Algorithm Engineering gefunden. Hier fließen auf der Suche nach Problemlösungen Theorie und Praxis zusammen. „Ich versuche immer eine Brücke in die Anwendung zu bauen“, sagt Sanders. Dies treibt ihn auch bei seinem neuen, vom ERC geförderten Forschungsvorhaben „ScAlBox – Engineering Scalable Algorithms for the Basic Toolbox“ an. „Ziel ist es, eine Art Werkzeugkasten zu entwickeln aus Algorithmen und Softwarebibliotheken, die mit ihren Aufgaben wachsen, das heißt, skalierbar sind auf beliebig große Datensätze und Millionen von parallel arbeitenden Prozessoren“, so Sanders. Sie sollen bei vielfältigen Basiskomponenten zum Einsatz kommen, die in der Softwareentwicklung gebraucht werden, zum Beispiel Suchen, Sortieren, Verwaltung von Warteschlangen oder auch Lastverteilung auf parallel arbeitenden Prozessoren.

Dass es in Richtung Informatik gehen sollte war Sanders schon früh klar. Er machte als Jugendlicher eine interessante Erfahrung: Entwicklungsfehler ließen sich in der Computerprogrammierung viel leichter rückgängig machen als in anderen Technikwissenschaften. Sein Talent blieb nicht lange verborgen. 1986 gewann er den Bundeswettbewerb Informatik, kurz darauf belegte er bei „Jugend forscht“ mit zwei Kollegen Platz eins in der Kategorie Mathematik/Informatik mit einem Gedichte-Generator.

Nach dem Studium und der Promotion an der Universität Karlsruhe (TH) ging Sanders für sieben Jahre ans Max-Planck-Institut für Informatik in Saarbrücken und kehrte 2004 als Lehrstuhlinhaber für Theoretische Informatik nach Karlsruhe zurück. Seitdem hat er mit seiner Forschungsarbeit viele Spuren in unserem Alltag hinterlassen, am sichtbarsten auf dem Gebiet der Navigation: „Egal von welchem Hersteller Ihre Navi-App stammt, die Algorithmen zur Routenberechnung sind vermutlich bei uns entstanden.“ Inzwischen hat Peter Sanders mehr als 250 wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht, das DFG-Schwerpunktprogramm „Algorithm Engineering“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) koordiniert und mehrere Preise entgegengenommen – nicht nur mit dem Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis die angesehenste wissenschaftliche Auszeichnung in Deutschland, sondern auch drei Google-Awards. ■

Kontakt: peter.sanders@kit.edu

ministrating queues, or load distribution to parallel processors.

Today, simulations of concrete software on concrete hardware are state of the art. However, this is not conducive to adapting algorithms and software components to future challenges. For this reason, experts want to use algorithms which are understood rather well theoretically. This makes it possible to extrapolate costs, such as computation time or energy consumption, of today's small computers to increasingly large machines in future. "We need a synthesis between the theoretical foundation and practical application," Sanders emphasizes.

Since he received his first home computer, a Commodore 64 with 8 bits and 64 KB storage capacity, about 40 years ago, his field of research has also become far more complex. Sanders, who loved reading *How and Wonder Why* books when he was young, knew very early that he wanted to do something with computers. The teenager's first experiments in chemistry, physics, and electronics produced a very interesting finding: Development errors in computer programming can be undone much more easily than in other engineering sciences. "And I noticed that it suits me fine," he says. It did not take long for his talent to be discovered. In 1986, he won the federal computer science competition. Shortly afterwards, Sanders and two colleagues reached second place in the category of mathematics/computer science of the German youth science competition "Jugend forscht" with their poem generator.

After his studies and doctorate at Universität Karlsruhe (TH), Sanders worked seven years at the Max Planck Institute for Informatics in Saarbrücken. In 2004, he returned to Karlsruhe as holder of the Chair for Theoretical Informatics. Since then, his research has left many marks on our everyday life and most visibly in the area of navigation: "No matter by whom your navigation app is produced, the algorithms for route calculation most



probably were developed by us." Meanwhile, Peter Sanders has published more than 250 scientific articles, coordinated the "Algorithm Engineering" priority program funded by the German Research Foundation (DFG), and received several prizes, including the Gottfried Wilhelm Leibniz Prize, the highest scientific prize in Germany, and three Google Awards.

Still, he is not attracted by the tech giants in Silicon Valley. The application-oriented scientist, who advises companies ranging from startups to internet enterprises such as Google or SAP, can certainly imagine conducting close-to-industry research, "but it should remain research." And he adds: "I would very much like to continue to focus on the big relationships, and this can be done much better in academic research." According to Sanders, future challenges particularly lie in energy efficiency. As computers's share of primary energy consumption is increasing continuously, more efficient algorithms are needed to reduce computation expenditure and to enhance the efficiency of other processes with the help of software.

