

# future

Das Forschungsmagazin der Universität Siegen 2020  
University of Siegen Research Magazine

Nanowissenschaften / Nanosciences

## Reise durch den Nanokosmos Exploring the nanocosmos

Zukunft menschlich gestalten  
Shaping a Humane Future

 Universität  
Siegen

»Ich beschäftige mich nicht mit dem, was getan worden ist. Mich interessiert, was getan werden muss.«

»I don't concern myself with what has already been done. I'm interested in what needs to be done.«



Marie Skłodowska Curie  
(1867 – 1934) Wissenschaftlerin  
scientist

Foto / Photo  
Generalstabens Litografiska Anstalt Stockholm

## Die berühmte Wissenschaftlerin

Marie Curie sagte einst: »Ich beschäftige mich nicht mit dem, was getan worden ist. Mich interessiert, was getan werden muss«. Dieser Leitsatz trifft auch heute noch den Kern der aktuellen Aufgaben in der Forschung, und er passt sehr genau auf das Leitbild unserer Universität »Zukunft menschlich gestalten«. Vor dem Hintergrund der aktuellen Herausforderungen in Gesellschaft, Politik und in der Technik ist zukunftsorientierte Forschung der Schlüssel für die Lösung der anstehenden Probleme; dies wurde in der aktuellen Krise durch das Coronavirus nochmals sehr deutlich. Gerade der universitären Forschung mit ihrer weitreichenden Freiheit sowie ihrer großen Bandbreite kommt hier eine wichtige Rolle zu: Sie reicht von der Grundlagenforschung, die vielleicht erst in vielen Jahren zu einer heute noch nicht vorauszusehenden Innovation führt, bis hin zu anwendungsorientierter Forschung und dem entsprechenden Transfer in Politik und Gesellschaft.

Im vergangenen Jahrzehnt haben wir uns als eine Forschungsuniversität mittlerer Größe etabliert. Die Forschung in Siegen ist sehr vielfältig. Diese Vielfalt ist für eine Universität ein wesentliches Merkmal. Aufsetzend hierauf haben sich aber auch erkennbare Schwerpunkte gebildet, die von außen betrachtet »Marken« der Universität Siegen sind. Unser Forschungsmagazin **future** möchte Ihnen die Forschung an der Universität Siegen und deren Schwerpunkte vorstellen und Ihnen auch die Menschen näherbringen, die diese Forschung machen.

Jede Ausgabe ist einem der Schwerpunkte unserer Universität gewidmet. Diesmal geht es um Nanowissenschaften und Nanotechnologie, ein Bereich der im Sinne des Zitates von Marie Curie in die Zukunft blickt und sicher einen Beitrag liefern wird, unsere »Zukunft menschlicher zu gestalten«.

Viel Spaß bei der Lektüre!

**The famous scientist** Marie Curie once said: »I don't concern myself with what has already been done. I'm interested in what needs to be done«. This idea should still be at the heart of topical research, and it is perfectly reflected in the philosophy of our university: »Shaping a Humane Future«. Considering the current challenges in society, politics, and technology, future-oriented research is key to solving the challenges we face in today's world. This has become very clear once again through the crisis caused by the coronavirus. With its broad freedom and wide scope, university research plays a major role here. It includes everything from basic research that may take years to produce unforeseen innovations, to applied research and its transfer to progress economy, politics and society.

Naturally, a broad variety in research is a defining characteristic of a university. However, Siegen, which has become established as a medium-sized research university over the past decade, has developed distinct specializations that have gained a reputation as hallmarks of the University of Siegen. Our magazine **future** is designed to inform you about research and its focuses at our university. It also aims to profile the people actively doing this research.

Each issue is dedicated to one of the university's focuses. This time, we look at nanoscience and nanotechnology, a field that follows Marie Curie's ideal of scientific work for the future. It will surely be instrumental in »Shaping a Humane Future«.

I hope you enjoy the read!

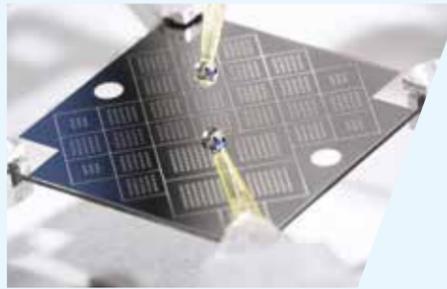


Thomas Mannel  
Prorektor für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs  
Vice President for Research and Junior Scientists

Nanowissenschaften / Nanosciences

**04** Reise durch den Nanokosmos  
Exploring the nanocosmos

**08**



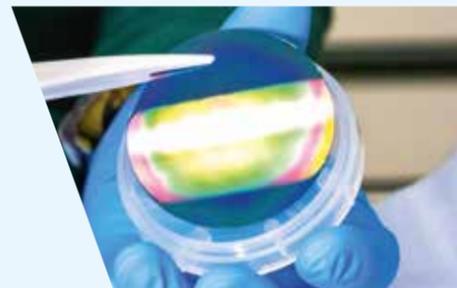
**Der Krankheiten-Scanner**  
The disease scanner

Forschende entwickeln einen Biochip für besonders einfache, schnelle und aussagekräftige DNA-Analysen.  
Researchers develop a biochip for easy, fast, and effective DNA analyses.

Foto / Photo HQE, Uni Siegen

»Ein Speicher mit einzigartigen Fähigkeiten«  
»Storage with unique capabilities«

WissenschaftlerInnen setzen auf Kohlenstoffverbindungen – wie etwa synthetischen Diamant – um einen batterie-ähnlichen Superkondensator zu entwickeln.  
Scientists are banking on carbon compounds such as synthetic diamond to develop a battery-like super capacitor.



**13**

**19**



**Nanopartikel unter der Lupe**  
Spotlight on nanoparticles

BiologInnen und ChemikerInnen haben herausgefunden, dass Nanopartikel auch in geringen Konzentrationen Wasserorganismen beeinflussen können.  
Biologists and chemists have discovered that, even in small concentrations, nanoparticles can affect aquatic organisms.

**Viel mehr als nur ein Stück Metall**  
Much more than just a piece of metal

Wie kann aus einem einfachen Stück Metall ein neuartiges Material mit komplexen Eigenschaften und Funktionen werden?  
How do you transform a simple piece of metal into a novel material with complex characteristics and functions?



**27**

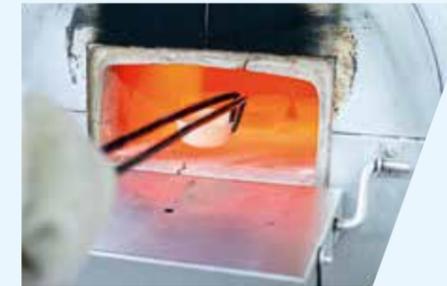
**33**

**Wundersames in zwei Dimensionen**  
Astonishing material in two dimensions

Drei Siegener Forscherteams erkunden und verwenden außergewöhnliche Eigenschaften von ultradünnen 2D-Materialien.  
Three research teams in Siegen are examining and utilizing the exceptional properties of ultrathin 2D materials.



**43**



**Auf Betriebstemperatur**  
At operating temperature

Prof. Dr. Butz und sein Team analysieren Akkus und Brennstoffzellen, während sie in Betrieb sind.  
Prof. Dr. Butz and his team analyze batteries and fuel cells during operation.

Foto / Photo istockphoto / andjic

Aus den Fakultäten / From the Schools

**48 Wenn Pflanzen die Orientierung verlieren**  
When plants get lost in space

**56 Radikal gegen den Strich**  
A radically different approach

**60 Sind weibliche Hormone Bakterien-Booster?**  
Are bad bugs boosted by female hormones?

**62 Die Macht des Populären**  
The power of popularity

**67 Ist grünes Wachstum möglich?**  
Are environmental protection and economic growth compatible?

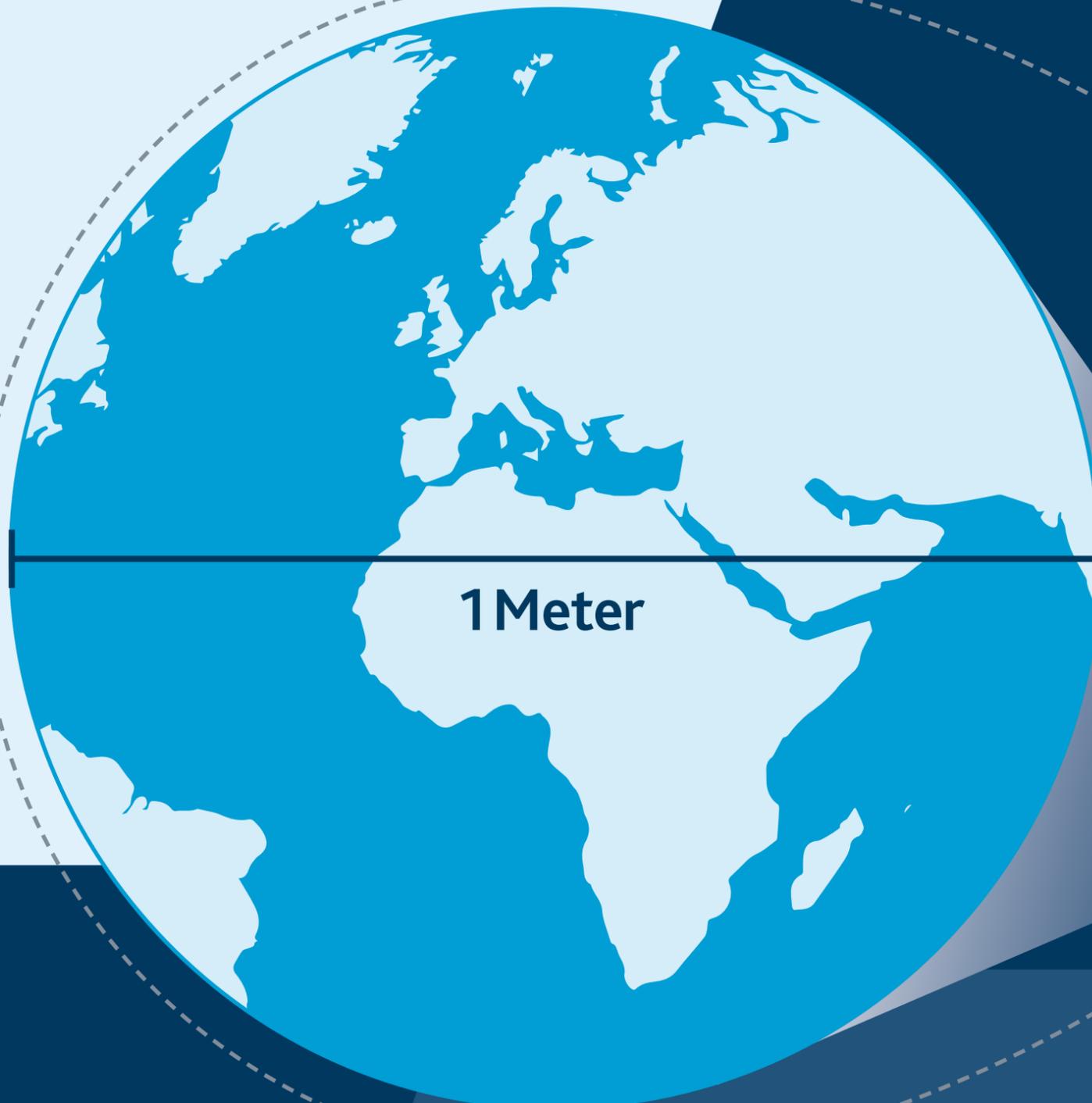
**75 Der empathische Hammer**  
Your empathetic hammer

**78 Wie machen wir den Mittelstand fit für die Digitalisierung?**  
How can we make small and medium-sized enterprises ready for digitalization?

**80 Daten wie mit einem Skalpell sezieren**  
Dissecting data with precision

**86 AutorInnen**  
Authors

**88 Impressum**  
Imprint



# Reise

## durch den Nanokosmos

Autorin / Author Nora Frei



1 Nanometer

Exploring the nanocosmos

→ Page 07

Wenn die Erde einen Durchmesser von 1 Meter hat, hat eine 1-Cent-Münze ungefähr einen Durchmesser von 1 Nanometer.

If the Earth's diameter were 1 meter, then the diameter of a 1-cent coin would be roughly 1 nanometer.

1 Nanometer =  $10^{-9}\text{m}$  = 1/1.000 Mikrometer = 1/1.000.000 Millimeter = 1/1.000.000.000 Meter

Wie arbeitet man eigentlich mit etwas, das so klein ist, dass man es mit bloßem Auge gar nicht sehen kann? Die NanowissenschaftlerInnen der Universität Siegen wissen das. Sie forschen an Teilchen, die nur ein millionstel Millimeter groß sind. Zum Vergleich: Die Größe von Teilchen kleiner als zwei zehntel Millimeter kann ein Mensch ohne optische Hilfsmittel nicht erkennen. Kein Wunder, dass der Name der Partikelgröße sich vom Griechischen »nanos« für »Zwerg« ableitet.

## Das Spannende

an den winzigen Nanoteilchen: Ihre Größe verleiht ihnen außergewöhnliche Eigenschaften. Während ein Goldbarren bei exakt 1.064 °C schmilzt, schmelzen kleinste Goldpartikel bereits bei einer viel niedrigeren Temperatur. Schimmert ein Goldbarren goldfarben, sind Gold-Nanopartikel rot.

Egal ob Farbe, Schmelzpunkt oder Reaktivität – all diese Eigenschaften, und noch viele mehr, ändern sich, abhängig von der Größe der Teilchen. Das hat zwei Hauptgründe: Zum einen ist die Oberfläche eines Nanopartikels im Verhältnis zu seinem Volumen besonders groß. Vergleichen lässt sich das mit einer Eisenstange und Eisenwolle. Letztere hat im Verhältnis zum Volumen eine deutlich größere Oberfläche. Hält man ein Feuerzeug an eine Eisenstange, wird die Stange zwar heiß, beginnt aber nicht zu brennen. Eisenwolle fängt hingegen sofort Feuer. Der zweite Hauptgrund ist der Aufbau der Nanopartikel. Sie bestehen aus wenigen bis einigen Tausend Atomen. Dadurch entstehen besondere Strukturen, an denen Reaktionen viel schneller ablaufen als bei großen Teilen.

Aufgrund der speziellen Eigenschaften sind Nanopartikel für ForscherInnen aus vielen Disziplinen interessant, zum Beispiel für PhysikerInnen, ChemikerInnen, BiologInnen, Material- und WerkstofftechnikerInnen und IngenieurInnen. Innerhalb der vergangenen knapp 90 Jahre wurden spezielle Mikroskope und Methoden entwickelt, damit WissenschaftlerInnen die Nanopartikel nicht nur sichtbar machen, sondern mit ihnen auch arbeiten können. Dazu zählen Elektronenmikroskope und seit den 1980er Jahren auch Rastertunnelmikroskope und Rasterkraftmikroskope. Für einige dieser Erfindungen wurde in den 1980er-Jahren der Nobelpreis verliehen.

Um Nanopartikel und -materialien herzustellen, kann man entweder etwas Großes extrem verkleinern, oder aus Atomen die Partikel zusammensetzen. ForscherInnen haben auch Methoden entwickelt, um die Oberfläche von Nanoteilchen zu verändern – oder um Materialien auf der Nanoebene besondere Fähigkeiten zu verleihen. Mittlerweile gibt es dank der Nanowissenschaft zum Beispiel selbstreinigendes Glas oder Wundpflaster, die Infektionen bekämpfen.

An der Universität Siegen spiegelt sich die Vielfalt der Nanoforschung wider: Das Team um Prof. Dr. Haring Bolívar entwickelt Biochips, die besonders schnell und einfach DNA auf tumorartige Veränderungen testen sollen (ab Seite 8). Prof. Dr. Xin Jiang und sein Team verändern synthetischen Diamant so, dass er sich für batterie-ähnliche Superkondensatoren eignet (ab Seite 13). BiologInnen und ChemikerInnen um Prof. Dr. Klaudia Witte, Prof. Dr. Carsten Engelhard und Prof. Dr. Holger Schönherr prüfen die Toxikologie bestimmter Nanopartikel. Schädigen zum Beispiel Titandioxid-Nanopartikel aus Sonnencremes Lebewesen in Seen (ab Seite 19)? Prof. Dr. Manuela Killian verleiht Metall komplexe Eigenschaften und Funktionen, damit zum Beispiel medizinische Implantate exakt dort, wo sie eingesetzt werden, antibakteriell wirken können (ab Seite 27). Drei Siegener Forschungsteams erkunden und verwenden außergewöhnliche Eigenschaften von ultradünnen 2D-Materialien, zum Beispiel von Graphen (ab Seite 33). Und Prof. Dr. Benjamin Butz aus der Werkstofftechnik analysiert Akkus und Brennstoffzellen, während sie in Betrieb sind (ab Seite 43).

»Die Nanowissenschaften haben im Labor bereits vielversprechende Ergebnisse erzielt«, sagt Holger Schönherr, Chemiker und Dekan der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Universität Siegen. »Ich bin sicher, dass wir in den kommenden Jahrzehnten weitere große Entwicklungen sehen werden, unter anderem in der Sensorik und im Medizinbereich.« Um für die Zukunft noch besser gerüstet zu sein, entsteht auf dem Campus Adolf-Reichwein-Straße das neue, hochmoderne Forschungsgebäude INCYTE (ab Seite 46). /

How do you work with something so small that it is invisible to the naked eye? The nanoscientists at the University of Siegen know the answer. They perform research on tiny particles that measure only a millionth of a millimeter. To put this into perspective: The naked human eye cannot see particles smaller than two tenths of a millimeter. That is why the term for this particle size is derived from the Greek »nanos«, which means »dwarf«.

## What is so fascinating

about the miniscule particles is the extraordinary characteristics that are a result of their size. While a gold bar melts at precisely 1,064 °C, very small gold particles melt at a much lower temperature. Gold bars have a golden color, yet gold-nanoparticles may appear red.

Color, melting point, reactivity, and many other properties change depending on the size of the particles. There are two main reasons for this. First, the surface of a nanoparticle is large in relation to its volume. A good comparison is an iron rod as opposed to iron wool. Compared to its volume, iron wool has a much greater surface area. Hold a lighter to an iron rod and it will get hot, but it will not burn. Iron wool immediately catches fire. The second main aspect is the structure of nanoparticles. They consist of only a few up to a few thousand atoms. This creates special structures that are much more reactive than large particles.

As a result of these characteristics, nanoparticles are of interest to researchers in various fields, for example physicists, chemists, biologists, materials technologists and engineers. Over the past 90 years or so, special microscopes and methods have been developed that allow scientists not only to visualize nanoparticles, but also to work with them. Particular breakthroughs were electron microscopes and, since the 1980's, scanning tunneling microscopes and atomic force microscopes. In the 1980s, Nobel Prizes were awarded for some of these inventions.

But how do scientists obtain nanoparticles and materials? Either by breaking down a large piece of material into extremely small particles, or by »building« particles from atoms. Researchers have also developed methods to change the surface of nanoparticles and to equip nanomaterials with special features. Today, thanks to nanoscience, we have, for example, self-cleaning glass and wound dressings that signal or fight infections.

Work at the University of Siegen reflects the wide variety of nano-related research. The team under Prof. Dr. Peter Haring Bolívar is developing biochips designed to simply and rapidly test DNA for tumor-like mutations (page 11). Prof. Dr. Xin Jiang and his team are altering synthetic diamond material to make it suitable for superconductors that can be used as batteries (page 17). Biologists and chemists under the leadership of Prof. Dr. Klaudia Witte, Prof. Dr. Carsten Engelhard and Prof. Dr. Holger Schönherr are testing the toxicology of certain nanoparticles. For example, do titanium dioxide nanoparticles that are used in sunscreen damage organisms in lakes (page 25)? Prof. Dr. Manuela Killian enhances metals with complex properties and functions, for example so that medical implants can have an antibacterial effect at the implant site (page 31). Three research teams from Siegen are examining and utilizing the remarkable properties of ultrathin 2D materials, for example graphene (page 39). Last but not least, Prof. Dr. Benjamin Butz from the materials engineering department analyzes batteries and fuel cells during operation (page 45).

»Nanoscience has already produced very promising results in the lab,« says Holger Schönherr, a chemist and Dean of the School of Science and Technology. »I'm confident that we'll see more major breakthrough developments in the coming decades, in particular in sensor technology and medicine.« INCYTE, the new, ultramodern research building, which will be built on the Adolf-Reichwein-Campus, will give the scientists the means to tackle these and related future challenges (page 47). /

# Der Krankheits-Scanner

Autor/Author Frank Frick

## The disease scanner

→ Page 11

DNA-Analysen unterstützen MedizinerInnen auf vielfältige Weise: Sie geben beispielsweise Auskunft über Erbgut-Veränderungen in Tumorzellen, sodass Ärzte KrebspatientInnen individuell passende Medikamente verschreiben können. Siegener Forschende um Professor Dr. Peter Haring Bolívar entwickeln einen Biochip für besonders einfache, schnelle und aussagekräftige Analysen.

### Noch zu Beginn

dieses Jahrtausends sprach die Wissenschaft von der Terahertz-Lücke. Denn es gab für alle Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, von den Radiowellen bis zur Röntgenstrahlung, zahllose Sender und Empfänger – nur für die Terahertz-Strahlung nicht. Sie liegt im Spektrum zwischen Infrarot-Licht und Mikrowellen. »Schon damals haben wir an der Idee gearbeitet, die Terahertz-Strahlung zur schnellen Analyse von DNA-Abschnitten und damit etwa zum Erkennen von Erbkrankheiten oder zur Bestimmung des individuellen Krebsrisikos zu nutzen«, sagt Prof. Dr. Haring Bolívar, Inhaber des Lehrstuhls für Höchstfrequenztechnik und Quantenelektronik. Die Idee beruhte auf dem Wissen, dass Terahertz-Strahlen charakteristische Schwingungen und Verdrehungen in biologisch bedeutsamen Molekülen anregen können: Es entstehen starke Resonanzen, die von einem Terahertz-Empfänger gemessen werden können.

»Anfang der 2000er-Jahre existierten allerdings noch keine käuflichen Terahertz-Systeme«, erläutert Haring Bolívar. Das erschwerte die Umsetzung der Idee. Heute hingegen hat sich die Terahertz-Lücke weitgehend geschlossen: Es gibt Messinstrumente beispielsweise zur industriellen Qualitätskontrolle. Und am Flughafen durchleuchten Terahertz-Körperscanner Reisewillige daraufhin, ob sie Waffen oder Sprengstoff am Körper tragen. Anders als die Röntgenstrahlung ist die Terahertz-Strahlung nicht gesundheitsschädlich, durchdringt aber beispielsweise Textilien, Papier und Kunststoff.

#### Problem: Nicht empfindlich genug

Auf dem Weg zu ihrem Ziel galt es für die Siegener Forschenden, ein großes Problem zu lösen: Eine typische Terahertz-Schwingung ist 300 Mikrometer lang, das entspricht 300.000 Nanometern. Biomoleküle oder charakteristische DNA-Abschnitte sind dagegen erheblich kleiner: Ihre Ausdehnung beträgt weniger als 100 Nanometer. Aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten kann man somit normalerweise nur recht große Mengen von Biomolekülen mit Terahertz-Strahlung aufspüren: »Die Methode war ursprünglich nicht ausreichend empfindlich«, so Dr. Anna Katharina Wigger, wissenschaftliche Mitarbeiterin von Haring Bolívar. Somit war das Verfahren auch nicht konkurrenzfähig.



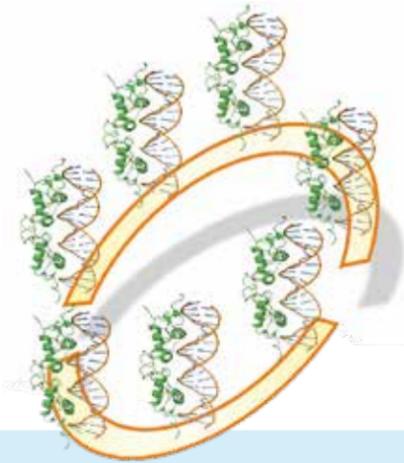
Prof. Dr. Peter Haring Bolívar

Foto/Photo Universität Siegen

Wettbewerber ist unter anderem eine Methode, bei der fluoreszierende Farbstoffe an künstlich hergestellte DNA-Einzelstränge gekoppelt werden. Bei den so markierten Einzelsträngen sind die informationstragenden Basen so angeordnet, dass sie die Gegenstücke beispielsweise zu veränderten Genen von Tumorzellen sind. Treffen die markierten DNA-Stücke auf einen entsprechenden Abschnitt in der Erbsubstanz der Tumorzellen, so bildet sich ein Doppelstrang, der dann unter speziellen Mikroskopen anhand des Leuchtens des Farbstoffes identifiziert wird. Damit dienen die markierten DNA-Einzelstränge als Sonden, um in einem Gemisch von unzähligen Biomolekülen einer Patientenprobe die gesuchte Erbsubstanz zu finden. »Dieses Verfahren ist etabliert und funktioniert auch bei kleinen Probemengen. Doch um es durchzuführen, benötigt man relativ viel Zeit und LabormitarbeiterInnen, die gut geschult sind und sorgfältig arbeiten«, urteilt Haring Bolívar. →

Auch das Siegener Verfahren nutzt DNA-Einzelstränge als Sonden, doch kommt es ohne Fluoreszenzfarbstoffe aus, die aufwendige Arbeitsschritte erforderlich machen und die Analyse erschweren. Möglich ist der Verzicht auf Farbstoffe, weil die Terahertz-Resonanzen verraten, in welcher Form Erbsubstanz vorliegt: als einzelner Strang oder – nach dem Binden an die Sonde – als Doppelstrang.