When the father of two children does not travel in the world of algorithms, he likes reading fantasy novels or historic books and loves hiking or biking. Most of his free time, however, is reserved for his family. ■  
Contact: peter.sanders@kit.edu



**39. Motek**  
Internationale Fachmesse  
für Produktions- und  
Montageautomatisierung

 **14. Bondexpo**

 **05.-08. Oktober 2020**

 **Stuttgart**

**smart**  
**solutions**  
for production & assembly

- Montageanlagen und Grundsysteme
- Handhabungstechnik
- Prozesstechnik zum Fügen, Bearbeiten, Prüfen und Kennzeichnen
- Komponenten für den Sondermaschinenbau
- Software und Dienstleistungen
- und erneut mit dem integrativen Themenpark „Arena of Integration“



 **ARENA OF INTEGRATION**

• • • •

**Automation Intelligence to go!**

 [arena-of-integration.de](http://arena-of-integration.de)



 [www.motek-messe.de](http://www.motek-messe.de)

 **#motek2020**

Veranstalter:  **P. E. SCHALL GmbH & Co. KG**

 +49 (0) 7025 9206-0  [motek@schall-messen.de](mailto:motek@schall-messen.de)

# „Daten nutzen



KI kann in der Medizin vielfältig eingesetzt werden. Um die Daten der Patientinnen und Patienten zu schützen, muss auch die Alltags-IT eine höhere Sicherheit aufweisen

AI can be used in many ways in the medical sector. To protect patient data, everyday IT must also be more secure

# und schützen“

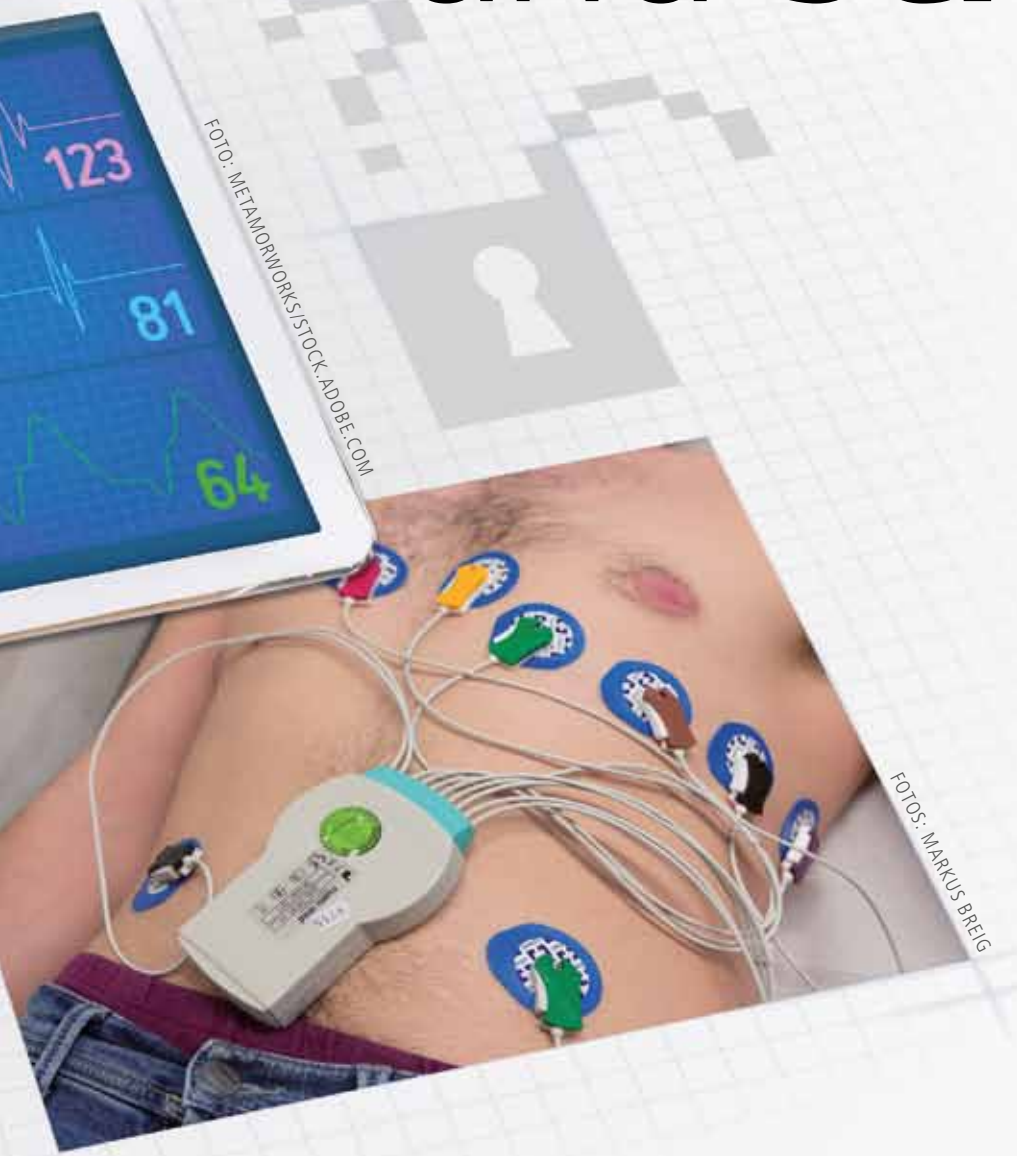


FOTO: METAMORWORKS/STOCK.ADOBE.COM

FOTOS: MARKUS BREIG

## EIN GESPRÄCH ÜBER SICHERHEITSRISIKEN VON KÜNSTLICHER INTELLIGENZ IN DER MEDIZIN

Herausforderungen bedeutet dies für die IT-Sicherheit?

**Professor Jörn Müller-Quade:** Die Herausforderung liegt immer darin, dass man Daten sowohl nutzen, als auch schützen will. KI-Systeme brauchen große Datenmengen, damit sie aus ihnen lernen können. Um beispielsweise seltene Nebenwirkungen zu erkennen, müssen ausreichend Daten vorliegen und ausgewertet werden. Eine vergleichbare aktuelle Herausforderung ist die Tracing-App für das Smartphone, die helfen soll, anhand von Handydaten Infektionsketten zu verfolgen und Kontaktpersonen von COVID-19-Infizierten zu warnen. Die Nutzerinnen und Nutzer geben ihre Daten freiwillig, weil sie es für sinnvoll halten, zugleich wollen sie, dass ihre Privatsphäre geschützt wird.

Zum Kreis der Akteurinnen und Akteure im Gesundheitswesen zählen Medizinerinnen und Mediziner, Therapeutinnen und Therapeuten, Pflegekräfte und Angestellte in Laboren, Krankenversicherungen und Apotheken. Wie können sensible Patientendaten vor unberechtigtem Zugriff geschützt werden?

Die Vielfalt der Akteurinnen und Akteure macht das Problem schwierig, weil viele potenziell Zugriff haben. Technische Lösungen sind die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung der Datenübertragung, die Zugriffskontrolle, durch die immer nur derjenige die Daten sieht, der dazu gerade berechtigt ist, und das kryptografische Verfahren der sicheren Mehrparteienberechnung, durch die kein Geheimnis preisgegeben wird. Wenn aber die Endgeräte, zum Beispiel

In der Medizin verspricht Künstliche Intelligenz (KI) vielfältigen Nutzen: Der Einsatz Lernender Systeme bietet Chancen für frühzeitige Diagnosen, schnelle Auswertung großer Mengen von Bild- und Labordaten sowie individuelle Therapien. Zugleich stellt er hohe Anforderungen an die IT-Sicherheit. Das Whitepaper „Sichere KI-Systeme für die Medizin“ zeigt Probleme und mögliche Lösungen auf. lookKIT sprach darüber mit Pro-

essor Jörn Müller-Quade, Sprecher des Kompetenzzentrums für angewandte Sicherheitstechnologie KASTEL am KIT und einer der Autoren der Veröffentlichungen auf der Plattform Lernende Systeme, die 2017 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiiert wurde.

lookKIT: Ärztinnen und Ärzte können mit Hilfe KI-basierter Assistenzsysteme auf eine breite Datenbasis zugreifen. Welche

## “Using and Protecting Data”

### Talking about Security Risks of Artificial Intelligence in the Medical Sector

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Artificial intelligence (AI) promises various benefits for the medical sector: Learning systems that enable early diagnosis, rapid evaluation of large volumes of image and laboratory data, and personalized therapies. At the same time, it requires a high degree of IT security. The white paper “Sichere KI-Systeme für die Medizin” (Secure AI Systems for the Medical Sector) presents both the problems and their potential solutions. This was the subject of lookKIT’s conversation with Professor Jörn Müller-Quade, spokesperson of KIT’s Competence Center for Applied Security Technology KASTEL. He also is one of the authors of the publication by the Learning Systems Platform, which was initiated by the Federal Ministry of Education and Research in 2017.