Bei dem Verfahren werden zunächst viele verschiedene DNA-Sonden auf einem Plättchen – dem Biochip – verankert. Anschließend trägt man Extrakte von Gewebeprobe eines Patienten oder einer Patientin auf den Biochip auf. Sind Gegenstücke zu den Sonden in den Proben, schließen sie sich zum Doppelstrang zusammen. Bringt man den Chip zwischen einen kompakten Terahertz-Sender und einen Terahertz-Empfänger, zeigt der Empfänger die Resonanzen an, die für Doppelstränge kennzeichnend sind: Somit ist klar, dass die gesuchte genetische Information in der Probe vorhanden ist.



Schema (artist vision, not to scale) der Abfrage von Protein-DNA Wechselwirkungen mittels THz Sensoren.

Diagram (artist vision, not to scale) of the examination of protein DNA correlations using THz sensors.

Foto / Photo HQE, Uni Siegen

### 100.000.000-fache Steigerung

Im Laufe ihrer Forschungsarbeiten konnten die Siegener WissenschaftlerInnen die Empfindlichkeit des Verfahrens hundertmillionenfach steigern. Heute bauen sie ihre 2,2 Quadratzentimeter großen Chips aus einer Schichtenabfolge von Chrom, Gold, Chrom und Quarz auf, in die sie mit Hilfe eines Standardverfahrens der Computerindustrie mehr als 500 ringförmige Strukturen einfügen. »Diese dienen dazu, die Terahertz-Felder genau in den Frequenzbereichen zu verstärken, in denen ihr Einwirken auf die Biomoleküle zu einer Veränderung der Signale führt«, erläutert Wigger. Die Forschenden haben sich diese Strukturen patentieren lassen.

Im Punkt Empfindlichkeit kann die Terahertz-Methode nun mit anderen Verfahren mithalten. Den Biochip, vor allem aus Haftungsgründen als Wegwerf-Artikel konzipiert, würde ein kommerzieller Hersteller für rund 12 Euro fertigen können. Trotzdem ist das Verfahren derzeit noch nicht marktreif. Die größte Schwierigkeit: »Die DNA-Sonden binden noch nicht so verlässlich wie nötig am Chip. Daher sind die Ergebnisse der Analysen nicht eindeutig genug«, berichtet Haring Bolívar. Er ist aber zuversichtlich, dass er und seine MitarbeiterInnen dieses Problem innerhalb weniger Jahre lösen können. /



DNA wird in Pufferlösung auf den Biochip pipettiert. DNA is pipetted onto the biochip in buffer solution.

Foto / Photo HQE, Uni Siegen

DNA analyses help medical staff in many ways: For example, they identify genetic mutations in tumor cells so that doctors can prescribe personalized medications for cancer patients. University of Siegen researchers under Professor Dr. Peter Haring Bolívar are developing a biochip for particularly easy, fast, and effective analyses.

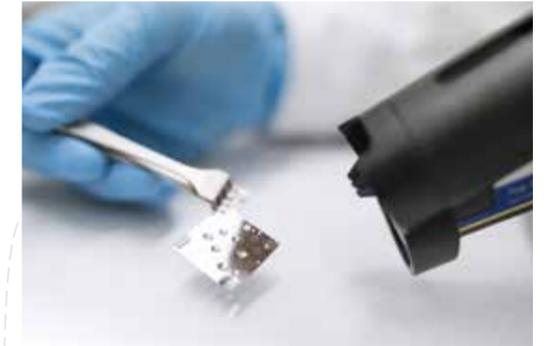
## At the beginning

of this millennium, scientists were still grappling with the terahertz gap. The problem was that numerous emitters and detectors were available for all areas of the electromagnetic spectrum – from radio waves to x-rays – except for terahertz rays. The terahertz region in the electromagnetic spectrum lies between infrared light and microwaves. »Even back then, we were working on the idea of utilizing terahertz radiation for the rapid analysis of DNA segments, for example to detect hereditary diseases or to determine the cancer risk of individuals,« says Haring Bolívar, the Chair of High Frequency and Quantum Electronics. The starting point was the knowledge that terahertz rays can generate characteristic oscillations and rotations in biologically significant molecules. This produces strong resonances that can be measured by a terahertz detector.

»But in the early 2000's, there were no terahertz systems on the market,« explains Haring Bolívar. That made it difficult to put the idea into practice. But today, the terahertz gap has been largely closed. Instruments are now available, e.g. for industrial quality assurance. And at airports, terahertz body scanners scan passengers for weapons or explosives. Unlike x-rays, terahertz rays are harmless to one's health, but penetrate materials such as textiles, paper, and plastics.

### The problem: not sensitive enough

Before they could reach their goal, the Siegen researchers had to solve a major problem. A typical terahertz oscillation has a length of 300 micrometers, which is the equivalent of 300,000 nanometers. But biomolecules or characteristic DNA segments are much smaller, with lengths of under 100 nanometers. Due to the laws of physics, it's normally only possible to detect relatively large quantities of biomolecules with terahertz radiation. »So originally the method



Der Biochip wird mit Stickstoff nach dem Aufbringen von DNA zur Vorbereitung der THz Messung getrocknet.

In preparation for the THz measurement, the biochip is dried with nitrogen after the DNA has been applied.

Foto / Photo HQE, Uni Siegen

wasn't sensitive enough,« says Dr. Anna Katharina Wigger, a scientific assistant of Haring Bolívar. This meant the process was not competitive.

One rival process attaches fluorescent dyes to individual strands of synthetic DNA. In the individual strands marked in this way, the information-carrying bases are arranged in ways that they form the counterparts e.g. to altered genes of tumor cells. If the marked DNA sections encounter a corresponding section in the genetic material of the tumor cells, then a double-strand forms which can be identified under special microscopes by the fluorescence of the dye. Therefore, the marked individual DNA strands act as probes which find the genetic material the analyst is searching for in the mix of countless molecules contained in a patient sample. »This method is established and also works with small sample sizes. But it takes a lot of time and lab staff who are well trained and work very conscientiously,« says Haring Bolívar.

The method from Siegen also uses individual DNA strands as probes, but it does so without fluorescent dyes, which require time-consuming work and make analysis more difficult. The reason why there is no need for dyes is that the terahertz resonances reveal the →



Der Biochip wird in das THz Messsystem eingebaut.  
The biochip is installed in the THz measurement system.

Foto/Photo HQE, Uni Siegen

form of the genetic material: either individual strands or – after bonding with the probe – double-strands. The method starts by anchoring a large number of different DNA probes onto a thin plate. This is the biochip. Then, extracts from tissue samples of a patient are applied to the biochip. If the samples contain counterparts of the probes, these bind to form double-strands. The chip is placed between a compact terahertz emitter and a terahertz detector, and the detector displays the resonances which are characteristic of the double-strand. This indicates the presence of the relevant genetic information in the sample.

#### 100,000,000-fold increase

During their research work, the scientists in Siegen were able to increase the sensitivity of the method by one hundred million times. Today, they build their 2.2 square-centimeter chips in layers of chromium, gold, chromium, and quartz to which they add over 500 circular structures with the aid of a standard method used in the computer industry. »These rings intensify the terahertz fields in precisely the right frequencies to measure the signal change induced by the biomolecules with high sensitivity«, explains Wigger. The researchers have secured a patent for these structures.

Now the terahertz method can compete with other procedures in terms of sensitivity. The biochip is designed as a single-use product, above all for reasons of liability. A commercial manufacturer would be able to produce them for around 12 euros each. However, the process is still not ready for the market. Here's how Haring Bolívar explains the biggest hurdle: »The DNA probes still don't bond to the chip as reliably as they should. That's why the analysis findings are not yet clear enough.« However, Haring Bolívar is confident he and his team will be able to solve this hitch in the next few years. /



Dr. Anna Wigger

# »Ein Speicher mit einzigartigen Fähigkeiten«

»Storage with unique capabilities« → Page 17



Um elektrische Energie zu speichern, braucht man leistungsfähige Batterien. Und wer mit dem Elektroauto unterwegs ist, wünscht sich Akkus, die Strom für viele Kilometer liefern und schnell wieder aufgeladen werden können. Doch heutige Lösungen lassen zu wünschen übrig.

Die Materialwissenschaftler Professor Dr. Xin Jiang, Leiter des Lehrstuhls für Oberflächen- und Werkstofftechnologie, und Dr. Nianjun Yang, Leiter der Gruppe Nanomaterialien, gehen deshalb in Sachen Energiespeicherung einen neuen Weg: Sie setzen auf Kohlenstoffverbindungen, wie etwa synthetischen Diamant als neuartiges Speichermedium, um einen batterie-ähnlichen Superkondensator zu entwickeln. Welche Vorteile vor allem Diamant hat, erzählen sie im Interview.

Industriell hergestellten Diamant kennt man bislang als Schmuck oder als extrem harte Beschichtung für Werkzeuge. Mit dem Energiesektor verbindet man diesen Werkstoff ja eher nicht.

**Prof. Dr. Xin Jiang** Das ist richtig. Überhaupt beschäftigen sich Materialforscher heute weniger mit Diamantstrukturen als früher. In den 1980er-Jahren hatte die Diamant-Forschung eine Hochphase. Es ging damals vor allem um die Entwicklung extrem harter Schichten und Hochtemperatur-Anwendungen, weil Diamant sehr widerstandsfähig ist. Das Interesse ebte dann aber ab. Mittlerweile beschäftigen sich wieder mehr Forschergruppen mit dem Thema – vor allem in Japan.

Inwiefern haben Sie zu diesem neu erwachenden Interesse beigetragen?

**Jiang** Wir haben neue Methoden entwickelt, die Diamant überhaupt erst zu einem effizienten Speichermedium machen. Will man Energie speichern, dann benötigt man ein Material, an dessen Oberfläche sich sehr schnell sehr viele Ladungsträger, Elektronen oder Ionen, ansammeln können. Dünne Diamantschichten aber bilden normalerweise sehr dichte und feste Oberflächen, die nur wenige Ladungsträger aufnehmen können.

Das klingt nicht gerade nach einem vielversprechenden Energiespeicher ...

**Dr. Nianjun Yang** Zunächst einmal nicht. Uns aber ist es gelungen, mit unseren Nanotechnologien Diamant-Nanostrukturen mit viel größeren Oberflächen herzustellen. So können Ladungen effizienter aufgenommen werden, was zu einer verbesserten Energiespeicherung führen dürfte.



Dr. Nianjun Yang forscht seit 2014 am Lehrstuhl für Oberflächen- und Werkstofftechnologie.

Dr. Nianjun Yang has been conducting energy research activities at the Chair for Surface and Materials Technology since 2014.

»Wir haben neue Methoden entwickelt, die Diamant überhaupt erst zu einem effizienten Speichermedium machen.«

Prof. Dr. Xin Jiang

Und wie sieht diese leistungsfähige Diamantstruktur aus?

**Yang** Man kann sie sich als eine Art festen Diamantschaum mit vielen kleinen Hohlräumen vorstellen. Dieser Schaum hat insgesamt eine sehr große Oberfläche, an die sich Ladungsträger ansammeln können. Diese Struktur, die wir hier in Siegen entwickelt haben, ist bislang einzigartig und hat international für Aufsehen gesorgt. Das renommierte Fachjournal Chemical Society Review hat uns zuletzt sogar eingeladen einen ausführlichen Gastbeitrag zum Thema Diamant zu schreiben.

Wie stellen Sie diesen Diamantschaum her?

**Yang** Wir nutzen dafür das etablierte Verfahren der Chemischen Gasphasenabscheidung: In einer Vakuumkammer reagieren verschiedene chemische Substanzen miteinander und lagern sich dann als zusammengesetzte Schicht ab. Die Kunst besteht darin, die Anlage so zu steuern, dass sich die Reaktionsprodukte so ablagern, dass exakt strukturierte Schichten mit den gewünschten Eigenschaften entstehen. In unserer Anlage lassen wir im ersten Schritt Schichten aus Diamant und Siliziumkarbid wachsen, das sich aus Silizium und Kohlenstoff zusammensetzt. Es ist uns gelungen, den Prozess so zu fahren, dass sich eine Schicht bildet, die nach dem Zufallsprinzip einzelne Diamant- und Siliziumkarbid-Abschnitte beinhaltet. Ist die Schicht fertig, ätzen wir das Siliziumkarbid mit einer speziellen Lösung aus dem Diamant heraus, sodass die vielen Hohlräume entstehen.

Damit scheinen Sie den idealen Energiespeicher gefunden zu haben ...

**Yang** Tatsächlich hat Diamant viele Vorteile: Er ist sehr stabil und arbeitet zuverlässig bei verschiedenen elektrischen Spannungen. Zudem leitet er sehr gut Wärme und überhitzt deshalb nicht. Außerdem vereint Diamant zwei Eigenschaften, die für Energiespeicher der Zukunft wichtig sind. Zum einen das extrem schnelle Laden und Entladen. Diese Eigenschaft haben heutzutage die sogenannten Super-



Bevor Prof. Dr. Xin Jiang 2003 nach Siegen kam, forschte er unter anderem an der TU Braunschweig, am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik und am Forschungszentrum Jülich.

Before Prof. Dr. Xin Jiang came to Siegen in 2003, he worked at institutions including the Technical University of Braunschweig, the Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films, and the Research Center of Jülich.

kondensatoren oder auch Supercaps. Dabei handelt es sich um Speicher, die in Sekundenschnelle Energie abgeben können. Mit Supercaps sind zum Beispiel die Notausgänge von Flugzeugen ausgerüstet. Sie stellen bei Betätigung eines Hebels genug Energie bereit, um die Türen zu öffnen. Das Problem besteht darin, dass Supercaps nur wenig Energie speichern können. Auf der anderen Seite stehen die Batterien und Akkumulatoren, die relativ viel Energie speichern können. Doch dauert das Laden oder Entladen noch immer relativ lange. Untersuchungen unserer Diamantbeschichtungen zeigen, dass diese die Vorteile beider Technologien miteinander verbinden: die Geschwindigkeit und das Speichervermögen. →

In dieser Reaktionskammer können die Forscher Diamant züchten. Die Kammer befindet sich in einem mikrowellenplasmagestützten Reaktor zur chemischen Gasphasenabscheidung.

The researchers grow diamond films in this microwave-plasma enhanced chemical vapor deposition reactor.

#### Ist Ihr Diamant schon bereit für den industriellen Einsatz als alternativer Stromspeicher?

**Jiang** Wir haben gezeigt, dass Diamant grundsätzlich als Hochleistungs-Speichermedium geeignet ist, um einen batterie-ähnlichen Superkondensator zu entwickeln. Zudem konnten wir ein wesentliches Problem lösen: Reine Diamantschichten sind zwar extrem hart, man kann sie aber nicht biegen oder verformen, weil Diamant spröde ist und bricht. Der Diamantschaum ist da schon etwas flexibler. Wir kamen auf die Idee, freistehende und flexible Diamant-Schichten und Nanostrukturen zu produzieren. Dadurch wird die Schicht so biegsam, dass man sie künftig in ganz verschiedenen Geometrien als Energiespeicher verbauen könnte.

#### Können Sie absehen, wann erste Stromspeicher aus Diamant zu kaufen sein werden?

**Jiang** Das hängt davon ab, wie schnell es gelingen wird, Diamant in der benötigten Größe und Menge und zu einem vertretbaren Preis herzustellen. Wo und wann Diamant zum Einsatz kommt, hängt auch vom Produkt und Markt ab. In billigen Konsumprodukten wird er sicher nicht so schnell zum Einsatz kommen. In jedem Falle aber hat Diamant einen wesentlichen Vorteil: Energiespeicher aus Diamant sind ausgesprochen umweltfreundlich. Sie bestehen aus reinem Kohlenstoff, der in großen Mengen verfügbar ist. Darüber hinaus lässt sich reiner Kohlenstoff leicht recyceln. /

To store electric power, you need powerful batteries. And drivers of electric cars want batteries with a long range that recharge quickly. But today's batteries still aren't hitting the mark with this.

This is why the materials scientist Professor Dr. Xin Jiang, the chair for Surface and Materials Technology, and Dr. Nianjun Yang, head of the Nanomaterials Group, are taking a different route for energy storage: They're banking on carbon compounds such as synthetic diamond. Using this novel storage medium, they aim to develop a battery-like supercapacitor. Read on for their explanation of the advantages of diamond.

»We've developed new methods that make diamond an efficient storage medium for the first time.«

Prof. Dr. Xin Jiang

Today, we're familiar with industrially produced diamond used in jewelry or as an extremely hard coating for tools. But we don't tend to associate it with the energy sector.

**Prof. Dr. Xin Jiang** That's right. In fact, less research is carried out on diamond structures today than in the past. Diamond research reached its peak in the 1980's. Back then, it was all about developing extremely hard coatings and high-temperature applications because diamond is very hard. But then interest waned. Now there's a revival of interest, particularly in research groups in Japan.

#### How have you helped boost this interest?

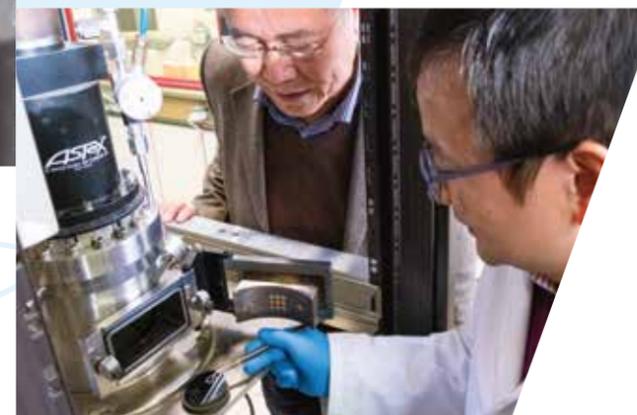
**Jiang** We've developed new methods that make diamond an efficient storage medium for the first time. If you want to store energy, you need a material with a surface on which a lot of charge carriers – electrons or ions – can accumulate very quickly. Normally, thin layers of diamond form very dense, solid surfaces that can only take small quantities of charge carriers.

#### That doesn't sound like a promising energy storage medium ...

**Dr. Nianjun Yang** No, not initially. But we applied our nanotechnologies to create diamond nanostructures with much larger surfaces. They can absorb charges more efficiently, which should lead to better energy storage.

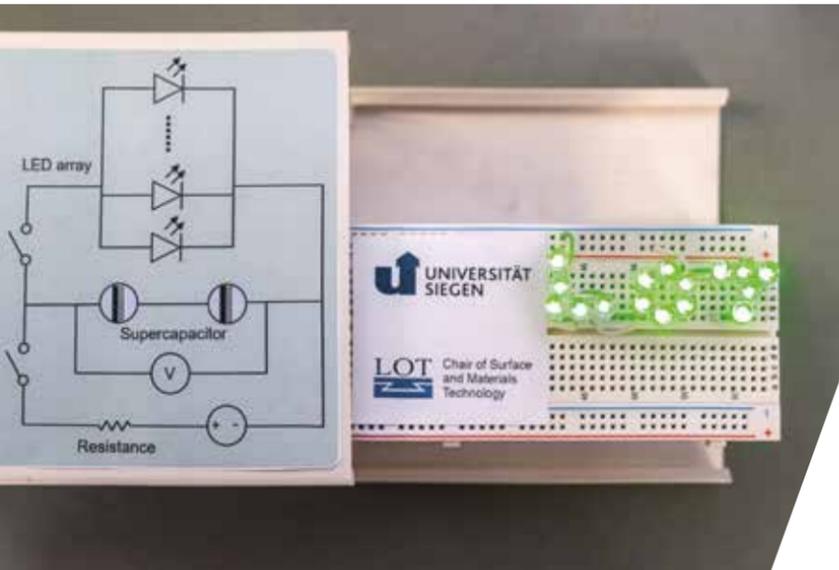
#### What does this high-performance diamond structure look like?

**Yang** Imagine a kind of rigid diamond foam with lots of tiny cavities. The foam has a very large overall surface area for charge carriers to accumulate on. The structure we developed here in Siegen is unique. It's caused an international stir. The renowned scientific journal *Chemical Society Review* has even asked us to write a major review article on the subject of diamond. →



Prof. Dr. Xin Jiang (links) und Dr. Nianjun Yang (rechts) verwenden den Reaktor und einen sogenannten Wafer, um Bauteile für einen Diamant-Superkondensator herzustellen.

Prof. Dr. Xin Jiang (left) and Dr. Nianjun Yang (right) use this reactor and a wafer to fabricate components for a diamond supercapacitor.



Der Demonstrator mit leuchtenden LED-Buchstaben (rechts) und der Schaltplan (links) zeigen, wie ein Diamant-Superkondensator funktionieren könnte.

The demonstrator with illuminated LEDs (right) and the electric circuit diagram (left) show how a diamond supercapacitor functions.

#### How do you produce the diamond foam?

**Yang** We use the already established chemical vapor deposition process. Here's how it works: In a vacuum chamber, various chemical substances are decomposed and are then deposited as a composite layer. The art is in controlling the process carefully to ensure the reaction products are deposited in precisely structured layers featuring the required properties. In our system, we start by growing layers of diamond and silicon carbide composed of silicon and carbon. We've succeeded in controlling the process so that a layer forms that contains randomly generated individual sections of diamond and silicon carbide. Once this layer is complete, we apply a special solution to etch the silicon carbide out of the diamond, which creates the cavities.

#### It looks like you've found the ideal energy storage solution ...

**Yang** Diamond really does have a lot of advantages: It's very stable and works reliably at various electrical voltages. Moreover, it's a very good heat conductor, so it doesn't get hot. Actually, diamond combines two properties that are important for energy storage systems of the future. First, extremely fast charging and discharging. Today's supercapacitors or »supercaps« already have this characteristic. They can store energy and release it in a matter of seconds. One typical use is in aircraft emergency exits. At the switch of a lever, they supply enough power to open the doors. The problem is that supercaps can only store a small amount of energy. On the other hand, we have batteries that can store relatively large amounts of energy.

The problem with them is much longer charging and discharging times. Tests on our diamond layers show that they combine the advantages of both technologies: speed and storage capacity.

#### Is your diamond material ready for industrial application as an alternative electricity storage solution?

**Jiang** We've shown that diamond is fundamentally suitable as a high-performance storage medium for developing a battery-like supercapacitor. Moreover, we've solved a major problem: Pure diamond layers are extremely hard, but they can't be bent or formed because diamond is brittle and breaks. But diamond foam is a bit more flexible. We hit on the idea of producing freestanding and flexible diamond layers and nanostructures. This makes the layer flexible enough to be installed in various geometries as an energy storage medium.

#### When do you think the first diamond electricity storage solutions will be on the market?

**Jiang** That depends on how long it takes before we can produce diamond in the required size and quantity at an affordable cost. Where and when diamond is used also depends on the product and the market. Obviously, it won't be integrated as quickly in cheap consumer products. But beyond anything else, diamond has a major advantage: Energy storage systems that use diamond are exceptionally eco-friendly. They consist of pure carbon which is available in abundance. What's more, pure carbon is easily recyclable. /

# Nanopartikel

## unter der Lupe

Autor / Author Tim Schröder



## Spotlight on nanoparticles

→ Page 25

Nanopartikel werden heute in Funktionskleidung, Sonnencremes und vielen anderen Produkten eingesetzt – und gelangen so auch in die Natur. Im internationalen Verbundprojekt FENOMENO haben BiologInnen und ChemikerInnen jetzt herausgefunden, dass Nanopartikel auch in geringen Konzentrationen Wasserorganismen beeinflussen können. Für diese Ergebnisse musste das Team ganz nebenbei über die bisherigen Grenzen der chemischen Analytik hinausgehen.

## Vor rund zehn Jahren

war der Begriff »nano« eines der großen Modeworte. Von Nanotechnologie war die Rede, von Nanotubes oder von Oberflächen mit schmutzabweisenden Beschichtungen. Dann aber folgte die Ernüchterung: Nanopartikel könnten eine Gefahr für die Gesundheit sein, hieß es, weil sie wegen ihrer geringen Größe – milliardstel Meter – in den Körper eindringen können. Es folgten etliche wissenschaftliche Studien, in denen man untersuchte, auf welche Weise oder in welchen Konzentrationen Nanopartikel Schaden anrichten könnten. Die Biologin Prof. Dr. Klaudia Witte hat viele dieser Studien gelesen – und dabei eines festgestellt: »In vielen Arbeiten wurden Tiere in Experimenten hohen Nanopartikel-Konzentrationen ausgesetzt, die in der Natur gar nicht vorkommen. Das hilft uns nicht weiter, wenn wir die Wirkung von Nanopartikeln in der Umwelt richtig einschätzen wollen.«

Im internationalen Verbundprojekt FENOMENO sind WissenschaftlerInnen der Universität Siegen und des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME zusammen mit KollegInnen aus Portugal und Österreich einen anderen Weg gegangen: Sie haben erstmals untersucht, wie Nanopartikel bei so geringen Konzentrationen wirken, wie man sie tatsächlich in der Umwelt findet. In dem Projekt hat das Team die Wirkung von zwei weit verbreiteten Nanopartikel-Typen untersucht – von Silberpartikeln und Titandioxidpartikeln. Silberpartikel wirken antibakteriell und werden heute in Wundverbänden oder auch für die Beschichtung von Kühlschränken verwendet. Titandioxid ist ein Weißmacherpigment, das Wandanstrichen beigemischt wird. Da es UV-Licht reflektiert, setzt man es auch modernen Sonnenschutzlotionen zu. Mit dem Dusch- oder Waschwasser landen diese Partikel schließlich in der Kläranlage. Viele Partikel verbleiben im Klärschlamm. Ein Teil aber gelangt mit dem gereinigten Abwasser in Flüsse, Seen und ins Meer.