In the interview, Jörn Müller-Quade pointed out that in regards to AI in the medical sector, particular attention has to be paid to the security of conventional IT, as otherwise control of the data might be lost: “Technical solutions are end-to-end encryption of data transmission, access control – by means of which data are visible to an authorized person only – and the cryptographic method of secure multiparty computation that discloses no secrets. However, if end devices – the PC of the pharmacy, health insurance company, or physician – are not secure, we will have problems that might eventually lead to data scandals,” Müller-Quade said. And the Professor of Cryptography and Security is concerned about another problem: “Non-experts can make mistakes that may become the entrance gate for attackers. When all data in my patient record will be accessible from my PC at home in future and somebody hacks this device, my whole medical history will be open to this person. For this reason, it will be even more important to use the latest operating systems and secure passwords.”

Moreover, Müller-Quade argued that secure and reliable use of health data should be the basic prerequisite for acceptance of AI in the medical sector. As many persons are primarily interested in potential treatment methods, AI systems and databases as well as the electronic patient record should be certified by independent inspection offices. ■

Contact: joern.mueller-quade@kit.edu

der PC der Apotheke, der Krankenversicherung oder der Medizinerin und des Mediziners, nicht sicher sind, werden wir Probleme haben, die zu Datenskandalen führen könnten. Wir brauchen insgesamt eine bessere Sicherheit der Alltags-IT, denn es darf nicht sein, dass wir die Kontrolle über unsere Daten verlieren. Wichtig wäre eine Produkthaftung, damit Hersteller sich in der Verantwortung sehen und sicherere Produkte entwickeln.

**Die Einführung einer elektronischen Patientenakte (ePA) ist eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz von KI in der Medizin. Welche IT-Sicherheitsrisiken birgt sie und welche Gegenmaßnahmen gibt es?**

Bei der ePA wird stark auf Sicherheit geachtet, das bedeutet jedoch nicht, dass nichts passieren kann. Viele Patientinnen und Patienten werden in der Abwägung den Nutzen für die Gesundheit als das Wichtigere ansehen. Wenn wir intelligente IT in der Medizin nutzen wollen, werden Datenskandale voraussichtlich nicht ausbleiben. Ihre Auswirkungen ließen sich aber einschränken, wenn so erlangte Kenntnisse der Gesundheitsdaten nicht zum Nachteil der Patientinnen und Patienten genutzt werden dürften. Ausschlaggebend ist es, Diskriminierung zu verhindern, die entsteht, wenn jemand zum Beispiel aufgrund seiner bekannt gewordenen Befunde oder Vorerkrankungen einen höheren Beitrag für die Krankenkasse zahlen muss oder eine Arbeitsstelle nicht bekommt. Voraussetzung, um Anforderungen an Fairness und Diskriminierungsfreiheit von KI-Entscheidungen sicherzustellen, wäre, künftig auf technischer Ebene nachweisen zu können, dass ein Algorithmus diskriminierungsfrei entscheidet.

**Patientinnen und Patienten sind in der Regel IT-Laien. Lässt sich gewährleisten, dass sie die Selbstbestimmung über ihre Gesundheitsdaten behalten?**

Wer in der Lage ist, in einer einfachen App Daten zu blockieren oder zu löschen, braucht keine Fachkenntnis. Mir macht etwas anderes

Professor Jörn Müller-Quade,  
Sprecher des Kompetenzzentrums für angewandte Sicherheitstechnologie  
KASTEL des KIT

Professor Jörn Müller-Quade,  
Spokesperson of KIT's  
Competence Center for  
Applied Security Technology  
KASTEL



Sorgen: Laien können Fehler machen, die zum Einfallstor für Angreifende werden. Wenn künftig alle Daten meiner Patientenakte von meinem heimischen PC aus zugänglich sind, und jemand knackt dieses Gerät, liegt auch meine ganze Krankengeschichte offen. Wenn die ePA eingeführt wird, sollen die Patientinnen und Patienten die volle Kontrolle über ihre Gesundheitsdaten haben. Aber wenn sie bestimmte Grundregeln der IT-Sicherheit nicht einhalten, sind diese Daten nicht sicher. Es ist umso wichtiger, darauf zu achten, immer das neueste Betriebssystem zu nutzen und sichere Passwörter zu verwenden.

#### Welchen Schutz ihrer Daten sollten Patientinnen und Patienten erwarten?

Ein sicherer und zuverlässiger Umgang mit den Gesundheitsdaten sollte Grundvoraussetzung für die Akzeptanz von KI in der Medizin sein. Ich glaube aber, dass für viele Menschen vor allem der Aspekt im Vordergrund stehen wird, was hilft und was heilt. Deshalb ist eine Zertifizierung der KI-Systeme und -Datenbanken sowie der ePA durch unabhängige Prüfstellen wichtig.