### Was passiert, wenn Nanopartikel eine Kläranlage durchlaufen?

Das FENOMENO-Team wollte deshalb herausfinden, wie sich die Partikel in der Kläranlage verändern und ob sie nach dem Klärprozess anders auf Wasserorganismen wirken als die ursprünglichen Silber- und Titandioxidpartikel aus den Produkten. Der Aufwand war enorm: Während die Gruppe von Klaudia Witte die Wirkung der Nanopartikel auf Wasserorganismen untersuchte, hatten die Teams der Siegener Chemiker Prof. Dr. Holger Schönherr und Prof. Dr. Carsten Engelhard die Aufgabe, die Nanopartikel in den extrem geringen Konzentrationen im Wasser und in den Lebewesen überhaupt erst einmal nachzuweisen. →



Im Projekt FENOMENO haben Prof. Dr. Klaudia Witte und Dr. Sarah Hartmann erstmals untersucht, wie Nanopartikel bei so geringen Konzentrationen wirken, wie man sie tatsächlich in der Umwelt findet.

In the FENOMENO project, Prof. Dr. Klaudia Witte and Dr. Sarah Hartmann examined the effects of nanoparticles in environmentally relevant low concentrations for the first time.



Dr. Sarah Hartmann sammelt Wasserflöhe (Daphnien) mit einem kleinen Netz aus dem Hälterungsgefäß ab, um sie in die Testküvette zu überführen.

Dr. Sarah Hartmann uses a net to remove Daphnia out of the tank so that she can transfer them into the test vessel.



Die Wasserflöhe schwimmen in einer Testküvette (100 ml) in der Testlösung.

Daphnia swimming in the test medium in a test vessel (100 ml).



Die Infrarot-Kamera filmt die Daphnien in der Küvette von oben.

The infrared camera records the Daphnia in the test vessel from above.



»Die unveränderten Silberpartikel scheinen die wirklich Bösen zu sein«, fasst Prof. Dr. Claudia Witte ein Ergebnis der Studie zusammen.

»The pristine silver nanoparticles appear to be the real bad guys,« says Dr. Claudia Witte, summing up one finding of the study.

Die Zebraabälblinge  
Danio rerio  
Zebrafish,  
or Danio rerio



Fischhaltung im Labor  
Fish tank in the laboratory

Für ihre verhaltensbiologischen Untersuchungen wählte das Team um Witte zwei klassische Labororganismen: Wasserflöhe und kleine Zebrafische, die in einem Aquarien-Raum an der Universität Siegen gehalten werden. Zusammen mit ihrer Mitarbeiterin Sarah Hartmann setzte Claudia Witte die Tiere in Behälter mit verschiedenen Partikel-Konzentrationen – zum einen mit ursprünglichen, unveränderten Nanopartikeln und zum anderen mit solchen Nanopartikeln, die bereits eine Kläranlage durchlaufen hatten. Besonders interessant ist die Arbeit, weil die beiden Biologinnen viele verschiedene Aspekte untersucht haben – etwa die Vermehrung der Wasserflöhe. »Viele Studien enden bereits, wenn die erste Tochtergeneration geboren wird«, sagt Sarah Hartmann, die inzwischen ihre Doktorarbeit abgeschlossen hat. »Wir haben das Experiment über sechs Generationen laufen lassen, um festzustellen, ob es eine Langzeitwirkung gibt.« Die gibt es tatsächlich – und zwar bei den unveränderten, reinen Silberpartikeln. Sie führten dazu, dass die Zahl der Nachkommen in jeder Generation sank. Ein Ergebnis, das bei den Titan-dioxidpartikeln interessanterweise nicht auftrat. Und selbst Silberpartikel, die die Kläranlage durchwandert hatten, zeigten keine signifikante Wirkung auf den Reproduktionserfolg der Wasserflöhe. Holger Schönherr hat dafür eine einfache Erklärung: »In der Kläranlage reagieren die Silberpartikel mit anderen Substanzen, vor allem mit Schwefel zu Silbersulfid. Damit sind die Partikel schwer löslich und biologisch nicht mehr so aktiv, wenn sie die Kläranlage verlassen.«

»Die Ergebnisse geben erste Hinweise darauf, dass manche Nanopartikel auch bei geringen Konzentrationen auf Wasserorganismen wirken.«

Erstmals haben Claudia Witte und ihr Team auch untersucht, ob sich die Feindabwehr bei den Wasserflöhen verändert. Diese ist ausgesprochen interessant: Nehmen Wasserflöhe die Witterung eines Fisches auf, dann bilden sie auf ihrem Panzer große Stachel. Diese sollen verhindern, dass die Wasserflöhe allzu leicht geschluckt werden. Sarah Hartmann stellte fest, dass die reinen und unveränderten Silberpartikel hier eine fatale Wirkung entfalten: Nehmen ausgewachsene Wasserflöhe die Witterung eines Fisches auf, bilden sie

sehr wohl Stachel. Ihr Nachwuchs hingegen bildet keinen Abwehrmechanismus mehr und wird damit zur leichten Beute. Warum das so ist, können die ForscherInnen bislang nicht sagen.

Interessanterweise hatten Titandioxidpartikel keine solche Wirkung – hier konnte auch der Nachwuchs Stachel bilden. »Die unveränderten Silberpartikel scheinen die wirklich Bösen zu sein«, resümiert Claudia Witte. Das zeigte ein weiteres Experiment, bei dem die Zebrafische, die sich in den Gefäßen mit unveränderten Silberpartikeln befanden, eine höhere Schwimmaktivität zeigten als Fische in der Kontrolle.

»All diese Ergebnisse geben erste Hinweise darauf, dass manche Nanopartikel auch bei geringen Konzentrationen auf Wasserorganismen wirken«, sagt Claudia Witte. »Wie andere Nanopartikel wirken, wissen wir aber noch nicht.« Dennoch hofft sie, dass die Ergebnisse dazu beitragen, Umwelttests für Nanopartikel zu entwickeln, mit denen sich die Belastung von Gewässern messen lässt. →

### Erst durch optimierte Geräte waren Ergebnisse messbar

Das wäre gut, denn der Nachweis einzelner Nanopartikel in der Umwelt ist ungeheuer aufwändig. Das zeigt die Arbeit des Teams von Carsten Engelhard, einem Experten für Analytische Chemie. Eine seiner Spezialitäten ist es, handelsübliche Messgeräte weiterzuentwickeln, um sie zu optimieren. In Kooperation mit der Universität Innsbruck hat er mit den Mitarbeiterinnen Darya Mozhayeva und Annika Schardt in FENOMENO unter anderem Wasser aus dem Mondsee bei Salzburg analysiert. In den See mündet das Abwasserrohr einer Kläranlage. Durch die Analyse des Abwassers und des Klärschlammes stellte er fest, dass die Kläranlage rund 95 Prozent der Silberpartikel zurückhält – ein beruhigendes Ergebnis. So waren im Wasser des Mondsees nur wenige silberhaltige Partikel enthalten. Nur im Sediment am Auslass der Kläranlage fanden sich leicht erhöhte Mengen. »Abschließend können wir sagen, dass Silberpartikel, die in einer Kläranlage chemisch modifiziert werden und als schwer lösliche Verbindung im Klärschlamm landen, wohl unproblematisch sind. Problematisch sind hingegen offenbar reine Silberpartikel, die ungefiltert in die Umwelt gelangen«, sagt Carsten Engelhard.

Für ihn bestand die Herausforderung darin, mit seiner Analyse-Apparatur extrem genau zu messen, um trotz der enormen Verdünnung im Mondseewasser einzelne Partikel nachzuweisen. Dazu mussten seine Mitarbeiterinnen zunächst die Soft- und Hardware des Messgeräts optimieren – eines speziellen Massenspektrometers. Element-Massenspektrometer erkennen, ob in einer Probe bestimmte Elemente des Periodensystems enthalten sind. Dazu wird die Probe in einem Plasma verdampft und anschließend gemessen, welche Ionen das Plasma enthält. »Unser Ziel war allerdings, mit dem Gerät einzelne Nanopartikel nachzuweisen und zu zählen«, sagt Carsten Engelhard. »Wir mussten das Gerät dazu bringen, schneller zu messen.« Dank der neuen Soft- und Hardware, die im Fünf-Mikrosekunden-Takt misst, ist es jetzt möglich, in einer Flüssigkeit, die in das Spektrometer eingebracht wird, Nanopartikel genau zu analysieren. Damit hat FENOMENO neue Möglichkeiten für den künftigen Nachweis von Nanopartikeln in der Umwelt eröffnet. /

Am Verbundprojekt FENOMENO waren neben den ExpertInnen der Universität Siegen ForscherInnen des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME, der Universität Innsbruck und der portugiesischen Universität Aveiro beteiligt:

[www.fenomeno-nano.de](http://www.fenomeno-nano.de)

# 95 %

## der Silberpartikel wurden von der Kläranlage zurückgehalten.

## of silver nanoparticles are captured by the sewage treatment plant.

Das ergaben Tests von Prof. Dr. Engelhard.  
This was the finding of tests by Prof. Dr. Engelhard.



Today, nanoparticles are used in functional clothing, sun creams and many other products – from which they leak into the aquatic environment. In the international joint project FENOMENO, biologists and chemists have discovered that, even at low concentrations, nanoparticles can affect aquatic organisms. To reach these findings, the team went beyond the previous limits of chemical analytics.

Around ten years ago, »nano« was one of the great new buzzwords. Everybody was talking about nanotechnology, nanotubes, or surfaces with dirt-repellent coatings. But then the downside became clear: Nanoparticles can be harmful to people's health because they can enter the body due to their small size of just billionths of a meter. This triggered a number of scientific studies that examined how or in what concentrations nanoparticles can cause harm. The biologist Prof. Dr. Klaudia Witte has read many of these studies and concludes that: »In a lot of studies, animals were exposed to high nanoparticle concentrations that just don't occur in nature. That doesn't help us to accurately assess the environmental effect of nanoparticles.«

In the international joint project FENOMENO, scientists from the University of Siegen and the Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology, IME, together with partners from Portugal and Austria, have taken a different approach. They are the first to have studied the effect of nanoparticles in environmentally relevant low concentrations. The team has examined the effect of two widespread types of nanoparticles – silver and titanium dioxide particles. Silver nanoparticles have an antibacterial effect and are used in wound dressings or refrigerator coatings. Titanium dioxide is a whitening pigment added to wall paints. Because it reflects UV light, it is also used in modern sunscreen lotions. Flushed away in wastewater from showering or washing, these particles are transported to sewage treatment plants. Large quantities get trapped in the sewage sludge. But some of the particles remain in the purified wastewater and are transported with it into rivers, lakes, and oceans.

### What happens when nanoparticles go through a sewage treatment plant?

The FENOMENO team wanted to find out how the particles change in the sewage treatment plant and whether they affect aquatic organisms differently compared to the original silver and titanium dioxide particles contained in products. A vast amount of effort went into this work. While



Experte für Analytische Chemie:  
Prof. Dr. Carsten Engelhard  
Expert in analytical chemistry:  
Prof. Dr. Carsten Engelhard

Klaudia Witte's group studied the effects of nanoparticles on aquatic organisms, while the teams of the chemists Prof. Dr. Holger Schönherr and Prof. Dr. Carsten Engelhard from the University of Siegen worked on the fundamental problem of how to detect nanoparticles in extremely small concentrations in water and organisms.

Witte's team chose two established laboratory organisms for their behavioral biology studies: Daphnia (water fleas) and small zebrafish kept in different rooms at the University of Siegen. Working together with her colleague Dr. Sarah Hartmann, Klaudia Witte placed the animals into tanks with different particle concentrations – consisting firstly of original, unaltered nanoparticles and secondly of nanoparticles from sewage treatment plants. This work is particularly pertinent because the two biologists examined several different aspects, for example the reproduction of Daphnia. »Many studies end when the first filial generation is born,« says Sarah Hartmann, who has meanwhile finished her doctoral thesis. »We conducted our experiment over six generations to determine whether there is any long-term effect.« →

### Findings only measurable with optimized instruments

This would be a great help because detecting individual nanoparticles in the environment is incredibly complex and expensive. This is illustrated by the work of the team led by Carsten Engelhard, an expert in analytical chemistry. One of his specialties is further developing and optimizing commercial analytical instrumentation. In cooperation with the University of Innsbruck, Austria, and together with Darya Mozhayeva and Annika Schardt in the FENOMENO project, he analyzed water from Lake Mondsee near Salzburg. A wastewater pipe from a sewage treatment plant discharges into the lake. By analyzing the wastewater and the sewage sludge, he found that the sewage treatment plant captures some 95 percent of the silver particles, a reassuring result. Therefore, the water in the lake contained only a small quantity of silver particles. Slightly higher quantities were only found in the sediment at the sewage treatment plant outlet. »We can conclude that silver particles that are chemically altered in a sewage treatment plant and end up as low-solubility compounds in the sewage sludge are likely not a problem. However, problematic appear to be the pure silver particles that are released unfiltered into the environment,« says Carsten Engelhard.

The challenge for him was to make extremely precise measurements with his analysis equipment to be able to detect individual particles at the enormous level of dilution in Lake Mondsee. To make this possible, his team had to optimize both the software and the hardware of the measurement instrument, a special mass spectrometer. Element mass spectrometers recognize whether a sample contains certain elements from the periodic table. First, the sample is vaporized and ionized in a plasma, then the instrument measures what ions are contained in the plasma. »However, we wanted to detect and count individual nanoparticles,« says Carsten Engelhard. »We had to make the instrument measure faster.« The new software and hardware measures in five-microsecond cycles. This makes it possible to precisely analyze nanoparticles in a fluid introduced into the spectrometer. FENOMENO has thus opened up new possibilities for the future detection of nanoparticles in the environment. /

Participants in the joint project FENOMENO include not only experts from the University of Siegen, but also researchers from the Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology, IME, the University of Innsbruck, Austria, and the University of Aveiro, Portugal:

[www.fenomeno-nano.de](http://www.fenomeno-nano.de)

They found that there is – from the unaltered, pure silver particles. The number of offspring decreased in each generation. Interestingly, the titanium dioxide particles did not produce this effect. And even silver particles that had gone through the sewage treatment plant had no significant effect on Daphnia reproduction rates. Holger Schönherr has a simple explanation for this: »In the sewage treatment plant, the silver particles react with other substances, above all sulfur, to create silver sulfide. Therefore, the particles leave the sewage treatment plant with a low solubility and are less biologically active.«

»Our findings provide initial evidence that some nanoparticles affect aquatic organisms even in low concentrations.«

Klaudia Witte and her team also studied for the first time whether there is any change to the Daphnia's anti-predator response. This is extremely important: If Daphnia sense the presence of a fish, they form large spikes on their bodies after the next moult. These are designed to make the Daphnia harder to swallow. Sarah Hartmann found that the pure, unaltered silver nanoparticles have a huge effect. When adult Daphnia sense the presence of a fish, they still form spikes. However, their offspring develop no defense mechanism, making them easy prey. At present, the researchers have no explanation for this effect.

Interestingly, titanium dioxide nanoparticles had no such impact, with offspring still capable of forming spikes. »The unaltered silver nanoparticles appear to be the real bad guys,« concludes Klaudia Witte. This was confirmed by a different experiment. Zebrafish in the tanks with unaltered silver nanoparticles displayed greater swimming activity than fish in the control group.

»All these findings provide initial evidence that some nanoparticles affect aquatic organisms even in low concentrations,« says Klaudia Witte. »But we still don't know the effects of other nanoparticles.« She hopes the findings will contribute to the development of tests for nanoparticles that will be able to measure their concentration in waters in the natural environment.

# Viel mehr als nur ein Stück Metall

Autorin / Author Tanja Hoffmann

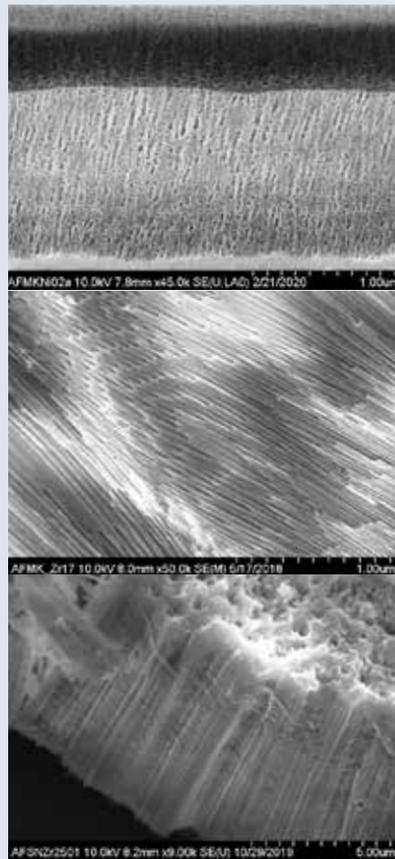
## Much more than just a piece of metal

→ Page 31



## Wie kann aus einem einfachen Stück Metall ein neuartiges Material mit komplexen Eigenschaften und Funktionen werden?

Das erforscht Professorin Dr. Manuela Killian zusammen mit ihrem Team im Bereich der »Chemie und Struktur neuer Materialien«. Das Anwendungspotenzial ist enorm.



[oben] Seitenansicht eines NiO-Nanoschwamms (Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme); [mittig u. unten] ZrO<sub>2</sub>-Nanoröhren von der Seite (Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme)  
[above] Side view of a NiO-nanosponge (scanning electron microscope image); [center and below] Side view of a ZrO<sub>2</sub>-nanotube (scanning electron microscope image)

### Schön geordnete

Strukturen haben Prof. Dr. Manuela Killian schon immer fasziniert. Seit vielen Jahren beschäftigt sich die 36 Jahre alte Werkstoffwissenschaftlerin und Chemikerin mit Mustern und Anordnungen auf Metall-Oberflächen: so genannten Nanostrukturen. Diese sind so klein, dass man sie weder mit bloßem Auge, noch mit einem Lichtmikroskop sehen kann – sondern nur mit speziellen Elektronen- oder Rastersondenmikroskopen. Doch trotz ihrer sehr geringen Größe steckt in den Nanostrukturen ein enormes Potenzial. WissenschaftlerInnen wie Manuela Killian arbeiten daran, die Gebilde gezielt auf der Oberfläche von Metallen zu erzeugen. Durch chemische Prozesse lassen sich anschließend bestimmte, funktionelle Moleküle daran anheften. Der Clou: Sie verleihen der Oberfläche ganz neue Eigenschaften und Funktionalitäten.

Auf diese Art und Weise lassen sich zum Beispiel medizinische Implantate wie Knochenschrauben oder künstliche Zahnwurzeln deutlich verbessern. Häufig bestehen sie aus Titan oder Zirkon. Versieht man ihre Oberflächen mit Nanostrukturen, können die körpereigenen Zellen besser an das Implantat anwachsen. Und das ist noch nicht alles, sagt Manuela Killian: »Indem wir bestimmte Moleküle gezielt aufbringen, können wir die Nanostrukturen noch weiter funktionalisieren. Beispielsweise könnten entzündungshemmende Medikamente direkt aus der Implantat-Oberfläche freigegeben werden. Sie würden dann gleich an Ort und Stelle wirken, da, wo sie im Körper gebraucht werden.« Die Funktionalisierung von Nanostrukturen mit den unterschiedlichsten Molekülen ist einer der Forschungsschwerpunkte von Manuela Killian, die seit März 2020 an der Universität Siegen die Professur für Chemie und Struktur neuer Materialien innehat. Im Chemie-Labor forscht sie außerdem an der Entwicklung weiterer, neuer Nanostrukturen.

### Nano-Röhrchen, -Poren oder -Schwämme: Viele Strukturen sind möglich

Das Verfahren, mit dem Nanostrukturen hergestellt werden, heißt »anodische Oxidation«. Dazu wird ein Metall zunächst in ein Bad mit Elektrolyten eingetaucht, anschließend wird Strom angelegt. Auf diese Weise lassen sich die unterschiedlichsten Strukturen erzeugen: von winzigen Röhrchen, über Poren bis hin zu schwammartigen Strukturen oder Dünnschichten. »Was am Ende herauskommt, hängt von verschiedenen Parametern ab – dem verwendeten Ausgangsmaterial, der Stromstärke, der Temperatur und den Elektrolyten«, erklärt Killian.

Bei den Nanostrukturen handelt es sich um Metalloxide, die – je nachdem, welches Metall verwendet wurde – an sich schon bestimmte chemische Eigenschaften haben. Zum Beispiel können Titandioxid, Wolfram-Oxid oder Nickel-Oxid Sonnenlicht in Energie umwandeln, was für die Entwicklung von Solarzellen nützlich ist. Andere Oxid-Strukturen können Metalloberflächen mit einer Schutzschicht versehen, die unter anderem Korrosionsprozesse verhindert oder stark verlangsamt. Jeder kennt das von den verchromten Armaturen zu Hause im Badezimmer: obwohl ständig Luft und Wasser ausgesetzt, bleiben sie jahrelang glänzend. »Manchmal sind die Effekte allerdings nicht so stark ausgeprägt, wie wir sie gerne hätten. Oder wir wünschen uns für ein Material noch weitere, zusätzliche Eigenschaften. An diesem Punkt kommen dann die funktionellen Moleküle ins Spiel«, sagt Killian.

Ist die Oberfläche eines Metalls mit einer Nanostruktur besetzt, verfügt sie über viel mehr potenzielle Anknüpfungspunkte für Moleküle als eine glatte Oberfläche. WissenschaftlerInnen wie Manuela Killian machen sich das zunutze, um Moleküle an kontrollierten Positionen innerhalb der Oxidnanostrukturen zu verankern – und so die finalen Eigenschaften des jeweiligen Metalls oder Werkstoffs zu kontrollieren. »In der Praxis ist das relativ simpel. Ich nehme meine Oberfläche mit der Nanostruktur, lege sie in eine Lösung des Moleküls, warte, nehme die Oberfläche wieder heraus und wasche sie ab«, beschreibt Killian den Arbeitsprozess im Labor. Läuft alles nach Plan, ist das Ergebnis eine chemisch gebundene Mono-Lage der Moleküle auf der verwendeten Oberfläche. »Das Schöne ist: Je nachdem, welches Oxid und welches Molekül ich verwende, kann ich ganz verschiedene Effekte erreichen, die für die unterschiedlichsten Anwendungen nützlich sind.«



Prof. Dr. Manuela Killian

Foto/Photo privat

### Eine Oberfläche, mehrere Funktionalitäten

Die Funktionalisierung der Nanostrukturen zielt so einzusetzen, dass quasi maßgeschneiderte chemische Oberflächen für unterschiedliche Anwendungen entstehen, ist ein wesentliches Ziel von Manuela Killian. Dabei lassen sich auch komplexere Anforderungen erfüllen, sagt die Professorin. Es sei zum Beispiel möglich, innerhalb einer einzelnen Nanoröhre oder -pore verschiedene Moleküle anzubringen, die dann auch jeweils andere Zwecke erfüllen: »Denken Sie noch einmal an die medizinischen Implantate: Hier könnten wir oben auf der Nanostruktur ein Molekül anbringen, das dem Körper signalisiert, dass es sich nicht um einen Fremdstoff handelt – beispielsweise ein körpereigenes Protein. Etwas tiefer in der Pore oder Röhre könnte ein Entzündungshemmer verankert werden. Und noch tiefer unten ein Molekül, das die Zellanhaftung stimuliert.«

Eine andere Technik, um eine Oberfläche gleich mit mehreren Funktionalitäten auszustatten, ist die »selektive Funktionalisierung«. Dabei werden Materialien, die aus verschiedenen Oxiden zusammengesetzt sind – sogenannte »Komposit-Materialien« – in eine Lösung aus mehreren Molekülen gelegt. »Unser Ziel ist, dass Molekül »A« nur an Oxid »A« anhaftet – und Molekül »B« nur an Oxid »B«. Wir hätten dann Oberflächen, auf denen sich unterschiedliche Oxide mit jeweils unterschiedlichen funktionellen →



Elektrochemische Anodisation  
am Potentiostat  
Electrochemical anodization  
with a potentiostat

Molekülen befinden – und das Ganze in Nanogröße«, erklärt Killian, die in der Methode ein großes Potenzial für die Herstellung neuartiger Materialien sieht. Zum Einsatz kommen könnten diese zukünftig unter anderem in der Sensorik.