#### Inwieweit stellen uns kontinuierlich weiterlernende KI-Systeme vor besondere Herausforderungen?

Wenn ein KI-System fortwährend weiterlernt, lässt es sich nicht zertifizieren. Das KI-System verändert sich ständig, insbesondere entstehen so viele verschiedene Versionen, die nicht

mehr dem Zulassungsmoment entsprechen. Die konkreten Entscheidungen, die solch ein KI-System trifft, sollten also durch die behandelnden Menschen daraufhin überprüft werden, ob sie nachvollziehbar sind. Eine KI, die erklärbar ist, würde hier enorm helfen. Ärztinnen und Ärzte dürfen das vorgeschlagene Ergebnis nicht unreflektiert übernehmen.

#### An wen richtet sich die Veröffentlichung „Sichere KI-Systeme für die Medizin“?

Das Papier kommt von der Plattform Lernende Systeme, die 2017 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiiert wurde, um in verschiedenen Arbeitsgruppen deutlich zu machen, wie KI die Zukunft verändert und im Sinne von Mensch und Gesellschaft gestaltet werden kann. Die von der Informationsethikerin Jessica Heesen und mir geleitete Arbeitsgruppe IT-Sicherheit, Privacy, Recht und Ethik hat die Veröffentlichung verfasst. Unterstützt wurden wir von der Arbeitsgruppe Gesundheit, Medizintechnik, Pflege. Die Analyse richtet sich in erster Linie an Entscheidungstragende, vor allem in der Politik. Sie bietet aber auch anderen Interessierten, zum Beispiel in der Medizin, Einblick in die Überlegungen, die wir interdisziplinär anhand des Anwendungsszenarios „Mit KI gegen Krebs“ zusammengetragen haben. Das fiktive Beispiel veranschaulicht den Behandlungsablauf eines Lungenkrebspatienten im Jahr 2024 und zeigt verbesserte Diagnose- und Behandlungsmöglichkeiten durch den Einsatz von KI-Systemen.

#### Welche Bedeutung hat die interdisziplinäre Betrachtung?

Das Thema KI hat Berührungspunkte mit zahlreichen anderen Fachgebieten. Insbesondere gibt es eine Wechselwirkung zwischen Sicherheit und Recht, und als Kryptograf sehe ich es als großen Vorteil, dass sich bei uns am KIT an der Informatikfakultät auch Juristinnen und Juristen mit Fragestellungen an den Schnittstellen von Recht und Informationstechnik befassen. ■

Kontakt: joern.mueller-quade@kit.edu  
Das Gespräch führte Anja Frisch

Herausforderung für die IT-Sicherheit: Daten sollen genutzt und zeitgleich geschützt werden. Einer vergleichbaren Problematik unterliegen aktuell die Tracing-Apps, die zur Nachverfolgung von COVID-19-Infektionsketten beitragen sollen

Challenge for IT security: Data are to be used and protected at the same time. Tracing apps, which are designed to help track COVID-19 infection chains, are currently subject to a similar problem

FOTO: GABI ZACHMANN



Jörn Müller-Quade et al. (Hrsg.):  
Sichere KI-Systeme für die Medizin –  
Whitepaper aus der Plattform Lernen-  
de Systeme, München 2020.

[https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG3\\_6\\_Whitepaper\\_07042020.pdf](https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG3_6_Whitepaper_07042020.pdf)



FOTO: AIEIG

## ETHIKLABEL FÜR KI-TECHNOLOGIEN ENTWICKELT

JE NACH ANWENDUNGSSZENARIO WIRD GEPRÜFT UND BEWERTET

## ETHICAL LABEL FOR AI TECHNOLOGIES

EVALUATION DEPENDS ON THE APPLICATION SCENARIO



FOTO: PRIVAT

VON LAURA JÖRGER // TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

Autonome Fahrzeuge, virtuelle Assistenten und smarte Geräte – Künstliche Intelligenz zählt zu den wichtigsten Technologien der heutigen Zeit. So umfangreich wie ihre Einsatzgebiete ist auch die Diskussion darüber, wie solche Systeme ethisch gestaltet werden können. Es gibt bereits eine Vielzahl an Richtlinien, die Frage nach der praktischen Anwendung ist bis jetzt jedoch offen. „Ein Problem für die Umsetzung ist, dass es kulturelle Unterschiede in Bezug auf die als relevant erachteten ethischen Werte gibt, auch innerhalb der europäischen Wertegemeinschaft“, sagt Paul Grünke vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des KIT. An dieser Stelle setzt das Arbeitspapier an, das Forschende des KIT nun gemeinsam mit weiteren Partnern aus der Wissenschaft veröffentlicht haben.

In der Studie „AI Ethics: From Principles to Practice – An interdisciplinary framework to operationalise AI ethics“ stellen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedene Werkzeuge vor, mithilfe derer die ethische Qualität von KI-Produkten eingeordnet werden kann. Zentraler Bestandteil des Arbeitspapiers ist ein Ethiklabel, das optisch an das Energieeffizienzlabel für elektronische Geräte erinnert. „Es erlaubt eine Einstufung von KI-Produkten nach verschiedenen Werten wie Schutz der Privatsphäre, Nachhaltigkeit oder Transparenz“, so Grünke. Um zu überprüfen, welche Voraussetzungen ein KI-System für die verschiedenen Stufen des Labels erfüllen muss, wird das sogenannte WKIO-Modell angewendet, bei dem Werte in Kriterien, Indikatoren und Observablen ausdifferenziert werden. Als drittes Werkzeug stellen die Expertinnen und Experten eine Risikomatrix vor. Diese zeigt, welche Anforderungen für einen ethisch akzeptablen Einsatz eines KI-Produkts in einem konkreten Anwendungsszenario erfüllt sein müssen. „Man muss immer den Kontext einer Technologie betrachten. Beispielsweise muss die Privatsphäre bei der Verwendung persönlicher Daten höher bewertet werden, als bei der Herstellung eines industriellen Produkts“, erklärt Grünke. Die Arbeitsgruppe, die von der Bertelsmann Stiftung und dem VDE ins Leben gerufen wurde, betont, dass die Lösungsansätze nun erprobt und weiterentwickelt werden müssen, um sie in Zukunft europaweit zur ethischen Einordnung von KI-Technologien nutzen zu können. ■

Kontakt: paul.gruenke@kit.edu

Autonomous vehicles, virtual assistants, and smart devices – artificial intelligence is one of the most important technologies of our times. Its range of applications is rather broad as are the discussions of how such systems can be designed in an ethically acceptable form. Numerous regulations exist, but they still remain to be applied in practice. „Implementation meets with the problem that ethical values considered to be relevant are subject to cultural differences, also within the European community of values,“ says Paul Grünke of KIT’s Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS). This was the point of departure of a working paper published by KIT researchers together with other science partners.

In their study “AI Ethics: From Principles to Practice – An Interdisciplinary Framework to Operationalize AI Ethics,“ the scientists present various tools to evaluate the ethical quality of AI products. A central tool proposed is an ethical label similar to the energy efficiency label for electronic devices. “AI products can be classified using values, such as protection of privacy, sustainability, or transparency,“ Grünke says. The so-called WKIO model is another tool that is used to check what requirements an AI system meets to qualify for certain levels on the label. The model specifies values by criteria, indicators, and observables. A third tool is a risk matrix that reveals the requirements that must be met for an AI product to be ethically used for a specific application. “It is always necessary to consider the context of a technology. For example, privacy is of higher importance when using personal data compared to the manufacture of an industrial product,“ Grünke explains. The group initiated by the Bertelsmann Foundation and the German Association for Electrical, Electronic & Information Technologies (VDE) stresses that the solution approaches now have to be tested and further developed for future Europe-wide ethical qualification of AI technologies. ■

Contact: paul.gruenke@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

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 (SEK)/

Strategic Corporate Development and Communication

Leiterin (kommissarisch): Dr. Isabelle Südmeyer

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 Business Unit/Translation Services

Byron Spice

## KORREKTORAT/PROOFREADING

Laura Jörger, Timo Schreck (SEK-GK), Maika 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: Dominika Rogocka

## 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

Wir machen Schifffahrt möglich



Das **Amt für Neckar Ausbau Heidelberg** sucht zum nächstmöglichen Zeitpunkt in **Vollzeit (39 Std./Woche)**, mehrere

**Ingenieure/Ingenieurinnen (FH-Diplom / Bachelor)**

**Fachrichtung Bauingenieurwesen: Schwerpunkt konstruktiver Ingenieurbau / Wasserbau**

**Der Dienort ist Heidelberg.**

## Aufgabengebiet

Das Aufgabengebiet umfasst die Planung und die Umsetzung der Grundinstandsetzungen und Verlängerungen von Schleusen am Neckar.