#### Noch fehlt der sichere Nachweis

In den kommenden Jahren möchten Killian und ihr Team solche Techniken weiterentwickeln. Sie arbeiten darüber hinaus an einem Nachweis, wo genau die Moleküle in den Nanostrukturen sitzen. »Das ist ganz wichtig, denn nur so können wir sicher sein, dass am Ende auch wirklich das herauskommt, was wir uns vorgestellt haben«, sagt Killian, die für diesen Teil ihrer Forschung vom Laborarbeitsplatz an hochsensible Messgeräte wechselt: »Unser Ansatz ist, das zu untersuchende Material mit einem flachen Schnitt zu versehen – und dann mithilfe eines Ionenstrahls und eines Massenspektrometers ein chemisches Bild der Tiefenstruktur aufzunehmen. Darauf können wir dann erkennen, wo genau innerhalb der Struktur Moleküle verankert sind – und wo nicht.«

Was Manuela Killian an ihrer Forschungsarbeit reizt, ist der starke Anwendungsbezug. Gleichzeitig möchte sie genau wissen, was auf der Oberfläche passiert: »Wie aus einem Stück Metall eine komplexe, funktionalisierte Oberfläche wird – und das mit ganz viel Kontrolle – das fasziniert mich am meisten.« /

Ein Stück Metall vor und nach der  
anodischen Oxidation unter unterschiedlichen  
Bedingungen  
A metal sheet before and after anodization  
under different conditions



Anodisation in einer  
elektrochemischen Zelle  
Anodization within  
an electrochemical cell



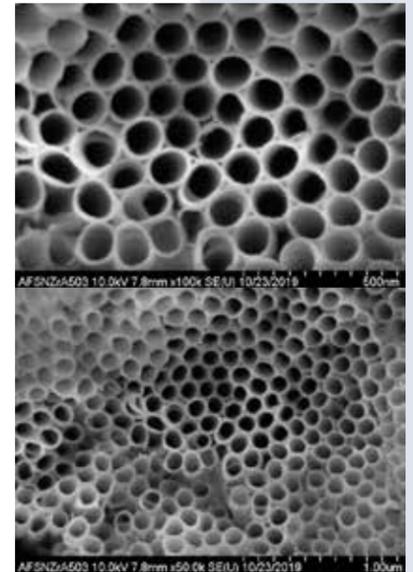
## How do you transform a simple piece of metal into a novel material with complex characteristics and functions?

Professor Dr. Manuela Killian and her team are dedicated to answering this question in the field of »chemistry and structures of novel materials«. The potential for applications is vast.

### Prof. Dr. Manuela Killian

has always had a fascination for elegantly ordered structures. For many years, the 36-year-old materials scientist and chemist has been working on patterns and structures on metal surfaces, otherwise known as nanostructures. These are so small that they are not visible to the naked eye or even with an optical microscope. To see them, you need special electron or scanning probe microscopes. And yet, despite their tiny size, nanostructures have vast potential. Scientists like Manuela Killian are working on creating these structures on the surface of metals. Her objective is to anchor certain functional molecules to the structures via chemical processes. Thus, the surface will receive entirely new properties and functionalities.

For example, medical implants such as bone screws or artificial tooth roots could be significantly improved. They are often made of titanium or zirconium. If nanostructures are added to the surfaces of implants, the body's own cells will adhere more efficiently to them. And, as Manuela Killian points out, that's not all: »By applying certain molecules in a directed way, we can produce the nanostructures with even more functionalities. For example, anti-inflammatory drugs could be released directly from the implant surface. Consequently, they will be available at exactly the site in the body where they are needed.« Applying functionalities to nanostructures using all kinds of molecules is one of the research focuses of Manuela Killian. Since March 2020, she has held the chair of Chemistry and Structure of Novel Materials at the University of Siegen. Her further research in the lab centers around developing even more new nanostructures.



Oberfläche von ZrO<sub>2</sub>-Nanoröhren  
(Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme)  
Surface of a ZrO<sub>2</sub>-nanotube (scanning  
electron microscope image)

#### Nanotubes, nanopores, and nanosponge: A wide range of structures is possible

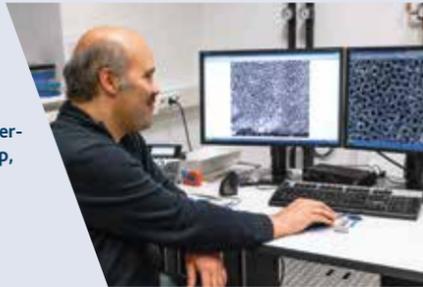
The term for the process of producing nanostructures is anodic oxidation. First, a metal is immersed in a bath with an electrolyte, then electric bias is applied. This method can be used to create a wide range of structures, from tiny tubes to pores to sponge-like structures or thin films. »The end result depends on various parameters: the starting material, the current strength, the temperature, and the electrolyte,« Killian explains.

The nanostructures are metal oxides which already come with specific chemical properties depending on the metal used. For example, titanium dioxide, tungsten oxide, or nickel oxide can convert sunlight into energy, which is useful for the development of solar cells. Other oxide structures can cover metal surfaces with a protective coating that prevents or significantly slows down corrosion, among other things. Everybody is familiar with this effect from chromium-plated bathroom fittings in their homes. Even though they are constantly exposed to air and water, faucets and the like stay shiny and clean over many years. »However, sometimes the effects are not as powerful as we'd like. Or we want a material to have additional properties. This is where functional molecules come in,« says Killian. →

Nanostrukturen auf dem Weg ins Rasterelektronenmikroskop  
 Nanostructures on their way into the SEM



Nanoröhren im Rasterelektronenmikroskop, untersucht von Dr. Christian Pritzel  
 Nanotubes observed in the SEM by Dr. Christian Pritzel



If a nanostructure covers a metal surface, it offers many more potential binding points for molecules than a smooth surface. Scientists such as Manuela Killian make use of this property to anchor molecules in targeted positions within the oxide nanostructures. This is how they control the final properties of the metal or material treated. Here's how Killian describes the work process in the lab: »In practice, it's fairly simple. I take my surface with the nanostructure, place it in a solution of the molecule and wait. Then I take it out again and wash it.« If everything goes according to plan, the result is a chemically bound monolayer of the molecules on the material surface. »One great aspect is, depending on which oxide and which molecule I use, I can achieve a variety of effects that are useful for all kinds of applications.«

#### One surface, several functionalities

Using functional nanostructures to create virtually tailor-made chemical surfaces for various applications is one of Manuela Killian's main objectives. These surfaces can meet even more complex requirements, says the professor. For example, she reports that it is possible to introduce various molecules which each fulfill different purposes into a single nanotube or pore. »Just think about medical implants. We could attach a molecule to the nanostructure's surface

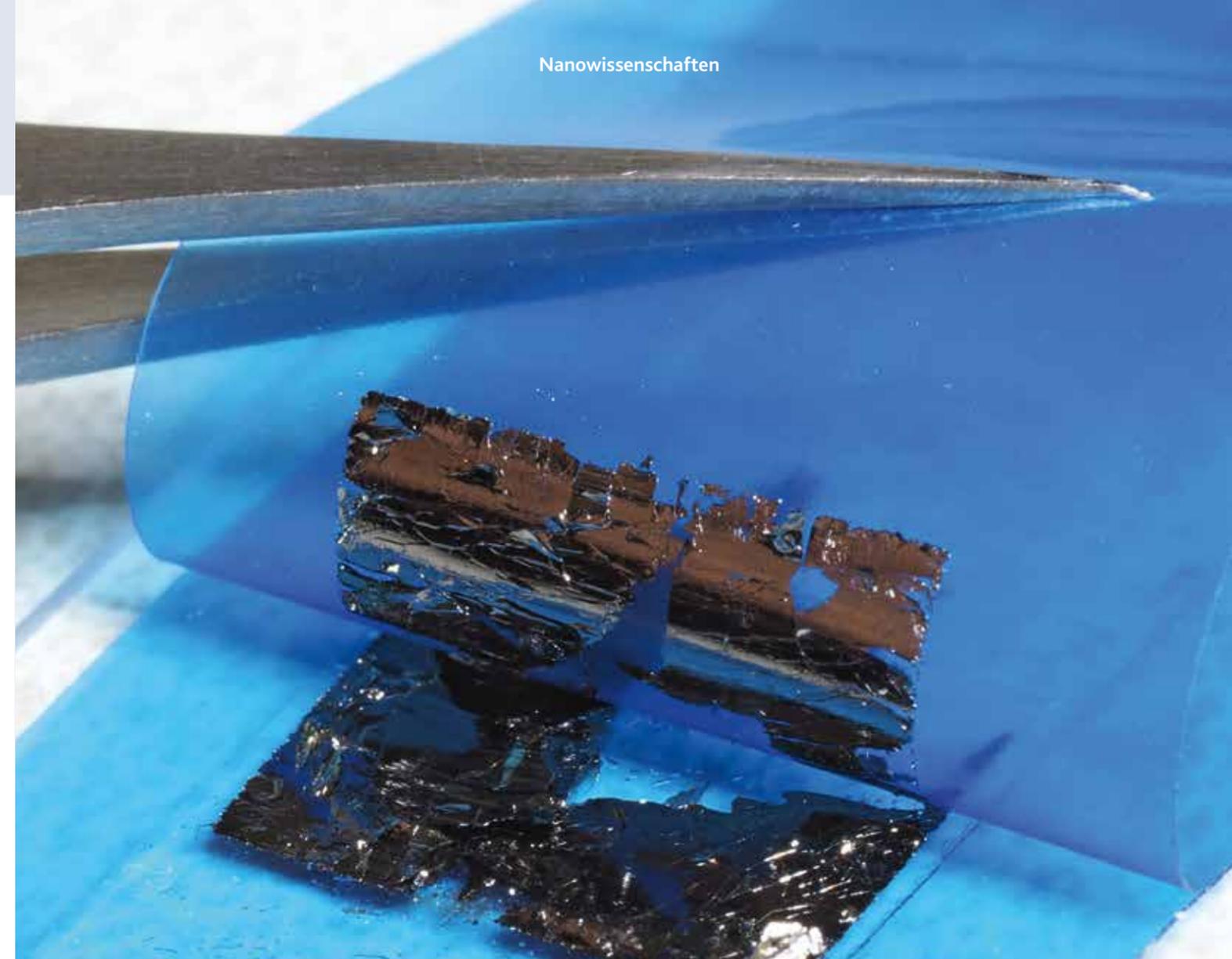
which signals to the body that the implant is not a foreign body. The molecule could, for example, be an endogenous protein. A little further inside the pore or tube, we could anchor an anti-inflammatory drug. And even deeper than that, a molecule that stimulates cell attachment.«

Another method of providing a surface with several functionalities at once is selective functionalization. This involves placing materials composed of various oxides (known as composite materials) into a solution of several molecules. »Our goal is that molecule »A« only attaches to oxide »A« and molecule »B« only to oxide »B«. Then we would have surfaces consisting of various oxides, each with different functional molecules – and all of this in nano-dimensions,« explains Killian. She is confident that the method has huge potential for the production of novel materials. They can potentially be applied in fields such as sensor technology.

#### Depth functionality of nanostructures needs to be visualized

In the coming years, Killian and her team plan to further develop these techniques. They are also working on a way of determining precisely where in the nanostructures the molecules are situated. »This is vital, because only then we can be sure that the result really is what we were aiming for,« says Killian. For this part of her research, she swaps her laboratory workplace for ultra-sensitive measuring instruments. »This is our approach: We cut the material to be examined in a flat cut, then take a chemical picture of the depth structure using an ion beam and a mass spectrometer. On this image we can see precisely where the molecules are anchored within the structure.«

What Manuela Killian loves about her research work is that it is so application-oriented. She is also passionate about finding out what exactly happens on the surface: »How a piece of metal can be transformed with an extreme degree of control into a complex, functionalized surface – I think that's incredibly fascinating.« /



# Wundersames in zwei Dimensionen

Autor / Author Frank Frick

Astonishing material in two dimensions

→ Page 39

Der Werkstoff Graphen, für dessen Entdeckung es 2010 den Nobelpreis gab, besteht nur aus einer einzigen Schicht von Atomen. Doch es gibt noch andere ultradünne, gleichsam zweidimensionale (2D-) Materialien.

Drei Siegener Forscherteams erkunden und verwenden deren außergewöhnliche Eigenschaften.



## »Na und?«

könnte man denken: Graphen ist zwar dünn wie ein einziges Atom, andererseits ähnelt es im Aufbau sehr dem altbekannten Material Graphit, das als Hauptbestandteil von Bleistiftspitzen sogar alltäglich ist. Und doch hat die Entdeckung des Graphens im Jahr 2004 die Fantasie von WissenschaftlerInnen beflügelt und weltweit enorme Forschungsaktivitäten ausgelöst. Die WissenschaftlerInnen träumen dabei von teils bahnbrechenden Anwendungen: Diese reichen von neuartigen Transistoren, faltbarer Elektronik und ultraschnellen Schaltern für optische Telekommunikation über effizientere Solarzellen bis hin zu besonders leistungsstarken, zugleich billigen Sensoren für Smartphone-Kameras und zu biomedizinischen Sensoren in Kleidungsstücken.

Ein Aspekt der wissenschaftlichen Schwärmerei ist tatsächlich die extreme Dünne des Graphens. »Dünnere bedeutet in der Informationstechnologie kleiner, billiger und schneller«, sagt Prof. Dr. Carsten Busse, Leiter der Arbeitsgruppe »Experimentelle Nanophysik« an der Universität Siegen. Eine einzige atomare Schicht wäre sozusagen der Endpunkt in der Entwicklung der etablierten Computertechnologie, die von Anfang an erfolgreich auf Miniaturisierung setzt. Graphen ist dabei der dünnste elektrische Leiter der Welt: Seine zweidimensionale, wabenförmige Anordnung von Kohlenstoff-Atomen leitet Strom besser als Kupferkabel.

Doktorand Paulus Aleksa platziert eine Probe im Rastertunnelmikroskop.

Doctoral student Paulus Aleksa places a sample into the scanning tunneling microscope.



Prof. Dr. Carsten Busse



Prof. Dr. Benjamin Butz



Prof. Dr. Peter Haring Bolívar

Foto/Photo Prof. Dr. Benjamin Butz

## Faszinierende Andersartigkeit

»Aber dünner ist nicht nur dünner, sondern auch anders«, bringt es Carsten Busse auf den Punkt. Und genau diese Andersartigkeit ist es, die ihn in seinen grundlegenden Forschungsvorhaben besonders interessiert: »Da treten viele exotische Effekte auf.«

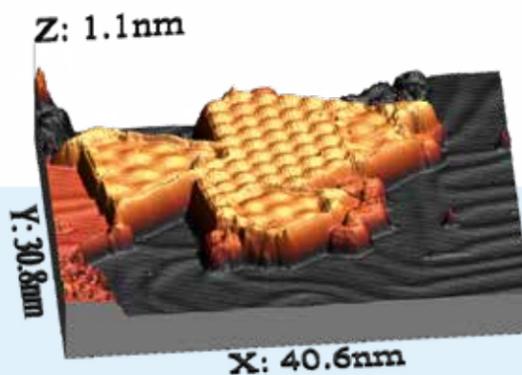
Für seine Experimente leitet Busse in einer Hochvakuumkammer einen gasförmigen Kohlenwasserstoff über ein Metall. Dabei zersetzt sich das Gas. Der Kohlenstoff scheidet sich als Graphen auf der Metalloberfläche ab. Die Forschenden um Busse untersuchen das Material dann mit einem Rastertunnelmikroskop (RTM), mit dem man die Anordnung einzelner Atome sichtbar machen kann.

In den RTM-Bildern treten Bereiche unterschiedlicher Helligkeit auf, die bei verschiedenen metallischen Unterlagen jeweils unterschiedliche Muster bilden: »Diese Muster sind auf den Moiré-Effekt zurückzuführen, bekannt vom Fernsehen, wenn sich etwa das Bildraster der TV-Kamera und das feine Raster der Stoffkrawatte des Moderators überlagern«, sagt Busse. Die Ursache für die Moiré-Muster in den RTM-Bildern ist, dass die Atome der Metalloberfläche und die Atome des Graphens zwei Gitter bilden, die nicht übereinstimmen. Die unterschiedlichen Muster deuten darauf hin, dass jede metallische Unterlage die atomare Anordnung des Graphens auf unterschiedliche Weise beeinflusst. →



Prof. Dr. Carsten Busse kontrolliert das Wachstum eines zweidimensionalen Materials.

Prof. Dr. Carsten Busse checks the growth of a 2D material.



Eine Heterostruktur aus  $\text{MoS}_2$  (Molybdändisulfid) und  $\text{TaS}_2$  (Tantalumdisulfide). Zusammen mit Kabel und Ansteuerung ergibt das eine ultrakleine Diode. Gewachsen wurde diese Struktur auf Gold

A heterostructure consisting of  $\text{MoS}_2$  (molybdenum disulfide) and  $\text{TaS}_2$  (tantalum disulfide). This structure was grown on gold.

Foto/Photo Prof. Dr. Carsten Busse

Bringen die Forschenden in die Vakuumkammer beispielsweise zusätzlich Cäsium ein, so verschwindet das Moiré-Muster. »Die Atome setzen sich zwischen die metallische Unterlage und das Graphen und entkoppeln die Materialien auf diese Weise voneinander«, erläutert Busse. Dadurch können die Forschenden Eigenschaften des Graphen, die für Anwendungen wesentlich sind, ohne den strukturellen Einfluss der Unterlage untersuchen. Das ist bedeutsam, denn in den verschiedenen Anwendungen befindet sich Graphen auf sehr unterschiedlichen Unterlagen.

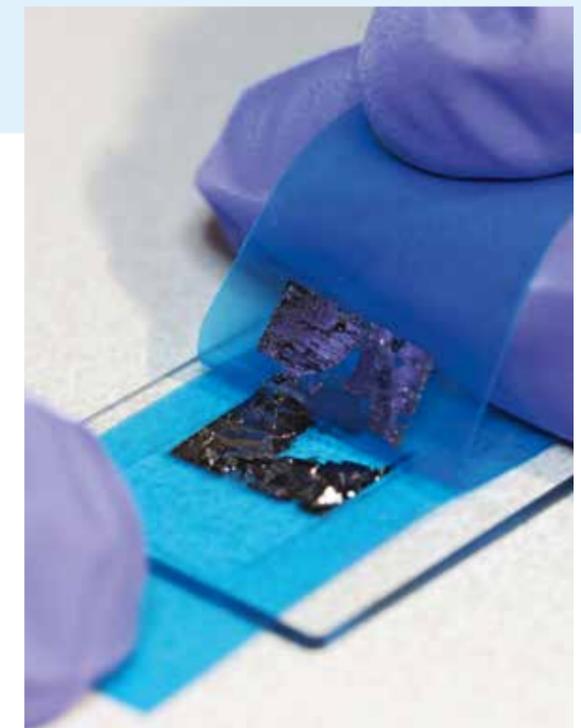
In dem strukturell entkoppelten Graphen tritt eines seiner exotischen Eigenschaften zutage. Üblicherweise bewegen sich Elektronen als Träger der elektrischen Ladung in leitenden Feststoffen umso schneller, je energiereicher sie sind – ähnlich einem Tennisball, der umso schneller fliegt, je mehr Energie ihm der Schläger mitgegeben hat. »In Graphen dagegen verhalten sich die Elektronen eher wie Lichtteilchen im All: Energiearme Elektronen bewegen sich genauso schnell durch Graphen wie energiereiche – zumindest in einem bestimmten Energiebereich«, erläutert Busse. Er hat zusammen mit anderen Forschern bei seinen Untersuchungen herausgefunden, welche Theorie die Größe dieses Energiebereichs korrekt vorhersagt. Die Ergebnisse können somit helfen, die Eigenschaften von neuen, auf Graphen basierenden Bauteilen vorauszusagen.



### Beulen und Stapelfehler im Nanokosmos

Auch Busses Kollege Prof. Dr. Benjamin Butz erforscht Graphen. Mit der Namensgebung für seine Untersuchungsobjekte darf man es allerdings nicht so genau nehmen: Denn ursprünglich steht die Bezeichnung Graphen ausschließlich für eine einzige atomare Schicht aus wabenförmigen Kohlenstoffatomen. Butz beschäftigt sich dagegen mit der Struktur und den Eigenschaften von zwei oder einigen wenigen Schichten übereinander. »Wir konnten mit Hilfe der Elektronenmikroskopie zeigen, dass doppelschichtiges Graphen auf dem Untergrund bucklig ist, anstatt flach aufzuliegen. Außerdem sind die Atome der beiden Schichten auf eine charakteristische Weise gegeneinander verschoben, wobei es häufig zu sogenannten Stapelfehlern kommt«, berichtet Butz, Leiter der Forschergruppe Mikro- und Nanoanalytik.

Diese Phänomene beeinflussen die elektronischen, elektrooptischen und mechanischen Eigenschaften des doppelschichtigen Graphens, das sich in seinen Eigenarten deutlich von seinem einschichtigen Pendant und vom entsprechenden 3D-Material Graphit unterscheidet. Manche Anwendungen, etwa für optische Sensoren, könnten von einer Mehrschichtigkeit und gezielt erzeugten Verschiebungen oder Stapelfehlern profitieren. →



Präparation neuartiger, atomar dünner 2D-Kristalle durch mechanisches Exfolieren mittels Klebeband

Preparation of novel, atomically thin 2D crystals by mechanical exfoliation using adhesive tape

Foto/Photo Prof. Dr. Benjamin Butz

### Leistungsfähige Bildsensoren, winzige Antennen

Genau solche Anwendungen stehen bei der Forschungsgruppe »Graphen-basierte Nanotechnologie« im Mittelpunkt. Sie entwickelt kleinste Bauteile, die für den Mehrwert künftiger Hightech-Produkte entscheidend sein können: Besonders leistungsfähige 3D-Bildsensoren etwa, die nicht nur Objekte abbilden, sondern auch die Entfernung erfassen können, in der sich die Objekte befinden. Weiterhin Antennen, die eine sehr schnelle, drahtlose Datenübertragung zwischen den Rechenknoten in einem Computer ermöglichen. »Aufgrund des exotischen Verhaltens der Elektronen in Graphen lassen sich mit dem Material Antennen für den Terahertz-Frequenzbereich bauen, die nur ein Hundertstel so groß sind wie entsprechende Antennen aus Metall«, erläutert Prof. Dr. Peter Haring Bolívar, kommissarischer Leiter der Forschungsgruppe.

Die WissenschaftlerInnen haben außerdem Mehrfarben-Fotodetektoren gebaut, die auf Graphen beruhen. »Unsere Detektoren registrieren selbst sehr schwaches Licht, und zwar nicht nur im sichtbaren Bereich, sondern insbesondere im Bereich der ultravioletten (UV)-Strahlung«, so Wissenschaftler Dr. Andreas Bablich. Das macht sie beispielsweise interessant für die Messung der Strahlung in Solarien oder bei der UV-Desinfektion sowie für chemische Analysegeräte, die mit UV- und sichtbarem Licht arbeiten. Da sie zusätzlich biegsam sind, könnten sie auch in Textilien eingebaut werden, um etwa vor zu starker Sonneneinstrahlung zu warnen.

Inzwischen haben alle drei Siegener Forschungsgruppen ihr Interesse auf Materialien erweitert, die wie Graphen üblicherweise als zweidimensional gelten. »Streng genommen sind es keine 2D-Materialien, da sie aus mehreren atomaren Schichten bestehen, sich also auch in die dritte Raumrichtung ausdehnen«, sagt Butz. Er spricht lieber von Schichtableitern – auch als Hinweis auf die halbleitenden Eigenschaften der Materialien. Denn Halbleiter, in denen der Stromfluss durch das Anlegen einer elektrischen Spannung



Prof. Dr. Peter Haring Bolívar, Dr. Andreas Bablich, Paul Kienitz, Dr. Anna Wigger und Elana Pereira de Santana (v.l.) im Reinraum  
Prof. Dr. Peter Haring Bolívar, Dr. Andreas Bablich, Paul Kienitz, Dr. Anna Wigger and Elana Pereira de Santana (left to right) in the clean room

gesteuert werden kann, sind die Basis für unsere heutige Informationstechnologie. Busse findet die Kennzeichnung der Schichtableiter als zweidimensional gerechtfertigt: Es handele sich um die dünnste Schicht des jeweiligen Materials, die möglich sei. Trenne man die Schichten in ihre atomaren Lagen, müsse man chemische Bindungen lösen und erhalte somit ein neues Material. »Das ist wie bei den Doppelkekse mit weißer Füllung, die als Oreo bekannt sind. Man kann die Kekse und die Füllung voneinander trennen, aber dann ist es eben kein Oreo mehr«, schmunzelt der Physiker.

Noch wurden von rund 1000 theoretisch denkbaren 2D-Werkstoffen nur wenige hergestellt – ein weites Betätigungsfeld für die Siegener WissenschaftlerInnen. Bablich, Haring Bolívar und Butz haben derweil bereits gemeinsam mit anderen ForscherInnen Fotodetektoren entwickelt, die dank fünf Schichten Molybdändisulfid – nach Graphen das bekannteste 2D-Material – auch infrarotes (IR-)Licht in elektrische Signale umwandeln können. Diese Detektoren könnten problemlos und billig hergestellt und in Computerchips integriert werden. /

The discovery of graphene won the 2010 Nobel Prize. The material consists of just one layer of atoms. And there are other ultrathin 2D materials as well.