## Arbeitgeber-Leistungen

Die Dienstposten sind mit der **Entgeltgruppe 11 bzw. 12** des Tarifvertrags über die Entgeltordnung des Bundes bewertet. Je nach Erfüllung der persönlichen Voraussetzungen ist eine Vergütung/Besoldung bis zur o.g. Entgeltgruppen vorgesehen. Weitere Details entnehmen Sie unserer Jobbörse:

[https://www.bav.bund.de/SiteGlobals/Forms/Archiv/OffeneStellen/suche\\_form.html?nn=795714](https://www.bav.bund.de/SiteGlobals/Forms/Archiv/OffeneStellen/suche_form.html?nn=795714)



Steffen Pippig  
Ingenieurbau

**„Join the Team. Wirken Sie**

*Kompetenz ist unsere Referenz. Steigen Sie ein. Wir bieten*

**dabei mit, Unmögliches**


*Praktika, Ausbildung, Studium, Karrierechancen weltweit.*

**machbar zu machen.“**

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

... mehr als nur  
**Schalung**

 meva



Sie haben nicht  
irgendeine Idee...

sondern die  
perfekt passende!

Dann sind Sie genau richtig bei uns  
**Planer (m/w/d)**  
SiWa + Wasserbau

**pirker + pfeiffer**  
ingenieure



Wir sind die Lösungsfinder

»»» [pirker-pfeiffer.de/karriere](http://pirker-pfeiffer.de/karriere)

Infrastruktur + Umweltschutz + Mobilität



Hitex sucht Verstärkung:

Funktionale Sicherheit, Embedded-Systems und mehr ...

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

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

- > Field Application Engineer (FAE)
- > Project Manager Embedded Systems
- > Trainee Functional Safety
- > Account Manager/Technical Sales

**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)



**BAUEN SIE SICH  
IHREN EIGENEN WEG.**

**GEMEINSAM BAUEN**  
GEMEINSAM INFRASTRUKTUR  
GESTALTEN

**EUROVIA**  
VINCI

Wir gestalten Infrastruktur. Unser Ziel ist es, Deutschlands Verkehrswege in den allerbesten Zustand zu bringen. Mit bundesweit über 125 Standorten und ca. 3.600 Mitarbeitern zählt EUROVIA zu den führenden Unternehmen im Asphalt- und Straßenbau. Unsere Niederlassungen sind fest in ihren Regionen verankert und entsprechend ihrer Spezialisierung zusätzlich überregional tätig. Diese besondere Struktur bietet unseren Bewerbern und Mitarbeitern alle Chancen: Sie können in ihrer Region leben und arbeiten und sich dort nach ihren Stärken und Wünschen entwickeln.

Werden Sie **ab sofort** Teil von EUROVIA an unserem Standort in Karlsruhe und verstärken unser Team als

**Trainee, Dualer Student oder Werkstudent** (m/w/d)

für die Bereiche Bauingenieurwesen – Projektmanagement – Tiefbau

Als Trainee werden Sie bei Ihren eigenen Projekten vom Oberbauleiter unterstützt und begleitet.

**Interesse? Dann bewerben Sie sich bei:** EUROVIA Teerbau GmbH · Benzstraße 4, 71272 Renningen  
Tel.: +49 7159 1670-50 · [bewerbung.karlsruhe@eurovia.de](mailto:bewerbung.karlsruhe@eurovia.de)



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



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)



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

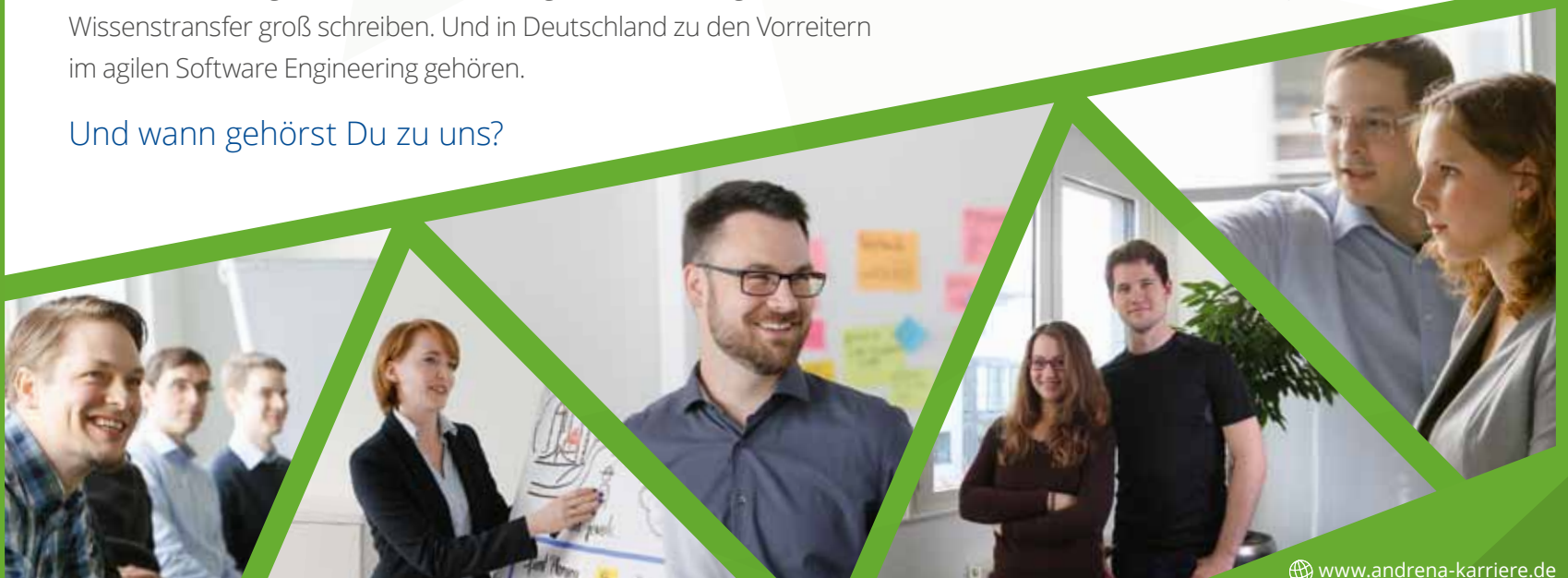
## Du entwickelst es. Du planst es.

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

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

Und wann gehörst Du zu uns?

**andrena**  
OBJECTS



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

Spannende Tätigkeiten gesucht?  
Mit uns bleiben Sie in  
**BWgung!**

www.bitbw.de

Die BITBW sucht Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger und erfahrene Fachkräfte, um die IT im Land weiter nach vorne zu bringen.

Neue Projekte und vielseitige Aufgaben lassen unsere Teams wachsen. Folgende Bereiche freuen sich über neue Kolleginnen und Kollegen:

IT-Sicherheit // SAP // Kommunikationstechnik  
// Programmierung // Windows-, Linux-Server //  
Systemadministration // Accountmanagement //  
Netzwerke

> BITBW ...aber mit Sicherheit!



Lust auf Digitalisierung?

Ob als Student oder Absolvent - hier warten spannende Aufgaben auf Sie!

- Praktika
- Abschlussarbeiten
- Werkstudententätigkeiten
- Jobs für Berufseinsteiger



www.bct-technology.com

Innovative Software aus Willstätt

Siemens Digital Industries Software Partner

Teil der Unternehmensgruppe Badische Stahlwerke GmbH

**SCHLEITH BAUT NEUE WEGE**

**WERDEN SIE TEIL UNSERER MANNSCHAFT**

Wir bauen vom Tief- über den Straßen-, Ingenieur- und Industrie- bis zum Schlüsselfertigbau, vom Bodensee über den Breisgau bis nach Hessen und Rheinland-Pfalz. Das erreichen wir nur mit einem Team von qualifizierten Berufsstärkern und erfahrenen Spezialisten. Kommen Sie in die Schleith-Familie und setzen gemeinsam mit uns spannende Projekte um.

Wir freuen uns über Ihre Bewerbung@schleith.de!



Haben Sie Spaß an interessanten Aufgaben  
und herausfordernden Zukunftsprojekten?



# Mineraloelraffinerie Oberrhein

Deutschlands größte Raffinerie

Die Mineraloelraffinerie Oberrhein in Karlsruhe ist eine der leistungsfähigsten Raffinerien in Europa und der größte Benzinerzeuger 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.

## 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)

# Heute wagen. Morgen begeistern.

ZEISS

Seeing beyond



## Forschung & Technologie bei ZEISS

Wer den Ruf in Stanford zu forschen ausschlägt, braucht schon eine gute Alternative. Waiz ist sich sicher, bei ZEISS ist seine Forschung am besten aufgehoben. Hier trifft er seine eigenen Entscheidungen und hat direkten Einfluss auf entwickelte Produkte – und so auf das Leben von Brillenträgern weltweit. Gemeinsam mit seinem Team arbeitet er an revolutionären Technologien in der Augenoptik. Zum Beispiel an Konzepten zu Linsen, die helfen, die Entwicklung von progressiver Kurzsichtigkeit bei Kindern zu mildern. „Wir wollen heute und auch in Zukunft die innovative Kraft im Bereich der Optik für Konsumenten sein. Und dafür arbeiten wir mit den klügsten Köpfen zusammen, innerhalb des Unternehmens und auch außerhalb von ZEISS.“



#kameradraufhalten  
#jobsentdecken  
#teamzeiss