Three research teams at the University of Siegen are examining and utilizing their exceptional properties.



In Siegen hergestellte Graphen-Sensoren  
Graphene sensors produced in Siegen

»So what?« you might think. Graphene is as thin as a single atom, which is quite astonishing. But at the same time its structure is very similar to that of graphite, the familiar substance used in pencil leads – a quite ordinary item. Yet the discovery of graphene in 2004 unleashed the imagination of scientists and triggered a vast wave of research worldwide. Some scientists dream of groundbreaking applications. These range from innovative transistors to foldable electronics and ultra-fast switches for optical telecommunication to more efficient solar cells, especially powerful yet cheap sensors for smartphone cameras and biomedical sensors integrated into clothing.

One reason for this scientific excitement is, of course, the extreme thinness of graphene. »In IT, thinner means smaller, cheaper, and faster,« says Prof. Dr. Carsten Busse, head of the experimental nanophysics group at the University of Siegen. A single layer of atoms would be in a sense the final stage in the development of established computer technology, which successfully focused on miniaturization right from the start. Graphene is the thinnest electric conductor in the world. Its two-dimensional, hexagonal lattice of carbon atoms conducts electricity even better than copper wire. →

### Fascinating otherness

»But thinness is not only thinner, it's also different,« says Busse. And it's precisely this otherness that he finds so fascinating in his basic research. »A lot of exotic effects occur with this material.«

For his experiments, Busse directs gaseous carbon over a metal in a high-vacuum chamber. The gas decomposes during the process. The carbon is deposited onto the metal surface in the form of graphene. The research team led by Busse then examines the material with a scanning tunneling microscope (STM) which can show the arrangement of individual atoms.

In the STM images, areas of different contrast appear which form different patterns on different metal substrates. »These patterns are due to the moiré effect. Most people are familiar with the phenomenon from the TV screen, when for example the image from the camera and the fine pattern of an anchorperson's tie interfere with each other,« says Busse. The moiré patterns in the STM images result because the atoms of the metal surface and the atoms of the graphene form two grids which do not match. The different patterns indicate that each metal substrate influences the atomic arrangement of graphene in a different way.

When the researchers additionally introduce e.g. caesium into the vacuum chamber, the moiré pattern disappears. »The atoms insert themselves between the metal substrate and the graphene, separating the materials,« explains Busse. This allows the researchers to examine graphene without any influence from the substrate, exposing its intrinsic properties.

In the structurally unbound graphene, one of its most exotic characteristics is revealed. Normally, electrons as carriers of the electric charge move in conducting solids faster the more energy-rich they are – similar to a tennis ball that flies faster the more energy it has received from the racket. »But in graphene, the electrons behave more like light particles in outer space. This means low-energy electrons move through graphene just as fast as high-energy electrons – at least in a certain energy range,« explains Busse. In his studies together with other researchers, he has defined a theory that correctly predicts the breadth of this energy range. The findings can help to predict the properties of new graphene-based components.

### Bumps and stacking faults in the nanocosmos

Busse's colleague Prof. Dr. Benjamin Butz is also researching graphene. But the name of his research objects shouldn't be taken too literally. Originally, the term graphene was coined exclusively for a single atomic layer of carbon atoms arranged in a hexagonal lattice. Butz in comparison studies the structure and properties of two or a small number of layers on top of each other. »With the aid of electron microscopy we have shown that double-layer graphene forms a bumpy, not flat, structure on the substrate. What's more, the atoms of the two layers are offset against each other in a characteristic way. This frequently creates stacking faults,« reports Butz, head of the micro and nano-analytics research group.

These phenomena influence the electronic, electro-optical, and mechanical properties of double-layer graphene, which differs significantly from its single-layer cousin and the 3D material graphite. Some applications, e.g. optical sensors, could benefit from multi-layer graphene and deliberately created offsets or stacking faults.



Eine Probe wird in die Vakuumkammer des REM geladen.  
A sample is introduced into the vacuum chamber of the SEM.



Graphen-Sensor im Bonding Tool  
Graphene sensor in the bonding tool

Paul Kienitz befestigt die Graphen-Sensoren auf einem Halter zur Analyse im REM.  
Paul Kienitz attaches the graphene sensors to a carrier for analysis in the SEM.

### Powerful image sensors, tiny antennas

The graphene-based nanotechnology research group focuses on exactly this kind of application. It develops ultra-small components that could add crucial value to future hi-tech products. These include exceptionally high-performance 3D image sensors that not only map objects, but also detect their distance. Or antennas for ultra-fast wireless data transfer between computing nodes in a computer. »The exotic behavior of the electrons in graphene means we can build antennas for the terahertz frequency range that are only one hundredth the size of corresponding metal antennas,« explains Prof. Dr. Peter Haring Bolívar, acting head of the research group.

Furthermore, the scientists have built graphene-based multicolor photodetectors. »Our detectors register even very weak light, not only in the visible range, but especially ultraviolet rays,« says scientist Dr. Andreas Bablich. That makes them useful for measuring radiation in tanning studios, during UV disinfection, and for chemical analysis instruments that operate with UV and visible light. What's more, the detectors are bendable, so they can also be integrated into textiles, for example to protect wearers from excessive exposure to sunlight. →

Dr. Bablich an der PECVD Anlage. Hier findet das chemische Aufdampfen von Schichten in der Sensorherstellung statt.

Dr. Bablich working with the PECVD system. Here, layers are applied by chemical vapor deposition during sensor production.



Meanwhile, all three research groups in Siegen have expanded their activities to materials that are normally considered two-dimensional, like graphene. »Strictly speaking, these are not 2D materials because they consist of several atomic layers and extend into the third dimension,« says Butz. He prefers the term layered semiconductors, which also indicates the semi-conductive characteristics of the materials. Today's IT relies on semiconductors in which the current flow can be controlled by the application of electric voltage. Busse, however, justifies the definition of layered semiconductors as two-dimensional because they are the thinnest possible layer of the material. To separate the layers into their atomic levels, you would have to destroy chemical bonds, which would create a new material. »It's like Oreo cookies. You can separate the cookies and the filling, but then it's not an Oreo anymore,« says the physicist with a smile.

Right now, only a few 2D materials are produced from 1,000 theoretically conceivable ones. That leaves a wide scope of research for the Siegen scientists. In cooperation with other researchers, Bablich, Haring Bolívar, and Butz have already developed photodetectors using molybdenum disulfide, the most well-known 2D material after graphene. These instruments can also convert infrared (IR) light into electric signals. They could be easily and cheaply manufactured and integrated into computer chips. /



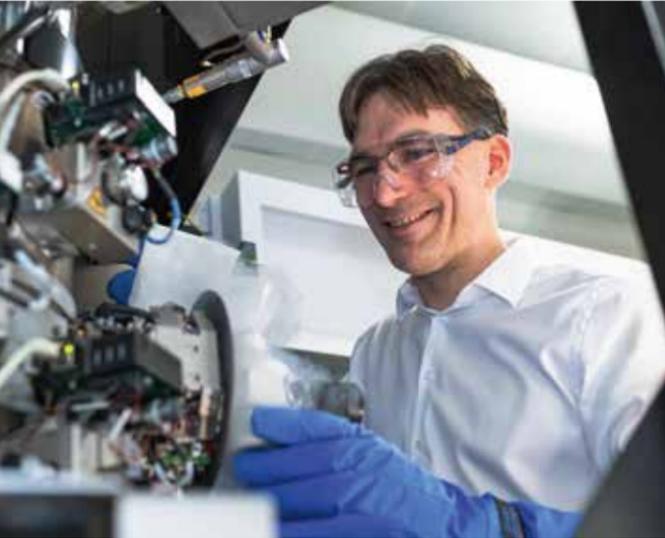
REM-Aufnahme eines in Siegen hergestellten Graphen-Sensors  
SEM image of a graphene sensor produced in Siegen

# Auf Betriebs- temperatur

## At operating temperature

→ Page 45

Interview Frank Frick



**Bevor Professor Dr. Benjamin Butz 2017 nach Siegen kam, untersuchte er an einer der weltweit renommiertesten Hochschulen – der kalifornischen Stanford University – unter anderem die Vorgänge in Akkus. Der Inhaber des Lehrstuhls für Mikro- und Nanoanalytik spricht über seinen Wechsel und seine Forschung.**

**Wie lassen sich solche Probleme lösen?**

**Butz** Wir haben Akkus nach verschiedenen langen Betriebszeiten unter Luftausschluss in dem äußerst reaktionsträgen Edelgas Argon zerlegt. So verblieben sie sozusagen im Betriebszustand. Die anschließenden Untersuchungen im TEM wurden dann bei einer Temperatur von minus 196 Grad Celsius durchgeführt. Die Kälte setzt die Geschwindigkeit aller Reaktionen enorm herab, sodass der ursprüngliche Zustand der Proben weitgehend erhalten bleibt. Diese Methode, deren Entwicklung 2017 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet wurde, diente ursprünglich zur Untersuchung empfindlicher biologischer Proben. Wir haben diese Cryo-TEM erfolgreich für die Batterieforschung adaptiert.

Für weiterführende Untersuchungen konnten wir das metallische Lithium mit modernster Ausrüstung elektrochemisch im Vakuum des TEMs abscheiden und somit gleichsam einen Miniatur-Akku erzeugen, um dessen Reaktionen direkt zu verfolgen.

**Sie haben mit der Stanford University eine Einrichtung kennengelernt, an der aktuell 17 Nobelpreisträger lehren. Was hat Sie gereizt, den Ruf nach Siegen anzunehmen?**

**Butz** Mir wurde eine verlockende Ausstattung mit modernsten Höchstleistungsmikroskopen angeboten. Ich leite neben meiner Arbeitsgruppe auch das Gerätezentrum für Mikro- und Nanoanalytik, über das die wissenschaftlichen Großgeräte der Universität, beispielsweise unsere Elektronenmikroskope, zentral betrieben und zugänglich gemacht werden. Es ist derzeit noch virtuell, wurde aber bereits von der Deutschen Forschungsgemeinschaft positiv begutachtet. Ab 2024 wird es im geplanten INCYTE-Forschungszentrum beheimatet sein.

Zudem sind die Voraussetzungen und die kollegiale Atmosphäre in der Fakultät optimal für unsere stark interdisziplinär geprägte, angewandte Materialforschung. Ich freue mich sehr, dass wir hier modernste Methoden der in situ und Cryo-Mikroskopie entwickeln und etablieren werden. In dieser Hinsicht kann Stanford als Vorbild dienen. /

**Herr Prof. Dr. Butz, Sie untersuchen Materialien für Akkus und Brennstoffzellen. Auf welche Weise?**

**Prof. Dr. Benjamin Butz** Wenn man herausfinden will, warum ein Akku an Kapazität verliert, reicht es nicht unbedingt, die Komponenten vor und nach dem Betrieb zu analysieren. Viel besser ist es, sich den Wandel der Materialien während des Ladens und Entladens anzuschauen – vom Mikrometer-Bereich bis hinunter auf die Ebene der Atome. Unser wichtigstes Instrument bei solchen sogenannten In-situ-Untersuchungen ist das Transmissionselektronenmikroskop (TEM). Auch bei Brennstoffzellen, die Strom aus Wasserstoff und Sauerstoff erzeugen, ist es wichtig, die Materialien zu untersuchen, während sie sich verändern. So haben bestimmte Brennstoffzellen Betriebstemperaturen zwischen 600 und 900 Grad Celsius. Um zu klären, warum die Zellen altern, also mit zunehmender Betriebsdauer einen Leistungsabfall zeigen, haben wir zum Beispiel den keramischen Elektrolyten solcher Brennstoffzellen auf über 800 Grad erhitzt und dabei ihr Verhalten im TEM untersucht. Tatsächlich konnten wir auf diese Weise eine Erklärung für die Alterung finden und eine Lösung vorschlagen.

**Was ist das Schwierige an solchen Untersuchungen?**

**Butz** Nehmen wir als Beispiel Akkus, die auf der derzeit gängigen Lithium-Technologie beruhen. Mikroskopische Untersuchungen daran sind grundsätzlich schwierig, weil Lithium zu den reaktivsten Elementen überhaupt zählt und unmittelbar an Luft reagiert. Bekanntermaßen brennt ein Akku bei Beschädigung heftig. Außerdem sind Lithium und viele seiner Verbindungen sehr empfindlich gegenüber dem Elektronenstrahl des Mikroskops.

# 800°C

Auf diese Temperatur haben Butz und sein Team den keramischen Elektrolyten von Brennstoffzellen erhitzt und ihr Verhalten untersucht.

Butz and his team heated the ceramic electrolytes of fuel cells to this temperature and studied their behavior.

**Before Professor Dr. Benjamin Butz came to Siegen in 2017, he worked at the world-famous Stanford University. His research there included the study of dynamic processes in batteries. The chair for micro- and nano-analytics talks here about transferring to Siegen and his current research.**

**Prof. Dr. Butz, you examine materials for batteries and fuel cells. What exactly does that involve?**

**Prof. Dr. Benjamin Butz** If you want to figure out why a battery loses capacity, it's not always sufficient to analyze the components before and after use. It's much better to look at how the materials change during charging and discharging of a battery, from the micrometer range right down to the atomic level. Our most important instrument for in-situ experiments is our transmission electron microscope (TEM). The same goes for fuel cells that generate electricity from hydrogen and oxygen. Here again, it's important to examine the materials while they change. Some fuel cells are operated at temperatures in the range of between 600 and 900°C. Their performance deteriorates the longer they are used, and we wanted to find out why they age in this way. One method we applied involved heating the ceramic electrolytes of fuel cells to more than 800°C and examining their behavior in the TEM. And this is how we did, in fact, identify the reason for the aging and could propose a solution.

**What makes this kind of experiment difficult?**

**Butz** Well, take for example today's commonly used batteries based on lithium technology. Examining them microscopically is fundamentally difficult because lithium is one of the most reactive elements of all and reacts directly with air. As you know, batteries rapidly burn if they're damaged. What's more, lithium and many of its compounds are extremely sensitive to the electron beam irradiation within the microscope. →

# -196°C

Bei dieser Temperatur wurden Akkus im sogenannten Transmissionselektronenmikroskop untersucht.

At this temperature, batteries are examined in the transmission electron microscope.

### How do you solve these problems?

**Butz** We disassembled batteries after different operating periods in an airtight chamber filled with argon, an extremely inert gas. This kept them practically in operating condition. Then we examined them in the TEM at minus 196°C. The low temperature drastically slows all reactions, which largely preserves the original state of the samples. The development of this method won the 2017 Nobel Prize in Chemistry. Originally, it was intended for studying sensitive biological samples. We successfully adapted the cryo-TEM for battery research.

For more advanced studies, we employed state-of-the-art equipment to deposit the lithium metal electrochemically in the vacuum of the TEM. This simultaneously created a miniature battery, and we were able to directly observe its reactions.

### Currently, 17 Nobel Prize winners teach at Stanford University. What attracted you to Siegen?

**Butz** Well, the university offered me an irresistible workplace equipped with the very latest high-performance microscopes. Apart from my working group, I am also head of the university's micro- and nanoanalytics core facility MNaF. We manage and provide access to most of the large-scale scientific equipment, for example our electron microscopes. Right now, the center only exists in virtual form, but the Deutsche Forschungsgemeinschaft has already given it the green light. The consolidated MNaF will be part of the planned INCYTE research center starting in 2024.

Another factor for me was the cooperative atmosphere in the school, which is crucial for our highly interdisciplinary applied material research. I'm really looking forward to our university establishing, employing, and developing cutting-edge methods of in-situ and cryo-microscopy. In this respect Stanford may serve as a model. /

## Forschen auf höchstem Niveau im INCYTE-Forschungsgebäude

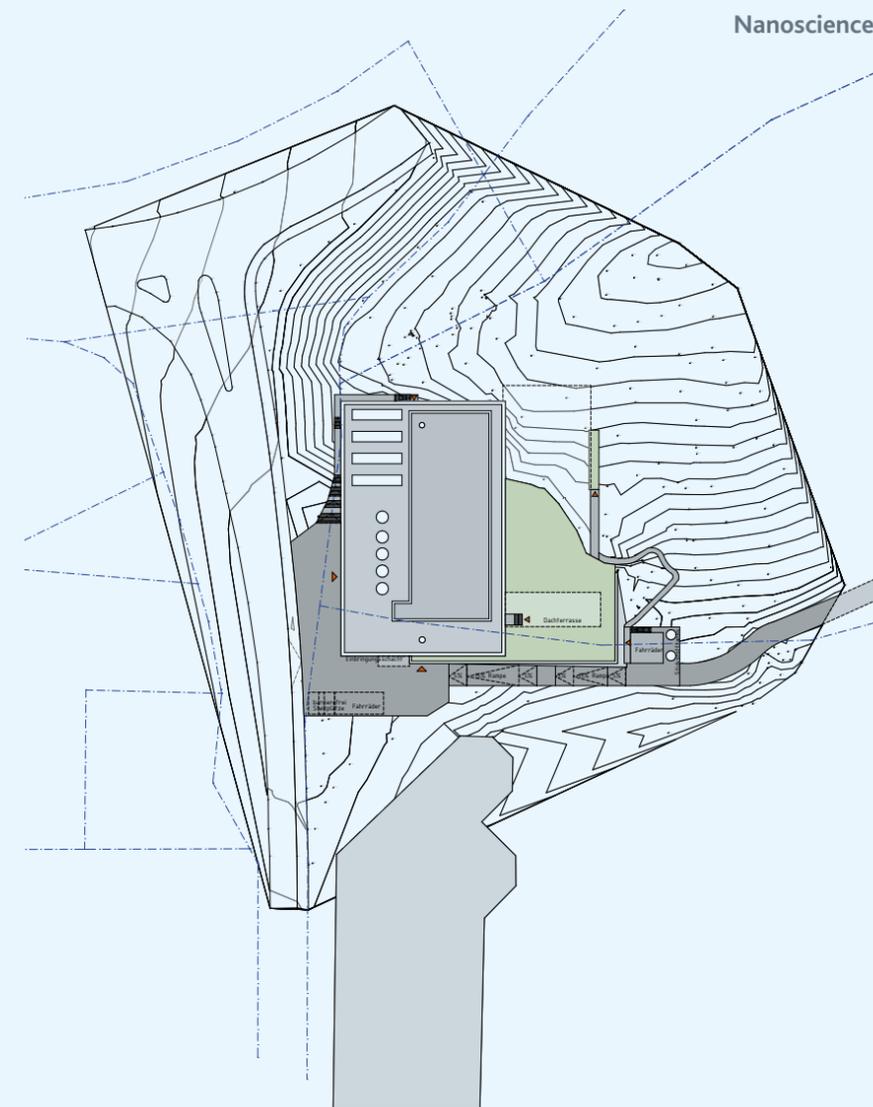
### Cutting-edge research in the INCYTE research building

Autorin / Author Tanja Hoffmann

Am nördlichen Ende des Adolf-Reichwein-Campus entsteht auf einer Fläche von knapp 11.000 Quadratmetern das hochmoderne Forschungsgebäude INCYTE. WissenschaftlerInnen aus den Bereichen Nanoanalytik, Nanochemie und Cyber-physische Sensortechnologien werden hier eng interdisziplinär zusammenarbeiten. Mit seiner modernen Laborausstattung setzt das Gebäude neue Maßstäbe und legt den Grundstein für die zukünftige Forschung der Naturwissenschaftlich-Technischen sowie der Lebenswissenschaftlichen Fakultät der Universität.

»Sensorische und nanotechnologische Entwicklungen gelingen nur, wenn verschiedene Disziplinen Hand in Hand arbeiten: die physikalische und chemische Grundlagenforschung, die mikroelektronische Sensorentwicklung sowie die informationstechnische Datenverarbeitung. Im INCYTE-Gebäude werden sie unter einem Dach vereint, verbunden mit einer Infrastruktur auf höchstem technischen Niveau«, sagt Prof. Dr. Peter Haring Bolívar, der die Planung des Gebäudes aus wissenschaftlicher Perspektive begleitet. »Das Gebäude und die damit verbundenen Möglichkeiten werden unsere Forschung enorm voranbringen und dazu beitragen, das internationale Renommee der Universität in diesem Bereich weiter zu steigern.« So ist unter anderem ein »Reinraum« für Halbleitertechnik geplant, wo in nahezu partikelfreier Umgebung an der Herstellung von Mikrochips und Sensortechnologien gearbeitet werden kann.

»Eine moderne und leistungsfähige Großgeräteausrüstung ist essentiell für die internationale Wettbewerbsfähigkeit in der Materialforschung«, ergänzt Prof. Dr. Benjamin Butz, Leiter des zentralen →



KRESINGS dr. heinekamp  
Labor- und Institutsplanung GmbH

Gerätezentrum MNaF. »Daher planen wir für das INCYTE nicht nur die Zusammenführung der bereits bestehenden Großgeräte des Zentrums. Wir entwickeln vielmehr optimale Labore für neue, modernste nanoanalytische Geräte, die mit der Fertigstellung des INCYTE beschafft werden sollen, etwa ein atomar höchstauflösendes Transmissionselektronenmikroskop.« Die teils abgeschirmten und schwingungsfreien Laborräume unterliegen höchsten baulichen Anforderungen. Errichtet wird das INCYTE-Gebäude durch den Bau- und Liegenschaftsbetrieb (BLB) NRW, die Fertigstellung ist für 2024 geplant. /

A state-of-the-art INCYTE research building is being constructed on an area of 11,000 square meters at the northern end of the Adolf-Reichwein campus. Here, scientists from the fields of nanoanalytics, nanochemistry and cyber-physical sensor technologies will cooperate closely on interdisciplinary projects. With its top-notch lab equipment, the building will set new standards in the fields of material science, nanotechnology and biotech. It lays excellent foundations for future research in the university's School of Science and Technology and School of Life Sciences.

»Successful sensor and nanotechnology development only happens when you apply an interdisciplinary approach. That includes basic physics and chemistry research, microelectronic sensor development, and IT data processing. The INCYTE building will bring these disciplines together under one roof. It will also feature cutting-edge infrastructure,« says Prof. Dr. Peter Haring Bolívar, who is supporting the planning of the building from a scientific point of view. »The building and the possibilities it opens up will massively advance our research. The international reputation of our university in this field will also receive a boost.« The facility will feature a »clean room« for semiconductor technology. Staff using the room will be able to work on the manufacture of microchips and sensors in a practically particle-free environment.

»Modern, high-performance, and large-scale equipment is essential for international competitiveness in material research,« adds Prof. Dr. Benjamin Butz, head of the university's micro- and nanoanalytics core facility MNaF. »So, we're not only consolidating our existing major instruments in the INCYTE. We're also developing optimal labs for new world-class nanoanalytics tools such as a sub-atomic high-resolution TEM. We plan to install the equipment by the time the INCYTE is finished.« The most exacting environmental requirements apply to these labs, some of which will be totally shielded and vibration-free. The INCYTE building will be constructed by the Bau- und Liegenschaftsbetrieb (BLB) of North Rhine-Westphalia. Its completion is scheduled for early 2024. /

# Wenn Pflanzen die Orientierung verlieren

Autorin / Author Nora Frei

## When plants get lost in space

→ Page 53



Detlef Wilde (FLUMIAS Operator, Airbus), Prof. Dr. Christoph Forreiter (Universität Siegen), Kristian Wiegand (Phoenix TV) und der Astronaut Matthias Maurer (ESA) (v.l.)

Detlef Wilde (FLUMIAS Operator, Airbus), Prof. Dr. Christoph Forreiter (University of Siegen), Kristian Wiegand (Phoenix TV) and astronaut Matthias Maurer (ESA) (from left to right)

Foto / Photo Novespace

Wie reagieren Pflanzen, wenn sie nicht mehr wissen, wo unten und oben ist? Das erforscht ein Team um den Biologen Professor Dr. Christoph Forreiter von der Universität Siegen.

**Blauer Ganzkörperanzug,** Deutschlandflagge auf dem Ärmel, Logo der Mission auf der Brust. Prof. Dr. Christoph Forreiter ist gekleidet wie ein Astronaut auf der Internationalen Raumstation ISS. Angespannt steht er in einem Flugzeug (Airbus A310), das seicht übers Meer bei Bordeaux fliegt. Um ihn herum: WissenschaftlerInnen, ein Arzt und Matthias Maurer, designerter Astronaut für die ISS und damit Nachfolger von Alexander Gerst. Sie alle warten darauf, dass der Pilot den Schubhebel nach vorne schiebt und das Flugzeug fast senkrecht Richtung Himmel aufsteigt. Forreiter ist Biologe am Institut für Biologie an der Universität Siegen und erforscht das Verhalten von Pflanzen in der Schwerelosigkeit. Da sich sein Labor nicht im Weltall befindet, fliegt er mit einem Flugzeug, das extra dafür hergerichtet ist, hochkomplexe Experimente in der Schwerelosigkeit durchzuführen. Durch das Parabelflugprogramm des DLR-Raumfahrtmanagements ist das möglich. Parabelflüge heißen die Manöver, bei denen ein Flugzeug zuerst steil aufsteigt, um kurz darauf fast im Sturzflug zu sinken. In der Phase dazwischen – ungefähr 22 Sekunden lang – entsteht Schwerelosigkeit.

Mit an Bord: FLUMIAS, ein konfokales Laser-Scanning Mikroskop, welches von Airbus im Auftrag des DLR-Raumfahrtmanagements entwickelt wurde. Damit kann Forreiter gemeinsam mit seinem Biologie-Kollegen Dr. Maik Böhmer von der Universität Frankfurt im Flugzeug molekulare Vorgänge in den Wurzeln von Pflanzen beobachten. Pflanzen spüren so wie Menschen, wo unten und oben ist und orientieren sich auf diese Weise im Raum. So wächst die Wurzel immer nach unten und der Spross immer nach oben. Dabei verrechnet die Pflanze zwei Reize: Gravitation und Licht. Daraus entstehen Bewegung und Winkel des Wachstums. Deshalb wachsen Zimmerpflanzen zwar grundsätzlich nach oben, aber immer auch in Richtung Fenster. Genau diese Verrechnung untersucht Forreiter mit seinem Team. Das ist möglich, indem jeweils ein Reiz ausgeschaltet wird. Licht auszuschalten, ist einfach. Bei Gravitation gestaltet sich das schon schwieriger.

Bei der Vorbereitung ist eine organisatorische Punktlandung gefragt

Die Parabelflugkampagnen finden ein bis zweimal im Jahr statt. Eine Woche vor dem Start beginnen Forreiter und sein Team, über 1.000 kleine Pflanzen im Labor anzuziehen, damit sich am Tag des Flugs ausreichend Pflanzen im optimalen Zustand für die Experimente befinden – eine organisatorische Punktlandung. Wie die Pflanzen vorbereitet werden und welche Voraussetzungen sie erfüllen müssen – all das hat der Frankfurter Kollege Böhmer bereits bei einer Mission 2017 erforscht. Die Behälter, welche die Pflanzen während der Vorbereitung und bei den Experimenten während des Parabelflugs mit Nährstoffen versorgen – die sogenannten »root-chips« – haben Dr. Guido Grossmann und seine MitarbeiterInnen von der Universität Heidelberg entwickelt. Auch sie waren bei der Mission 2017 dabei. Zu Forreiters Team bei dieser Mission gehören Dr. Michaela Dümmer (Postdoktorandin), Magnus Rath (Doktorand) und Benedikt Bayer (Masterstudent). Sie alle fiebern den Flügen entgegen. Dabei soll zum ersten Mal mit dem entwickelten System eine wissenschaftliche Frage beantwortet werden. →

# 22

Sekunden beträgt die ungefähre Dauer eines Parabelfluges. seconds is the approximate duration of a parabolic flight.

Unter normalen Schwerkraftbedingungen befindet sich relativ wenig freies Calcium in der Wurzel und ist dort gleichmäßig verteilt. Wird die Pflanze gereizt, indem zum Beispiel die Gravitation von der Seite einwirkt (z.B. weil der Wind die Pflanze umgeworfen hat), wird unmittelbar Calcium in hohen Mengen freigesetzt und wandert an die Stelle, an der jetzt für die Pflanze »unten« ist. Damit ist Calcium ein wichtiges Signalelement, das die Pflanze über ihre Position im Raum informiert. In der Schwerelosigkeit aber ist dieser Vorgang gestört. Die WissenschaftlerInnen rund um Forreiter haben in den vergangenen Jahren herausgefunden, dass ein bestimmtes Calcium-bindendes Protein an diesem Prozess beteiligt ist und möchten nun durch Fluoreszenzmikroskopie herausfinden, wie sich unter Schwerelosigkeit der Calciumfluss innerhalb der Pflanze verändert, wenn das von ihnen untersuchte Protein im Überschuss bzw. nicht mehr vorhanden ist. Dabei soll auch geklärt werden, ob Calcium in der Lage ist, die Verteilung dieses Proteins zu verändern, was bedeuten würde, dass sich Calcium in der Signalkette vor dem Protein befindet. Diese Erkenntnis wäre für die Grundlagenforschung von hohem Wert. Sobald man die Fragen beantworten kann, kommt man der Fähigkeit einen Schritt näher, Pflanzen so zu verändern, dass sie zum Beispiel auf langen Raumfahrtmissionen ähnlich wie auf der Erde wachsen können. Das könnte dazu beitragen, dass im Weltall künftig pflanzliche Lebensmittel angebaut werden können.

### Das Innenleben der Pflanzen wird live sichtbar gemacht

Für die Versuche untersuchen die ForscherInnen drei im Vorfeld der Mission in der Arbeitsgruppe hergestellte Pflanzenlinien desselben Typs: eine Wildpflanze, wie sie in der Natur vorkommt, eine gentechnisch veränderte Pflanze, die besonders viel von dem zu untersuchenden Protein produziert, und eine gentechnisch veränderte Pflanze, der das Protein weggenommen wurde. Alle drei Linien verfügen zusätzlich über ein Protein, das Calcium-abhängig fluoresziert. So kann in den Pflanzen live sichtbar gemacht werden, wo sich zu welchem Zeitpunkt zum einen die Proteine und zum anderen die Calcium-Ionen befinden, sobald das Flugzeug in die Schwerelosigkeit eintritt.

Die Pflanzen im Flugzeug sind bereit für ihren Einsatz. Forreiter auch. »Die ersten Parabelflüge sind für alle super spannend. Schwerelosigkeit lässt sich mit nichts beschreiben, was man als Mensch sonst kennt, nicht mal mit Tauchen«, erzählt Forreiter. Denn in der Schwerelosigkeit gibt es keine Widerstände. Wer nur leicht irgendwo gegenstößt und sich nicht festhält, rotiert um die eigene Achse. »Man verliert unheimlich schnell die Orientierung.« Darum gibt es im Flugzeug neben den WissenschaftlerInnen auch Bordmitglieder in orangefarbenen Anzügen, die für die Sicherheit zuständig sind. Sie sorgen dafür, dass die WissenschaftlerInnen nicht – absichtlich oder unabsichtlich – durch das Flugzeug schweben. Es ist Pflicht, sich kontinuierlich festzuhalten. Während der Schwerelosigkeit machen das Mikroskop und die speziell entwickelte Software permanent Bilder von den Pflanzen. Kurz vor Ende jeder Parabel wird rückwärts gezählt, von 5 runter auf 1 – danach tritt schlagartig die Gravitation ein, und zwar mit 1,8 g-Kräften. Alle Bordmitglieder werden dann in Richtung Boden gedrückt. 30 Mal werden die Parabelflüge innerhalb von zwei Stunden wiederholt, was nicht für alle beteiligten WissenschaftlerInnen immer angenehm ist. →

### Die Geschichte hinter dem Flugzeug

Das Flugzeug namens »Zero G«, mit dem Forreiter und Co. die Parabelflüge absolvieren, hieß früher »Konrad Adenauer«. Der Airbus A310 flog einst für die deutsche Luftwaffe. Zwischen 1991 und 2011 reisten mit ihm BundeskanzlerInnen und die höchsten PolitikerInnen des Landes um die Welt. Erst 2014 wurde das Flugzeug zum 100 Quadratmeter großen Labor umgebaut und ermöglicht seitdem ForscherInnen aus der ganzen Welt in der Schwerelosigkeit zu experimentieren.



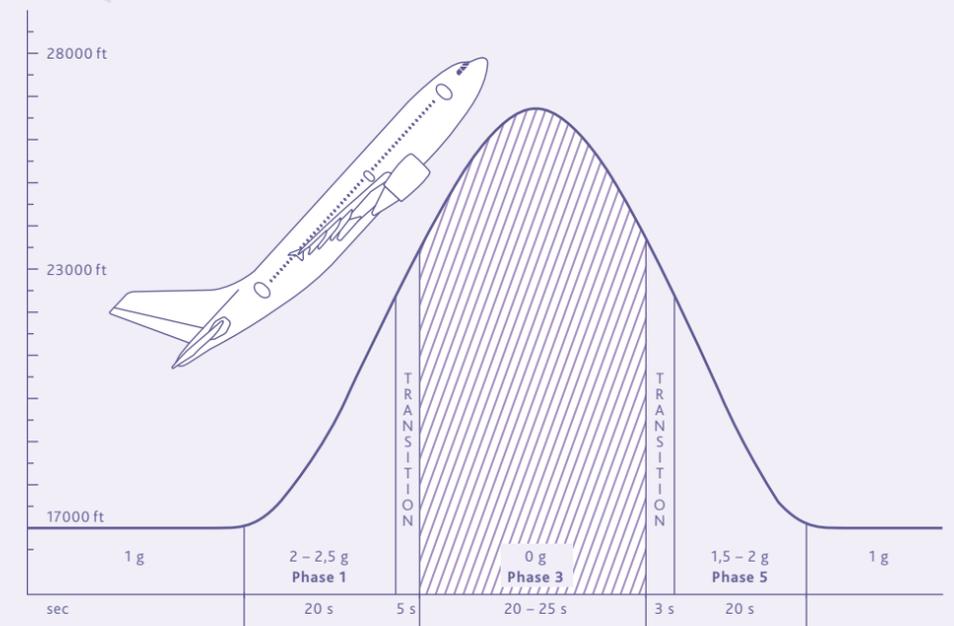
Mit dem Airbus A310 – bereitgestellt von Novespace am Bordeaux-Mérignac Airport – werden die Parabelflüge durchgeführt. Das Flugzeug war ein Geschenk der deutschen Regierung.

The parabolic flights take place in an Airbus A310 provided by Novespace at the Bordeaux-Mérignac Airport. The plane was a gift from the German government.

Foto / Photo Michaela Dümmer

Anders als viele Menschen vermuten würden, setzt die Schwerelosigkeit schon im Steigflug ein (in der Transitionsphase am linken Wendepunkt der Parabel) und nicht erst, wenn die Maschine in den Sturzflug geht.

During a parabolic flight, a special maneuver causes zero gravity in the aircraft. Contrary to what one might expect, weightlessness already sets in during ascent (see left transition area, where the plane almost stalls), and not only when the machine starts to nosedive.





In das Mikroskop wird vor dem Flug der sogenannte RootChip eingebaut. Die eingewachsenen Arabidopsis thaliana (Ackerschmalwand) Keimlinge werden durch den RootChip während der Experimente mit Nährstoffen versorgt.

Prior to take-off, seedlings were mounted to a RootChip and installed within the microscope dome. The RootChip supplies the Arabidopsis thaliana (thale cress) seedlings with nutrients during the experiments.

Fotos / Photos Prof. Dr. Christoph Forreiter

»Schwerelosigkeit lässt sich mit nichts beschreiben, was man als Mensch sonst kennt, nicht mal mit Tauchen.«

Prof. Dr. Christoph Forreiter



Masterstudent Benedikt Bayer (AG Forreiter) bereitet die Arabidopsis Pflanzen im Labor für die Tests in der Schwerelosigkeit vor.

Master student Benedikt Bayer (AG Forreiter) prepares Arabidopsis plants in the lab for testing in zero gravity.

Kein Problem mit der Schwerelosigkeit hat Matthias Maurer. Im Oktober 2019 wurde entschieden, dass er in die Fußstapfen von Astronaut Alexander Gerst treten wird. Für seinen Einsatz auf der ISS bereitet sich der promovierte Werkstoffwissenschaftler unter anderem mit Parabelflügen vor. Da er selbst auf der ISS als Wissenschaftler tätig sein wird – möglicherweise mit dem gleichen Mikroskop – möchte er beobachten, wie Forreiter und sein Team in der Schwerelosigkeit vorgehen und wie sie die Herausforderungen meistern. Das Pflanzen-Projekt hat sich Maurer selbst unter vielen Projekten für seine Hospitation ausgesucht.

Durch die Experimente im Flugzeug hat Forreiter jetzt zwei Terabyte voller Bilder der verschieden beschaffenen Pflanzen, die er übereinanderlegen und vergleichen kann. Die Auswertung steht noch am Anfang. Für die Zukunft plant Forreiter im schwedischen Kiruna mit einer ballistischen Rakete die Pflanzen im Mikroskop etwa 200 Kilometer in die Luft zu schießen. Rakete und Abschussrampe werden ebenso wie die Parabelflüge vom DLR gefördert. /

Das Projekt beruht auf einem gemeinsamen Antrag der Universität Siegen mit der Universität Marburg.

Parabelflüge im Video  
[www.youtube.com/watch?v=nWJBkud2Vaw&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=nWJBkud2Vaw&feature=youtu.be)

How do plants react when they don't know which way is up? Research by Professor Dr. Christoph Forreiter of the University of Siegen and his team aims to answer this question.

Blue overall, German flag emblem on the sleeve, mission logo on the chest. Prof. Dr. Christoph Forreiter looks just like an astronaut on the International Space Station. He's standing in an Airbus A310 gently cruising over the ocean near Bordeaux. Also on board are a number of scientists, a doctor, and Matthias Maurer, soon to succeed Alexander Gerst as an astronaut on the ISS. The adrenalin rises as they wait for the pilot to pull up the plane's nose for an almost vertical climb into the sky. Forreiter is a molecular plant physiologist at the University of Siegen's Biology Institute researching how plants behave in zero gravity. Because his laboratory is not located in space, he is traveling in a plane specially equipped for performing highly complex experiments under conditions of weightlessness. The parabolic flight program of the German Aerospace Center makes this possible. The maneuver of flying steeply upward before dropping almost in free fall is named parabolic flight. Weightlessness occurs for 22 seconds in between the two phases.

The aircraft also contains FLUMIAS, a confocal laser scanning microscope developed by Airbus for the German Aerospace Center's space administration. It enables Forreiter and his fellow biologist Maik Böhmer from the Goethe University of Frankfurt to observe molecular processes in plant roots inside the airplane. Just like humans, plants have a sense of up and down that gives them spatial orientation. That's why roots always grow downwards and shoots grow up. For positional information, plants utilize essentially two stimuli: gravity and light. They determine the motion and angle of growth, which is why indoor plants basically grow straight upward, but also lean toward windows. Forreiter and his team are analyzing exactly how plants deal with the two stimuli. To do this, they eliminate one stimulus at a time. Switching off the light is easy. But eliminating gravity is a pretty difficult task.

## The history behind the aircraft

The aircraft named »Zero G« in which Forreiter and his team take parabolic flights was formerly known as the »Konrad Adenauer«. The Airbus A310 used to fly for the German air force. Between 1991 and 2011, it carried German chancellors and top-ranking politicians all around the world. Later, in 2014, the plane was converted into a 100-square-meter laboratory. Since then, it has enabled researchers from all over the globe to conduct experiments in zero gravity.

## Effective preparation requires precise organization

DLR hosted parabolic flights take place one or two times per year. One week before the first take-off, Forreiter and his team get busy growing more than 1,000 small plants in the lab. This ensures that on each flight day they have enough plants in the right condition for the experiments. A precise organization of the plant growth conditions is crucial for success. On a previous mission in 2017, the Böhmer group established the basic methods how the plants need to be prepared and what conditions they need to fulfil. On this mission, they were joined by a team headed by Guido Grossmann from the University of Heidelberg, who developed a specially designed plant container, which supplies the plants with nutrients during preparation as well as during the parabolic flight. These containers are known as »RootChips«. Forreiter's team for the current mission includes Michaela Dümmer (postdoctoral researcher), Magnus Rath (doctoral student), and Benedikt Bayer (Master's student). They can hardly wait for the flights. This flight will be the first time the newly developed system is used to answer a scientific question. →



Mit dem konfokalen Laser-Scanning Mikroskop (FLUMIAS) können die ForscherInnen im Flugzeug molekulare Vorgänge in den Wurzeln von Pflanzen beobachten.

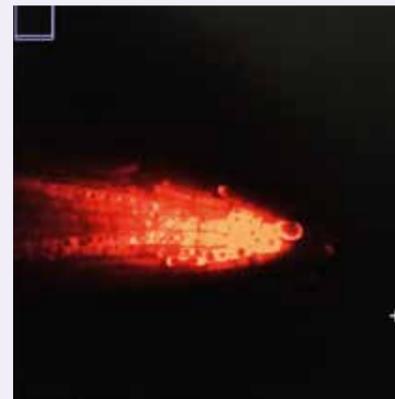
Using a confocal laser-scanning microscope (FLUMIAS), the researchers are able to observe live molecular processes in plant roots during zero gravity.

Foto / Photo Prof. Dr. Christoph Forreiter

Oben eine durch Calcium-Ionen hervorgerufene Rotfluoreszenz. Unten eine Grünfluoreszenz, induziert durch die Anwesenheit eines GFP-markierten Zielproteins. GFP steht für »green fluorescent protein«.

Above, red fluorescence induced by calcium ions. Below, green fluorescence indicating the presence of a GFP-labeled target protein. GFP stands for green fluorescent protein.

Foto / Photo Michaela Dümmer



»Zero gravity can't be compared with anything else we experience as humans, not even diving.«

Prof. Dr. Christoph Forreiter

Under normal gravitational conditions, roots contain relatively little free calcium, which is almost evenly distributed. If the plant receives a gravitropic stimulus however – such as gravitation from the side (e.g. because wind has blown the plant over) – roots immediately release large quantities of calcium that migrate to the new bottom part of the root. This makes calcium the key signal element which informs the plant of its spatial position. However, absence of gravity disrupts this signalling chain. Over recent years, Forreiter's team has discovered and analyzed a specific calcium-binding protein, termed EHB1 (EnHanced Bending), which is involved in this process. For the zero-g mission, they are using fluorescence microscopy to follow the calcium flow in plant roots in the absence of gravity by using mutant seedlings, in which either the EHB1 protein is lacking or present in overabundance (see below). The aim is to determine whether calcium is able to alter the distribution of this protein. This would mean that calcium acts as an element before the protein in the signalling chain. If proven, these findings would be extremely helpful for basic research in the field. This would bring scientists one step closer to modifying plants so that they grow on long space missions similar to the way they do on earth. This could provide the basis for growing food in outer space in the future.

The inner life of the plants will be displayed live

Three different Arabidopsis lines were analyzed on-ground ahead of the mission. One is a wild plant as found in nature, one a genetically modified plant that produces extra-large quantities of the protein to be examined, along with a genetically modified plant stripped of the protein. All three lines also contain a so-called reporter protein that glows depending on the presence of calcium. The reporter enables the scientists to see in real time the locations of the calcium ions at any time as soon as the aircraft enters zero gravity. At the same time, it reveals information about the GFP-tagged EHB1 target protein.

The plants in the aircraft are ready to go, and so is Forreiter. »Your first parabolic flight is super exciting. Zero gravity can't be compared with anything else we experience as humans, not even diving,« says Forreiter. That's because floating in the air will provide no resistance without gravity. Even a slight bump against any object or just waving your arms sends you spinning. »You lose all sense of direction incredibly quickly.« That's why safety crews in orange suits accompany the scientists on every flight. They make sure nobody floats around the aircraft, either deliberately or by accident. All passengers are instructed to hold on at all times. During the period of zero gravity, the microscope and the specially developed software continually record images of the plants. Shortly before the end of each parabolic phase, there is a countdown from 5 to 1 – before gravitation kicks back in at 1.8 g-forces. Everybody on board is pushed down to the floor. The plane performs 30 parabolic flights within two hours, which isn't necessarily a pleasant experience for all of the team members.

Matthias Maurer has no problem with zero gravity. In October 2019, he was chosen to follow in the footsteps of the astronaut Alexander Gerst. Maurer, a doctor of materials sciences, is preparing for the ISS in various ways, which include taking part in parabolic flights. While on the ISS, he himself will carry out scientific experiments – possibly using a FLUMIAS microscope specially developed for the ISS. That's why he's keen to observe how Forreiter and his team work in zero gravity and how they deal with the challenges. Maurer chose the plant project from a range of possible projects to study.

From the in-flight experiments, Forreiter now has two terabytes of images of the various plants which he can superimpose onto and compare with each other. The analysis of this material has just started. Forreiter also has ideas for the future. In Kiruna, Sweden, he plans to shoot the plants in the microscope around 200 kilometers into the sky with a ballistic rocket. Just like the parabolic flights, the rocket and launch ramp will be funded by the German Aerospace Center. /

The project is based on a joint application by the Universities of Siegen and Marburg.

 Parabolic flight video  
[www.youtube.com/watch?v=nWJBkud2Vaw&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=nWJBkud2Vaw&feature=youtu.be)

# Radikal gegen den Strich

Autor / Author Jens Wiesner

## A radically different approach

→ Page 58

Foto / Photo shutterstock / Billion Photos

Bislang stand in der wissenschaftlichen Debatte im Vordergrund, wie sich jugendliche StraftäterInnen mit rechtsradikalem oder islamistischem Gedankengut radikalieren. Professorin Dr. Dörte Negnal dreht die Frage um. Die Soziologin und Kriminologin fragt: Wie kommt es, dass sich die allermeisten Inhaftierten gerade nicht radikalieren?

**Wer sich anschaut,** wie die Debatte um eine mögliche Radikalisierung jugendlicher StraftäterInnen in Politik und Medien geführt wird, könnte meinen, Jun.-Prof. Dr. Dörte Negnal befinde sich an vorderster Front eines Kampfes. Vom »Kampf gegen Islamismus im Gefängnis« (Deutsche Welle) ist da gerne einmal die Rede oder von »Experten«, die vor einer »Radikalisierung in Gefängnissen warnen« (WDR). Die Soziologin und Kriminologin Negnal warnt dagegen vor voreiligen Schlüssen und Lösungsansätzen: »Aktuell werden Stereotypen ungefragt reproduziert und dahinterstehende Mechanismen nicht berücksichtigt. Bisher fehlt die Grundlagenforschung dafür.« Um das zu ändern, forscht die Juniorprofessorin im Strafvollzug. Aktuell wird ein dreijähriges Forschungsprojekt mit dem Titel RESIST vom Bundesprogramm »Demokratie leben!« gefördert. Im Zentrum stehen die Fragen, wie sich Inhaftierte nicht radikalieren und insofern, wie Nicht-Radikalisierung Teil des Haftalltags ist.

Um diese Fragen zu beantworten braucht es einen anderen Ansatz. Radikalisierung sei ein Konzept, das auf Zuschreibungen basiert. »Oft reicht es im Gefängnis schon aus, einen arabisch klingenden Vornamen zu haben, einen Vollbart zu tragen und gläubig zu sein, um Verdacht zu erregen«, sagt Negnal. »Und das, obwohl derjenige vielleicht nur wegen Diebstahls verurteilt wurde und nicht wegen der Mitgliedschaft in einer terroristischen Vereinigung.« Um dem zuvorzukommen begleiten Dörte Negnal und ihre MitarbeiterInnen, Faduma Abukar und Robert Thiele, Fachkräfte in der Deradikalisierungsarbeit, also jene, die mit so genannten radikalisierten oder gefährdeten Inhaftierten arbeiten. »Wir haben erste Kontakte in verschiedene Jugendhaft- und -arrestanstalten geknüpft.« Die Methodik, derer sich Negnal und ihre

MitarbeiterInnen bedienen, ist die der soziologischen Ethnographie. »Das heißt, wir wollen kulturelle Praktiken in der Deradikalisierungsarbeit sichtbar machen«, erklärt die Juniorprofessorin. Kulturelle Praktiken, das meint all jene unbewussten Dinge, die ein Mensch im Alltag sagt und tut, die er aber selbst nicht mehr bewusst wahrnimmt und die somit in einem Interview nicht zur Sprache kämen.

Um verlässliche Aussagen darüber zu treffen, was Deradikalisierung ist, braucht es Ergebnisse, die zeigen, wie sie in ihrer tatsächlichen Praxis geleistet wird. Hierzu werden Dörte Negnal und ihr Team verschiedene Träger von Deradikalisierungsarbeit in ihrem Alltag in Jugendhaft- und Jugendarrestanstalten ethnographisch begleiten, das heißt über mehrere Monate »mitlaufen« und ihre Beobachtungen zu Papier bringen. »Es geht darum, ein Gespür dafür zu kriegen, was diese Menschen umtreibt«, erläutert Negnal. »Wie bewältigen sie ihren Alltag? Auf welche Hürden stoßen sie? Wie gehen sie damit um?« →

**»Aktuell werden Stereotypen ungefragt reproduziert und dahinterstehende Mechanismen nicht berücksichtigt. Bisher fehlt die Grundlagenforschung.«**

Prof. Dr. Dörte Negnal

Foto / Photo shutterstock / Billion Photos

Wichtig ist der Wissenschaftlerin zu betonen, dass es ihr nicht darum geht, ihre Beobachtungen im Sinne einer Evaluation zu bewerten. »Das wäre auch anmaßend«, stellt die Forscherin klar. Die Ergebnisse, die in den nächsten drei Jahren zu erwarten sind, werden die Alltagsmethoden der TrainerInnen und Inhaftierten aufzeigen und dies wird die Grundlage für ihre Reflexion sein. Zugang zu den Haftanstalten zu bekommen, ist für die WissenschaftlerInnen trotzdem nicht ganz einfach. Bei der eigenen Arbeit beobachtet zu werden, sei für die Beschäftigten ungewohnt, sagt Negnal – und die Sorge darum, dass ihre Arbeit bewertet würde, sitze tief.

Eine Reaktion, die die Soziologin gut verstehen kann. Denn der Rechtfertigungsdruck, der auf Menschen lastet, die Deradikalisierungsarbeit in Gefängnissen betreiben, ist enorm. Es gibt keine Garantie, dass eine Methode, die bei Häftling A gewirkt hat, auch bei Häftling B funktioniert. »Politiker, Geldgeber und die Verantwortlichen in Gefängnissen möchten aber gern positive Ergebnisse sehen – verständlicherweise«, so Negnal. »Alle sehnen sich danach, dass die Fachkräfte sagen, wir haben Methode X und sie wirkt.«

Insofern braucht es eine grundlegende Forschung und andere Ansätze, um einem emotional so aufgeladenen Thema wie Radikalisierung zu begegnen. Dies braucht Zeit. Eine Herausforderung, die Dörte Negnal gerne annimmt: »Ich würde sagen, Wissenschaft ist geübt in Geduld und kann das leisten.« Und wann würde die Forscherin ihr Projekt als erfolgreich betrachten? »Wenn wir herausfinden, welche Aspekte zusammenwirken, damit jemand als nicht radikal gilt«, sagt Negnal. »Und wenn wir uns darüber mit den Menschen vor Ort austauschen können, die praktische Deradikalisierungsarbeit leisten.« Gute Grundlagenforschung bleibt eben nicht im Elfenbeinturm, sondern kommt in der Praxis an. /



Foto / Photo istockphoto / Holy Polygon

**One issue at the forefront of scientific debate in criminology is how young offenders become radicalized with far-right or Islamist ideologies. Professor Dr. Dörte Negnal turns the question on its head. The sociologist and criminologist asks: Why does the vast majority of prisoners not become radicalized?**

**Looking at the public** debate about the threat of radicalization of young offenders, one might get the impression that Jun.-Prof. Dr. Dörte Negnal is fighting on the front line of a war. The media and politicians like to talk of »the battle against Islamism in prisons,« (Deutsche Welle) or so-called experts warn against »radicalization in prison.« (WDR). However, Negnal urges us to reject hasty conclusions or knee-jerk reactions. »Stereotypes are thoughtlessly repeated without any consideration of the mechanisms behind them. The basic research needed for these insights is missing.« To change this the junior professor has just started a three-year research project named RESIST, financed by the federal fund »Living democracy!« The question is how prisoners resist radicalization and therefore how non-radicalization is part of everyday life.

Answering this question proves tricky. Radicalization is an abstract concept and often based more on attribution than on facts. »In prison, it can be enough to arouse suspicion if somebody has an Arabic-sounding name, a full beard, and is religious,« says Negnal, »even if the person only has a conviction for theft and not for being a member of a terrorist group.« To circumvent this, Negnal and her team approached deradicalization workers instead, thus people who deal with radicalization already identified or at least suspected. »We've made initial contacts with people working with young offenders in prison.« Over several months, Negnal and her colleagues Faduma Abukar and Robert Thiele will accompany deradicalization workers in their daily activities in prisons. Giving an answer of what deradicalization is, requires findings about how it's done in practice. »It's about getting a feeling for what moves people in situations,« explains Negnal.

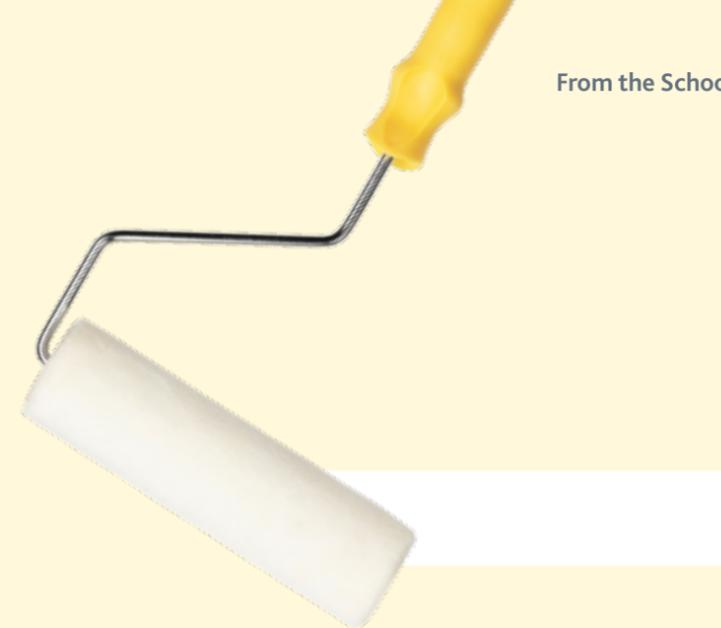


Foto / Photo istockphoto / Thammasak\_Chuenchom



To do this, she and her team are applying the method of sociological ethnography. »This means we want to uncover basic cultural practices in so-called deradicalization work,« she explains. Cultural practices are the things people say and do in daily life without thinking about them. They reveal the individual assumptions and preconception beyond a behaviour that understands itself as rational. That's why they use participant observations of situations with deradicalization workers and prisoners.

The scientist is very keen to emphasize that she won't use her observations as the basis for a value judgement. »That would take things too far,« she states. »Our findings will unfold the members' methods and their accounts and this will gain the basis for reflecting the practices.« Negnal also points out that employees are not used to being watched at work. They have a deep-seated concern about being monitored and judged. There's no guarantee that a measure that succeeded with prisoner A will also work for prisoner B. »But politicians, providers of funding, and the people responsible for prisons want to see positive results, which is understandable,« says Negnal. »Everybody's waiting for somebody to say ›Here's method X, and we know it works.«

Moreover we need basic research and different approaches in order to deal with a subject as emotionally charged as radicalization. It's a challenge not to rush the job through now. Dörte Negnal undertakes it by saying that »patience is an integral part

of science« in order to achieve resilient results. She expects results within the next three years. But when will the researcher consider her project a success? »When we find out what aspects come together to ensure that somebody isn't considered radical,« says Negnal. »And when we can discuss this constructively with the people on the business end who do deradicalization work day in and day out.« It's essential that basic research becomes part of the debates on what a society declares as dangerous. /

**»Stereotypes are thoughtlessly repeated without any consideration of the mechanisms behind them. The basic research needed for these insights is missing.«**

**Prof. Dr. Dörte Negnal**

# Sind weibliche Hormone Bakterien-Booster?

Mukoviszidose und der »Gender-Gap« / Meine Doktorarbeit in einem Tweet



Faria Afzal

Die Untersuchung des Biofilm-Wachstums unter dem Einfluss des »weiblichen« Hormons Östradiol soll klären, warum es an Mukoviszidose erkrankten Frauen bei einer Lungeninfektion schlechter geht als Männern.



Mukoviszidose ist eine genetische Krankheit, die vor allem die Lungenfunktion durch eine stark erhöhte Schleimproduktion beeinträchtigt. Bei Atemwegsinfektionen sind die Behandlungserfolge bei Frauen durchweg schlechter als bei Männern. Die Untersuchung des Wachstums der von einem französischen Kooperationspartner (UBO/INSERM, Brest) bei Mukoviszidose-PatientInnen gesammelten Bakterien zu Bakteriengemeinschaften (Biofilmen) soll die Wirkung des dominanten Sexualhormons Östradiol beleuchten, um so langfristig zu verbesserten Behandlungskonzepten für Patientinnen zu gelangen.

Faria Afzal (36), untersucht in ihrem Promotionsprojekt die Wirkung von Östradiol auf das Wachstum von Biofilmen. Faria Afzal erwarb ihren Bachelor in Biologie und Chemie und einen Master in Anorganischer Chemie in Pakistan sowie einen Master in Analytischer Chemie an der Universität Siegen. Zurzeit arbeitet sie an ihrer Doktorarbeit unter der Leitung der Nachwuchsgruppenleiterin Dr. Mareike Müller aus der Arbeitsgruppe Physikalische Chemie von Prof. Dr. Holger Schönherr.



Faria Afzal

Investigation of bacterial biofilm growth under the influence of the »female« hormone estradiol to clarify why females with mucoviscidosis have worse outcomes from lung infections than males, with the aim of improving mucoviscidosis treatment.



# Are bad bugs boosted by female hormones?

Revealing the mucoviscidosis »gender gap« / My PhD in a tweet

Mucoviscidosis is a genetic disorder affecting especially the lungs via excessive mucus production. In the case of respiratory infections, females have worse outcomes than males. Investigation of the growth of bacteria that have been collected from mucoviscidosis patients by a French cooperation partner (UBO/INSERM, Brest), into bacteria communities – biofilms - should illuminate the impact of the dominant »female« hormone estradiol. The ultimate goal is to improve treatment concepts for female patients in the long term.

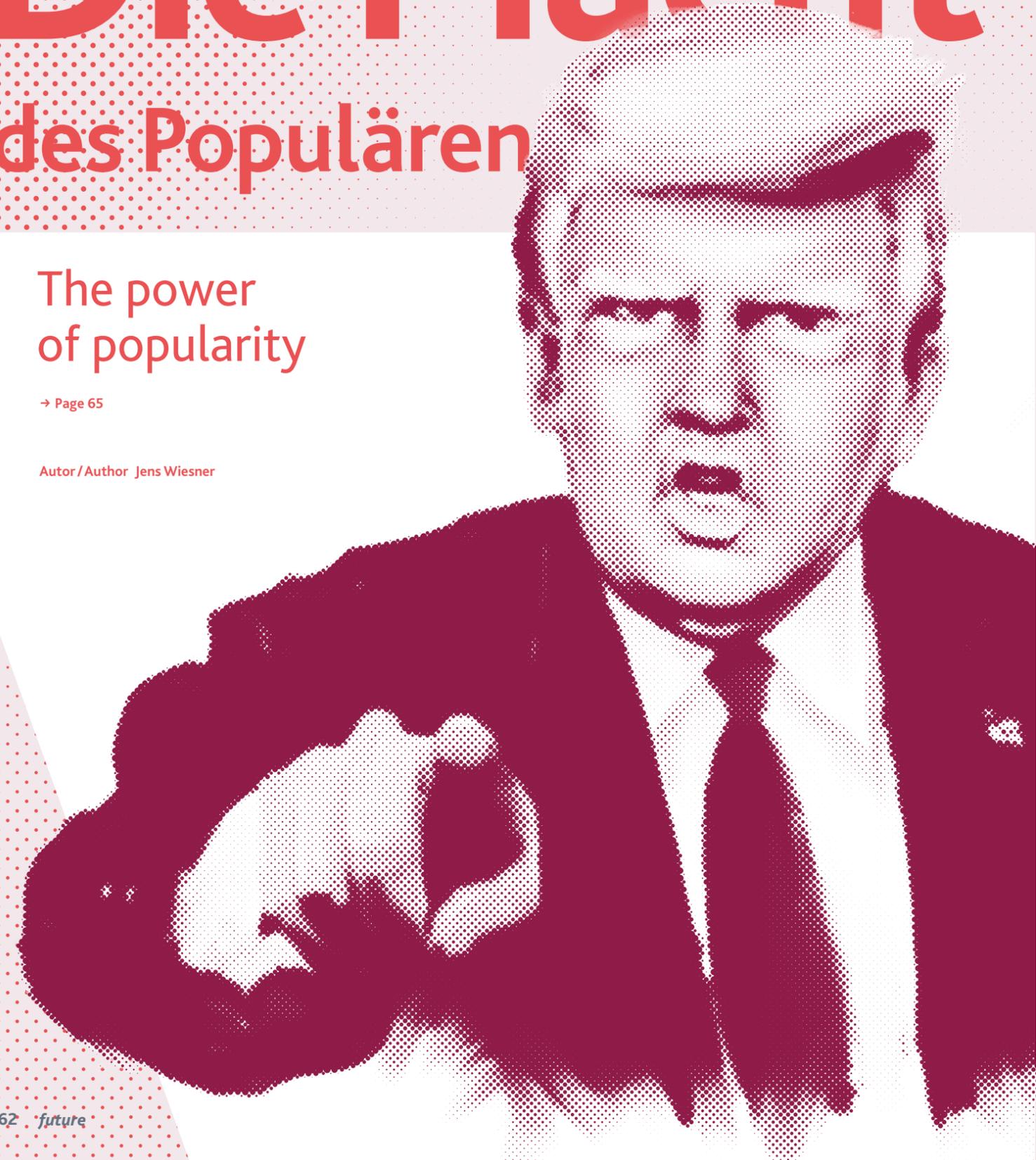
Faria Afzal (36) is conducting a PhD project examining the effect of the »female« hormone estradiol on the growth of bacterial biofilms. She completed a Bachelor in Biology and Chemistry and a Master in Inorganic Chemistry in Pakistan followed by an additional Master in Analytical Chemistry at the University of Siegen. Currently, she is working on her doctoral thesis under the guidance of the junior research group leader Dr. Mareike Müller and the Physical Chemistry group of Prof. Dr. Holger Schönherr.

# Die Macht des Populären

## The power of popularity

→ Page 65

Autor/Author Jens Wiesner



## Was viele mögen, kann nicht gut sein.

Dieses elitäre Vorurteil hat sich lange in unserer Gesellschaft gehalten. Laut Professor Dr. Niels Werber hat sich der Wind nun gedreht. Aber gilt im Umkehrschluss auch: Was viele mögen, kann nur gut sein?

**Obwohl** die allermeisten Menschen niemals in einem CIA-Foltergefängnis waren, haben sie doch ein Bild im Kopf, wie es dort zugeht – dank einschlägiger TV-Serien wie »24« oder »Homeland«. Obwohl eine Reise in die Vergangenheit unmöglich ist, meinen wir doch zu glauben, wie es damals war – weil wir historische Romane wie »Der Medicus« oder »Der Name der Rose« gelesen haben.

»Produkte der Populärkultur üben einen starken Einfluss auf unser Bild von Gesellschaft aus«, sagt Prof. Dr. Niels Werber, Sprecher der Sonderforschungsstelle »Populäre Kulturen« an der Universität Siegen. Dieser Einfluss betreffe nicht nur die Kunstsparten und Medien, sondern reiche mittlerweile weit hinein in die Welten von Politik, Medizin und Wirtschaft. Und dennoch habe nicht nur in der kulturellen Elite, sondern auch in der Wissenschaft, lange Zeit unter Generalverdacht gestanden, was die breite Masse mochte: So etwas kann doch nicht gut sein! So etwas kann doch kein würdiger Forschungsgegenstand sein.

Der Literatur- und Medienwissenschaftler Nils Werber sieht das anders. In seiner 2015 eingerichteten Sonderforschungsstelle arbeiten Forschende unterschiedlichster Fachrichtungen zusammen, um sich interdisziplinär dem Phänomen der populären Kultur zu nähern. Eine elementare Frage, die sich dabei stellt: Wie ist der Begriff »populär« heute zu verstehen?

### Harry Potter und Hulk als Forschungsgegenstände

»Das Populäre, also das, was die Masse, den Pöbel, begeisterte, wurde bis weit ins 20. Jahrhundert hinein als etwas gesehen, das im Gegensatz zur Hochkultur stand und per se als unwürdig und vulgär abgetan«, sagt Werber. Dies lässt sich nicht mehr halten, weil das Populäre, das große Beachtung findet, sich längst nicht mehr abtun lässt und Popularitätswerte selbst zu einer harten Währung geworden sind. »Wir wollen daher eine Forschung aufsetzen, die ihre populären Forschungsgegenstände genauso als wissenschaftliche Herausforderung versteht wie einen Kafka-Roman oder einen Tarkowski-Film.«



Prof. Dr. Niels Werber

Zu Werbers Forschungsgegenständen zählen deshalb Harry Potter-Romane, Blockbuster-Superhelden-Filme wie »Hulk« und »Ant-Man«, oder die deutsche SciFi-Heftromanserie »Perry Rhodan«, die Werber auch persönlich am Herzen liegt. Von der populärsten Serie der deutschsprachigen Literaturgeschichte, die seit 1961 ununterbrochen erscheint, wurden Stand 2016 etwa zwei Milliarden Hefte verkauft. »Die enorme Popularität der Serie ist in der Forschung allerdings meist als Ausweis ihres kulturellen Unwerts gedeutet worden«, so Werber. »Man ist gar nicht auf die Idee gekommen, dass »Perry Rhodan« auch für sich ein relevantes Universum in der Literatur sein könnte.« →

## »Die Asymmetrie zwischen Hoch- und Massenkultur ist entscheidend unter Druck geraten – wenn sie sich nicht bereits komplett aufgelöst hat.«

Prof. Dr. Niels Werber

Foto / Photo istockphoto / ps50ace

Zeit dafür, das Populäre neu zu denken, ist es längst. Denn gar nicht so heimlich, still und leise habe sich der Wind gedreht – und die Konsequenzen seien überall in der Gesellschaft zu spüren: »Die Asymmetrie zwischen Hoch- und Massenkultur ist entscheidend unter Druck geraten – wenn sie sich nicht bereits komplett aufgelöst hat«, konstatiert Werber. Die kulturellen Spannungen, die sich hieraus ergeben, seien ein elementares Thema der Forschungsstelle.

Ob Theater, Museen oder Universitäten – anders als noch im 19. Jahrhundert würden die alten Institutionen der Hochkultur, die früher Qualität definiert haben, heute hochgradig hinterfragt und müssten anhand ihrer Popularitätswerte rechtfertigen, dass ihre Angebote Beachtung verdienen. Ihre Herausforderer: Bestenlisten-Rankings, die das Internet beherrschen, schwer nachzuvollziehende Algorithmen, die unser Verhalten beeinflussen. »Wir gehen zum Arzt mit den besten Bewertungen bei Jameda, buchen das beliebteste Hotel bei Trip Advisor, orientieren uns auf Twitter an den Menschen mit den meisten Followern.«

### Alte, normative Reflexe vermeiden

Dadurch habe sich auch die Auffassung vom Populären selbst verändert. »Populär ist heutzutage erst einmal das, was Beachtung findet, was im quantitativen Sinn populär ist.« Diese Arbeitsdefinition der Forschungsstelle entkoppelt den Begriff von einer wertenden Einordnung, sieht ihn erst einmal ganz nüchtern.

Eine Nüchternheit, von der Werber glaubt, dass sie auch außerhalb der Literaturwissenschaft helfen könne, alte normative Reflexe zu vermeiden. Zum Beispiel in der Politikwissenschaft: »Dort gelten Populisten ja erst einmal als Leute, die etwas falsch machen, die die Spielregeln der Demokratie verletzen. Und ihre Anhänger stehen als »verblendetes und manipulierbares Pack« im Gegensatz zu einer moralisch überlegenen, aufgeklärten Elite.« Gerade dieses Verfä-

len in die alte, hierarchische Asymmetrie führe aber in eine Sackgasse. Es sei auffällig, so Werber, dass hohe Popularität fast überall als erstrebenswert gelte. Der vordere Platz im Ranking wird geschätzt. Wenn man sich aber danach umschaue, was hohe Popularität aufweise, aber keine Beachtung finden solle, dann kämen sofort Populismen in den Blick. Die Siegener ForscherInnen untersuchen daher etwa den Populismus Donald Trumps als Fall unerwünschter Popularität. Die millionenfache Beachtung Trumps wird von seinen vielen Fans als Ausweis der Legitimität ihrer politischen Position angesehen, von allen anderen aber als Bedrohung.

Dass möglichst hohe Popularität zunehmend als einziger Qualitätsmesser herangezogen wird, fordere unsere Kultur massiv heraus, meint Werber: »Ist der Bestseller auf Platz 1 wirklich das qualitativ beste Buch? In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, welche Instanz heutzutage festlegen kann und soll, was qualitativ gut ist und was schlecht.«

Das neu auszuhandeln sei eine der großen Herausforderungen unserer Generation, glaubt Werber. Man werde sich nicht den Algorithmen der Popularitätsermittlung überlassen wollen, die auf allen digitalen Plattformen unermüdlich feststellen und mitteilen, was populär ist (ein Film, ein Buch, eine Aktie, ein Tweet, eine Politikerin) und daher beachtet werden sollen. Ignoriert werden können diese Werte aber auch nicht – nicht einmal von etablierten Institutionen der Hochkultur. Sicher bleibt am Ende nur eins: Die Debatte bleibt spannend. /

Anything the masses like can't be good. This elitist prejudice has been ingrained in our society for a long time. But Professor Dr. Niels Werber claims that the wind has changed. So, is today's belief that anything the masses like must be good?

Although the vast majority of people have never been inside a CIA prison that practices torture, they have a fixed idea about what it's like. That's thanks to TV series like »24« or »Home-land«. Although we can't travel back in time, we still think we know what the past was like – because we've read historical novels like »Pride and Prejudice« and »The Name of the Rose«.

»Popular culture has a major influence on our image of society,« says Prof. Dr. Niels Werber, spokesperson of the popular culture research initiative at the University of Siegen. He points out that today this influence not only affects art and the media, but also reaches far into the worlds of politics, medicine, and the economy. Yet not only the cultural elite, but also scientists have long been dismissive of what the masses want: Anything with mass popularity surely can't be good! And it certainly can't be worth serious research.

Werber, a literature and media scholar, has a different view. In his research initiative established in 2015, researchers from a wide range of disciplines work together to reach a deeper understanding of popular culture. A fundamental question is: What does the »popular« mean today?

### »Perry Rhodan« and »The Hulk« as subjects of research

»Until well into the 20th century, anything popular, i.e. things noticed by the masses, the »common people«, was automatically considered worthless and trivial as opposed to »proper culture«,« says Werber. This attitude is no longer sustainable because popular culture, as soon as it is widely valued, can no longer be ignored, and popularity itself has become a hard currency. »That's why we want to conduct research that considers popular objects of interest as scientific challenges just as worthy of study as a Kafka novel or a Tarkovsky film.«

Werber's research subjects include »Harry Potter« books, blockbuster superheroes like »The Hulk« and »Ant-Man«, and the German Perry Rhodan sci-fi series, which was a personal favourite in Werber's youth. As of 2016, around two billion copies of this overwhelmingly popular series in German-language literary history had been sold over the course →

## »The distinction between high and mass culture is under vast pressure – and may have already disappeared completely.« Prof. Dr. Niels Werber

of its uninterrupted run since 1961. »However, in literary research, the enormous popularity of the series has usually been considered evidence of its lack of cultural value,« says Werber. »Nobody suggested that Perry Rhodan could also represent a relevant branch of literature.«

So it's about time to reassess the popular in culture. In fact, the wind has changed, and not even all that quietly. The consequences can be felt everywhere in society. »The distinction between high and mass culture is under vast pressure – and may have already disappeared completely,« says Werber. The resulting cultural tension is a fundamental topic now being examined by the research initiative.

Things have developed drastically since the 19th century. Whether theatres, museums, or universities, the old institutions that used to define high culture are being questioned. Today, they have to justify their existence and offerings based on their level of popularity, most often measured in sheer numbers. Their challengers are online ranking platforms and complex algorithms that influence our behavior. »We go to the doctor with the best online rating, book the most popular hotel on Trip Advisor, and pay attention to the people with the most followers on Twitter.« Popularity now means getting noticed by many.

### Avoiding old, conventional reflexes

This development has transformed our understanding of the popular itself. »Today, the popular is something that attracts attention; it is, in fact, a quantitative phenomenon. This working definition by the research initiative removes any value judgements, proposing a disinterested notion of popularity and avoiding downgrading or ignoring what is noticed by many.

Werber believes that this perspective can help avoid old, conventional reflexes outside of the literary sciences as well. Take the study of politics: »In political science, populists are first and foremost seen as people who violate the rules of democracy. And their supporters are considered a »gullible, easily manipulated rabble«, unlike the morally superior, well-informed elite.« But this retreat into old, hierarchical thinking gets us nowhere, according to Werber. He finds it fascinating that almost everybody thinks popularity is something to aspire towards, with interesting exceptions. The first place in a

ranking commands great respect. But when we look at what is highly popular but should not be, populism is always invoked. The researchers in Siegen are therefore studying populisms as a case of unwanted popularity. For example: Donald Trump's many fans see the vast amount of attention he commands as proof of the legitimacy of their political views, while everybody else sees it as a threat.

As Werber points out, the fact that the highest level of popularity is increasingly used as the only measure of quality is a massive challenge to our culture. »Is the No. 1 bestseller really the best-quality book? We have to ask ourselves what metric today can and should determine what is good or bad quality.«

Renegotiating this question is one of the great challenges of our generation, says Werber. We wouldn't want to leave it up to algorithms that constantly trawl all digital platforms and determine what is popular (a movie, a book, a share, a tweet, a politician) or to tell us what deserves our attention. And yet none of us, even established institutions of high culture, can ignore these evaluations. One thing is sure: The debate will remain fascinating. /

»Harry Potter« ist ein weltweiter Bestseller. Die Figur ist Millionen von Menschen bekannt. Heute ist dies bei Protagonisten der »klassischen«, ja sogar kanonisierten Literatur, nicht unbedingt der Fall.

»Harry Potter« is a worldwide bestseller. The character is known to millions of people. Today this is not necessarily the case with protagonists of »classical«, even canonized literature.

# Ist grünes Wachstum möglich?

Interview Oliver Jesgulke

## Are environmental protection and economic growth compatible?

→ Page 72

## Ist grünes Wachstum möglich?

Ja, sagt Professor Dr. Hans Jürgen Schlösser.  
Nein, sagt Professor Dr. Niko Paech.  
Ein Streitgespräch über die Zukunft unseres  
Wirtschaftssystems.

»Insbesondere durch die Kreislaufwirtschaft unter Einsatz regenerativer Energiequellen entsteht ein grüner Wachstumsmarkt.«

Prof. Dr. Hans Jürgen Schlösser

Ist der Kapitalismus wie wir ihn kennen mit dem Überleben unseres Planeten vereinbar?

**Prof. Dr. Hans Jürgen Schlösser** Der Kapitalismus ist ausgesprochen unbeliebt. Die meisten Deutschen sind damit unzufrieden. Ich halte den demokratischen Kapitalismus aber für die einzige derzeit realisierte Wirtschaftsform, die funktioniert. Doch wir dürfen nicht unsere ökologischen Lebensgrundlagen zerstören. Kapitalismus ist reformierbar und muss jetzt auf eine nachhaltige, grüne Basis gestellt werden.

**Prof. Dr. Niko Paech** Mit dem heutigen Industrialismus und der ausgeprägten Konsumkultur rasen wir auf einen Abgrund zu. Die vielen ökologischen Katastrophen sind hinlänglich bekannt. Das Dilemma: Ohne Wachstum ist unser derzeitiger Lebensstil nicht aufrecht zu erhalten.

Welche Alternativen bieten sich an?

**Schlösser** Schon der Club of Rome hat 1972 darauf hingewiesen, dass die Belastbarkeit unseres Planeten begrenzt ist. Das bedeutet aber nicht, dass des Problems Lösung Askese und autoritäre Vorschriften sind oder wir wieder zur Postkutsche zurückkehren müssen. Wir müssen vielmehr »Wohlstand für Alle« (Ludwig Erhard) mit der Leistungsfähigkeit unseres Planeten besser in Einklang bringen. Wachstum und Ressourcenverbrauch können entkoppelt werden. Wir brauchen »grünes« Wachstum.

Der emeritierte Prof. Dr. Hans Jürgen Schlösser lehrte 20 Jahre an der Universität Siegen. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Volkswirtschaftslehre und der Wirtschaftsdidaktik. Mit seiner Dissertation »Wirtschaftswachstum, Strukturwandel und Energie« hat er bereits 1981 zur Entkoppelung von Wachstum und Energieverbrauch geforscht.

The emeritus Prof. Dr. Hans Jürgen Schlösser taught at the University of Siegen for 20 years. His research focuses are economics and business didactics. In his 1981 thesis »Economic Growth, Structural Change and Energy«, he researched the subject of disconnecting growth from energy consumption.

Wie lässt sich »grünes« Wachstum gestalten?

**Schlösser** Wir brauchen eine ökologische Industriepolitik mit dem Staat als Pionier und müssen langfristig in Künstliche Intelligenz, Raumfahrt, Nano-, und Wasserstofftechnologien investieren. Insbesondere durch die Kreislaufwirtschaft unter Einsatz regenerativer Energiequellen entsteht ein grüner Wachstumsmarkt. Im Gegensatz zur Wegwerfgesellschaft zielt sie darauf ab, Güter und Rohstoffe möglichst lange im System zu halten und zu recyceln. Der Ansatz entkoppelt dafür Produktion und Verbrauch.

**Paech** Die Behauptung, durch Investitionen in grüne Technologien könne Wirtschaftswachstum mit einer Senkung von Umweltbelastungen einhergehen, ist nicht nur falsch – das genaue Gegenteil ist der Fall. Ohne Ressourcenverbrauch sind auch grüne Technologien nicht zu haben. Sie verlagern die Schäden nur in eine andere physische Dimension. Und den Ansatz der Kreislaufwirtschaft halte ich für extrem überschätzt. Produkte oder Verpackungen unter Einsatz von enorm viel Energie in seine Bestandteile zu zerkleinern, ist eine grün angestrichene Lebenslüge. Zumal Autos und Smartphones nicht recyclingfähig sind.

In welchen Ländern funktioniert grünes Wachstum heute in Teilen schon?

**Schlösser** Ich sehe Fortschritte in Mitteleuropa und vor allem hier in Deutschland. Mit der Energiewende entkoppelt sich der Ressourcenverbrauch zunehmend. Und durch den Strukturwandel hin zur Dienstleistungsgesellschaft in der Industrie gibt es weniger energieintensive Sektoren. Allerdings finden sich diese jetzt in Ländern wie Indien oder China, was man nicht übersehen darf.

**Paech** Für solche Behauptungen fehlen bisher die empirischen Belege. Eine Entkoppelung von wirtschaftlichem Wachstum und Ressourcenverbrauch lässt sich nicht einmal theoretisch plausibel darstellen und schon gar nicht mit den Gesetzen der Naturwissenschaft in Einklang bringen. Zugleich steigert grünes Wachstum das Einkommen, sodass die erhöhte Nachfrage über sogenannte Rebound-Effekte Ressourceneinsparungen wieder zunichtemachen kann. Hier halte ich die VWL für blind. Das gilt ganz besonders für digitale Technologien und Services. Anstelle des oft beschworenen Dematerialisierungseffekts haben sie alle bereits existenten Schäden sowie obendrein den Elektroschrott und die Stromverbräuche noch vergrößert.



Prof. Dr. Niko Paech lehrt an der Universität Siegen als außerplanmäßiger Professor im Bereich der Pluralen Ökonomik. Seine Forschungsschwerpunkte liegen unter anderem in den Bereichen der Umweltökonomie und der Nachhaltigkeitsforschung. Mit dem Buch »Befreiung vom Überfluss« aus dem Jahr 2012 avancierte er zum Bestsellerautor.

Prof. Dr. Niko Paech is a professor (apl. Prof.) at the University of Siegen teaching in the field of plural economics. His research focuses include environmental economics and sustainability. His 2012 book »Befreiung vom Überfluss« (Liberation from Excess) was a bestseller.

Foto / Photo Carsten Schmale

Prof. Dr. Paech, Sie plädieren stattdessen für die Postwachstumsökonomie – wie sieht diese aus?

**Paech** Sie beruht auf fünf Bausteinen: Erstens ist eine »Entrümpelung« des Konsum- und Mobilitätswohlstandes nötig. Zweitens wäre eine Senkung der Industrieproduktion mit Vollbeschäftigung vereinbar, wenn die durchschnittliche Arbeitszeit gesenkt und umverteilt würde. Die freigewordene Zeit, etwa im Falle einer 20-Stunden-Woche, könnte als Basis für ergänzende Selbstversorgungsleistungen dienen, insbesondere die Gemeinschaftsnutzung von Gebrauchsgütern, Reparatur/Instandhaltung und eigene Produktion, beispielsweise in Gärten und Werkstätten. Drittens wäre die Regionalökonomie zu stärken, basierend auf ökologischem Landbau, handwerklicher Produktion, Gebrauchtgüterhandel und Verleihsystemen. Viertens bedarf es einer Industrierversorgung, die ihre Produkte an Langlebigkeit, Modularität und Reparierbarkeit orientiert. Fünftens sind diverse institutionelle Reformen nötig, und zwar ausgerichtet an globaler Gerechtigkeit, Minderung von Wachstumstreibern und einem ökologischen Budget von maximal ein bis zwei Tonnen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Kopf und Jahr. →

**Das sind sehr hehre Ziele. Was muss sich dazu auf individueller Ebene verändern?**

**Paech** Das Überleben der menschlichen Zivilisation ist ohne Selbstbegrenzung und eine Reduzierung von Wohlstandsansprüchen nicht zu haben, zumindest dort, wo Menschen über ihre Verhältnisse leben. Insoweit technische Lösungen versagen, kann nachhaltige Entwicklung kein Unterfangen des zusätzlichen Bewirkens, sondern nur der angemessenen Unterlassung sein. Letztere sollte zunächst darauf beruhen, Grundbedürfnisse von dekadentem Luxus zu unterscheiden. Effizient mit ökologischer Knappheit umzugehen, heißt zu fragen: Was ist wichtiger, die Stromversorgung eines Krankenhauses oder eine Weltreise? Globale Gerechtigkeit setzt dem, was ein einzelner Mensch an materiellen Freiheiten fordern kann, eine Obergrenze. Im Übrigen sind längst psychische Wachstumsgrenzen überschritten worden. Die zunehmend grenzenlose Selbstverwirklichung führt zu Zeitnot, Stress bis hin zum Konsum-Burnout. In reichen Gesellschaften ist die Depression mittlerweile zu einer der wichtigsten Zivilisationskrankheiten geworden, wie der Soziologe Alain Ehrenberg schon vor knapp 20 Jahren eindrucksvoll resümierte. Genügsamkeit und Sesshaftigkeit bedeuten mehr als ökologische Verantwortung, sie schützen vor Überforderung und Reizüberflutung.

**Wie viel Zeit bleibt uns also noch, umzusteuern?**

**Paech** Ich beteilige mich nicht an Kaffeesatzleserei. Fakt ist, dass alle Ressourcen knapp werden und technisch nicht zu substituieren sind, ganz zu schweigen von ökologischen Krisenszenarien und der Digitalisierung, die menschliche Arbeitskraft ersetzt. Entweder wir ändern uns oder wir werden verändert. Die Politik ist handlungsunfähig, weil nur gewählt wird, wer Geschenke verteilt. Folglich bedarf es eines friedlichen und demokratischen Aufstandes der Handelnden, die sich dem Steigerungswahn sichtbar verweigern und schon vorsorglich postwachstumstaugliche Strukturen aufbauen, die zur Nachahmung einladen.



Fotos/Photos Carsten Schmale

**»Effizient mit ökologischer Knappheit umzugehen, heißt zu fragen: Was ist wichtiger, die Stromversorgung eines Krankenhauses oder eine Weltreise?«**

Prof. Dr. Niko Paech

**Braucht es für Ihre Ideen nicht einen multilateralen Ansatz?**

**Schlösser** Wir brauchen internationale und europäische Pakte. Wir müssen uns aber davon verabschieden, auf Heldentaten, auf den einen großen Wurf zu warten. Der wird nicht kommen. Das Wichtigste ist, damit anzufangen und nicht weiter zu debattieren. Das ist in vielen Regionen der Welt schon angekommen.

**Paech** Dem kann ich durchaus zustimmen. Die Ökosphäre kennt keine staatlichen Grenzen. Dennoch könnten wir versuchen, Vorreiter zu sein, um anderen eine inspirierende Blaupause anzubieten. Menschen ändern sich, wenn sie sich an vorgelebten Beispielen in ihrem sozialen oder politischen Umfeld orientieren können. Wenn die Nachahmung eine kritische Masse erreicht, kann der Übergang zum Selbstläufer werden. /

Redaktioneller Hinweis: Dieses Streitgespräch wurde vor der Corona-Pandemie geführt.



**50 %**

der Deutschen sind mit dem Kapitalismus unzufrieden.  
of Germans are not satisfied with capitalism.

**49 %**

der Deutschen sind mit dem Kapitalismus zufrieden.  
of Germans are satisfied with capitalism.

**1 %**

machten keine Angaben.  
gave no opinion.

Quelle: Infratest dimap (2012) ARD Deutschland Trend Februar 2012: Eine Umfrage zur politischen Stimmung im Auftrag der ARD-Tagesthemen und zweier Tageszeitungen.

Source: Infratest dimap (2012) ARD Deutschland Trend February 2012: A survey on the political mood commissioned by TV news magazine ARD-Tagesthemen and two daily newspapers.



# Are environmental protection and economic growth compatible?

Professor Dr. Hans Jürgen Schlösser says yes.  
Professor Dr. Niko Paech says no. A debate on the future of our economic system.

**Can we continue capitalism as we know it without destroying the planet?**

**Prof. Dr. Hans Jürgen Schlösser** Capitalism is extremely unpopular right now. Most Germans are dissatisfied with it. But I believe democratic capitalism is the only realistic economic system that works. Having said that, we can't continue destroying the ecology that is the basis of life. Capitalism can be reformed. We need to make it green in response to today's needs.

**Prof. Dr. Niko Paech** With today's industrialism and extreme consumerism, we're hurtling towards disaster. We already know enough about the many ecological catastrophes we face. The dilemma is that we can't continue our current lifestyle without growth.

**What are the alternatives?**

**Schlösser** Back in 1972, the Club of Rome pointed out that our planet's resources are finite. But the solution isn't living frugally under authoritarian rule, or reintroducing horse-drawn carriages. Instead, we need to better balance Ludwig Erhard's ideal of »wealth for all« with the means our planet provides. Growth and resource consumption can be disconnected from each other. What we need is green growth.

**How can we achieve green growth?**

**Schlösser** We need an ecological industrial policy, with the state acting as a pioneer. We also have to invest over the long term in AI, space travel, nanotechnologies, and hydrogen technologies. In particular, a circular economy using regenerative energy sources will create a green growth market. Unlike today's throw-away culture, the aim should be to keep goods and resources in the system for as long as possible and then to recycle them. This approach disconnects production and consumption from each other.

**Paech** The idea that investment in green technology can create economic growth along with reduced harm to the environment is plain wrong. In fact, exactly the opposite is true. We can't have green technologies without consuming resources. This just moves the damage to a different physical dimension. And I believe the projected benefits of a circular economy are vastly overestimated. The idea of breaking down products or packaging into their individual components using vast amounts of energy is a lie painted green, especially because cars and smartphones are not recyclable.

**What countries already have partly functioning green growth?**

**Schlösser** I see progress in central Europe and, above all, here in Germany. The energy transition is increasingly removing resource consumption from energy generation. And structural change toward a service economy results in fewer energy-intensive industries. However, we shouldn't forget that lots of energy-intensive production has moved to India or China.

**Paech** So far, we don't have the empirical evidence for these claims. Even in theory, it's impossible to plausibly represent the disconnection of economic growth and resource consumption. And this separation certainly can't be reconciled with the laws of science. Green growth also increases income so that higher demand can trigger so-called rebound effects that destroy the resource savings. I think economic theory is blind here. This goes especially for digital technologies and services. Instead of the oft-lauded dematerialization effect, these sectors have increased already-existing damage, on top of which they generate electrical waste and use more electricity.

**Prof. Dr. Paech, you argue for a post-growth economy instead – what would this look like?**

**Paech** It's based on five components: First, decluttering is important. That goes both for consumerism and mobility. Second, reduced industrial production and full employment could be reconciled if working hours were reduced and redistributed. The time people gain, for example if they work a 20-hour week, could allow them to boost their self-sufficiency. This could involve shared use of consumer goods, repair and maintenance, and home production, for instance in gardens and workshops. Third, we need to strengthen the regional economy based on organic agriculture, handicraft production, used goods trading, and lending systems. Fourth, industry has to rethink its products so they are durable, modular, and capable of repair. And fifth, a number of institutional reforms are necessary. These must focus on global justice, reduction of growth drivers, and an eco-budget of at most one to two tons of CO<sub>2</sub> equivalents per person annually. →

»In particular, a circular economy using regenerative energy sources will create a green growth market.«

Prof. Dr. Hans Jürgen Schlösser



Those are very noble goals. What do we as individuals need to change?

**Paech** Human civilization will not survive unless we – or those of us who live wastefully – limit our consumption and change our ideas of wealth. We can't just rely on technical solutions to achieve sustainable development. Where technology fails, we have to make effective cutbacks. This starts with distinguishing basic needs from decadent luxury. Using scarce resources efficiently means asking: What's more important, electricity for a hospital or a round-the-world vacation? Global justice puts a limit on what an individual person can demand in terms of freedom to consume materials. It's also clear that we've already pushed beyond psychological growth limits as well. Our endless self-satisfaction leads to time poverty, stress, and consumption burnout. In rich societies, depression has become one of the major diseases plaguing civilization. The sociologist Alain Ehrenberg described this impressively as far back as 20 years ago. So, living frugally and staying in the same place are not just ecologically responsible. They also protect individuals from stress and sensory overload.

How much time do we have to change course?

**Paech** Well, I don't have a crystal ball. The fact is that all our planet's resources are becoming scarce and can't be substituted by technology. And that's not to mention ecological crisis scenarios or digitalization, which replaces human work. Either we change ourselves or we'll be changed. Politics is paralyzed because electorates only vote for parties that promise material wealth. The only way forward is a peaceful and democratic uprising of people who visibly refuse to participate in the growth mania and who proactively establish post-growth structures that others want to emulate.

»Using scarce resources efficiently means asking: What's more important, electricity for a hospital or a round-the-world vacation?«

Prof. Dr. Niko Paech



Foto / Photo Carsten Schmale

Doesn't all this require a multilateral approach?

**Schlösser** We need international and European pacts. But we've got to stop waiting for a miracle that will solve everything in a single stroke. It doesn't exist. The crucial thing is to make a start now instead of getting bogged down in endless discussions. Lots of regions around the world have already gotten this message.

**Paech** I can certainly agree with that. The ecosphere knows no national borders. Still, we can try to be trailblazers who offer other countries an inspiring blueprint. People can change if they see good examples in their social or political environment. When this change reaches a critical mass, the transition can progress under its own steam. /

Editorial note: This interview was conducted before the coronavirus pandemic.

# Der empathische Hammer

## Your empathetic hammer

→ Page 77

Interview Oliver Jesgulke



Ob Hämmern, Umformen oder Fräsen sowie fertigungs-  
begleitende Qualitätssicherung – im neu entstehenden  
»Zentrum für Smart Production Design« möchte Professor  
Dr.-Ing. Bernd Engel mit WissenschaftlerInnen aus  
Umform- und Elektrotechnik, Maschinenbau, Produktion  
und Betriebswirtschaft an den Werkzeugen von morgen  
forschen.



**Herr Prof. Dr.-Ing. Engel, Sie sind gerade auf Einkaufstour und schaffen sich modernste Werkzeugmaschinen und Drucktechnologien an – was haben Sie vor?**

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel** Wir wollen an mitdenkenden Werkzeugen forschen, die es so noch gar nicht gibt. Das werden aber keine Batman-Utensilien sein, die niemand braucht. Es geht um industriennahe Werkzeuge, die eine Rückmeldung geben, ihre Gestalt verändern oder Prozesse mitsteuern können.

**Wie kann ein Werkzeug überhaupt denken, wie soll das gehen?**

**Engel** Nehmen wir einen herkömmlichen Hammer aus dem Baumarkt. Mit dem können Sie monoton Nägel in eine Wand schlagen. Das gelingt mal gut, mal weniger gut. Aber was wäre, wenn der Hammer Ihnen die genaue Schlagstärke anzeigt? Und Sie gleichzeitig über einen Regler die Kraft begrenzen könnten? Wir spendieren den Werkzeugen ein Innenleben, das auf äußere Einflüsse reagiert. Dazu setzen wir miniaturisierte, kabellose Sensoren und sogenannte Aktuatoren ein, also kleine Antriebselemente, die elektrische Signale oder Strom in mechanische Bewegungen umwandeln. Und das auf engstem Raum. Die Sensorik vermittelt uns, was in der »Black Box« Werkzeug vor sich geht – wie beispielsweise den Werkzeuginnen-  
druck, Geräusche oder die Temperatur. So könnten Töne im Werkzeug detektiert werden, die eine baldige  
Wartung ankündigen.

**Über welchen Weg rüsten Sie das Werkzeug aus?**

**Engel** Wir schneiden nicht den klassischen Hammer längs auf und packen da Technologien rein und machen alles wieder zu. Stattdessen testen wir innovative Verfahren wie den 3D-Druck, um beispielsweise einen Stiel mit integrierten Leiterbahnen zu drucken.

**Solch ein komplexes Innenleben muss sicherlich mit Energie versorgt werden – wie gelingt das?**

**Engel** Kabel oder Batterien schränken nur ein. Viel praktischer wäre es, die Energie dort, wo sie benötigt wird, zu erzeugen, zu speichern und wieder abzugeben: nämlich direkt im Werkzeug. Unterstützt von sogenannten Piezo-Elementen, die mechanische Kraft in eine elektrische Spannung umwandeln, könnte das Werkzeug kleine Mengen elektrischer Energie aus Quellen wie Druck, Stößen, Bewegungen oder Vibrationen beziehen. Ein Hammerschwung genügt da schon. Man nennt dies auch Energy Harvesting.

**Was lässt sich mit den Daten aus Werkzeugen anfangen?**

**Engel** Mit einem intelligenten Werkzeug bekommen Sie eine völlig neue Datenperspektive. Das Tool kann während der Bearbeitung Fehler melden und gegebenenfalls seine Form oder Festigkeit durch die Aktoren verändern, um auf die Situation zu reagieren. Herkömmliche Werkzeuge dagegen nutzen sich mit der Zeit ab, Fertigungstoleranzen werden überschritten. Ein mitdenkendes Werkzeug soll das verhindern. So können Probleme behoben werden, noch bevor es zu Verschleiß, Qualitätsverlusten oder Schäden am Tool kommt. /

Das NRW-Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie fördert das Forschungsprojekt im Zeitraum von 2019 bis 2022 mit drei Millionen Euro. Ziel danach ist die Fortsetzung mit Industriepartnern.

Whether in hammering, forming, cutting, or in  
quality assurance – at the soon-to-be-completed  
»Center for Smart Production Design«, Professor  
Dr.-Ing. Bernd Engel and scientists from forming  
and electrical engineering, mechanical engineering,  
production, and business management will  
conduct research on the tools of the future.

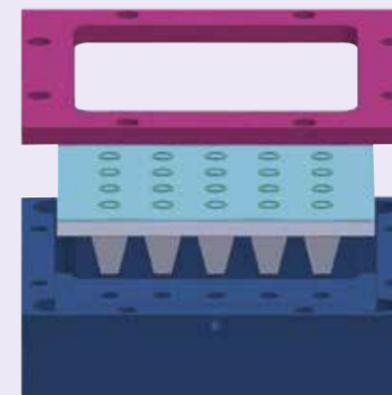


**Prof. Dr.-Ing. Engel, right now, you're in the middle of a shopping spree buying the latest machine tools and printing technologies. What do you plan to do with them?**

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel** Our research will look at smart tools that don't exist today. And I'm not talking about Batman gadgets nobody needs. I'm talking about industrial tools that provide feedback, change their shape, or help control processes.

**How can a tool be smart?**

**Engel** Take for example a conventional hammer from a home improvement store. You can use it to hammer nails into the wall. Sometimes you do the job well, sometimes not so well. But what if the hammer displayed the precise force you're applying? And you could simultaneously reduce the force using a controller? We give tools a »brain« that reacts to external influences. To do this, we integrate miniaturized, wireless sensors and actuators, or small drive elements that convert electric signals or current into mechanical movement. The smart technology takes up minimal space. The sensors tell us what's going on in the tool's »black box«. This could be the inner pressure in the tool, noises, or temperature. A sensor could detect an audio signal in a tool which indicates a need for upcoming maintenance.



**How do you get the smart features into the tools?**

**Engel** Well, we don't cut open the handle of a conventional hammer and sandwich the tech in between the two halves. We're testing innovative processes like 3D printing, for example, to print a handle with integrated strip conductors.

**Complex internal technology like this must require a lot of power. How do you supply the energy?**

**Engel** Cables or batteries just get in the way. It would be much more practical to generate, store and release the energy right where it's needed: directly in the tool. Piezo elements convert mechanical force into electric current. Integrated into tools, they could generate small quantities of electric power from sources like pressure, impacts, motion, or vibrations. A simple swing of a hammer is enough. This process is known as energy harvesting.

**How can we use the data from tools?**

**Engel** An intelligent tool opens up a completely new data prospect. During the work, the tool can report faults and, if necessary, alter its shape or rigidity in response to the situation. Conventional tools wear down over time so that they no longer meet manufacturing tolerances. A smart tool can help stop that from happening. This is how problems can be avoided before the tool suffers wear, quality loss, or damage. /

The Ministry of Economic Affairs, Innovation, Digitalization, and Energy of the state of North Rhine-Westphalia is supporting the research project with three million euros between 2019 and 2022. Thereafter, the aim is to work in cooperation with partners from industry.

3 Fragen an: Professor Dr. Volker Wulf

# Wie machen wir den Mittelstand fit für die Digitalisierung?

Interview Sonja Riedel



Prof. Dr. Volker Wulf

Foto / Photo Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Siegen

## Warum ist Digitalisierung im Mittelstand besonders wichtig?

**Prof. Dr. Volker Wulf** Damit kleine und mittlere Firmen beim digitalen Wandel im Wettbewerb mit größeren Unternehmen nicht abgehängt werden. Durch die Digitalisierung kann aber auch dieser Firmentypus eine Vielzahl neuer Produkte, Dienstleistungen, Prozesse und Arbeitspraktiken entwickeln. Gleichzeitig ist es gerade für diese Betriebe aber oft schwer, passende Ansätze zur Digitalisierung für sich zu finden. Denn bestehende Konzepte zur Industrie 4.0 orientieren sich meist nur an der Großindustrie. Die Mittelständler müssen dann für sich herausfinden, was die Digitalisierung der Arbeitswelt für sie bedeutet. Zudem fehlt ihnen häufig die Zeit und das Budget, um Digitalisierung einfach mal auszuprobieren.

## Wie können kleine und mittlere Unternehmen die Umwandlung zum digitalisierten Unternehmen schaffen?

**Wulf** In dem sie den für sich passenden Weg finden. Es reicht nicht aus, ein Tablet für die Außendienstmitarbeiter anzuschaffen und dann zu denken, damit sei das Unternehmen digitalisiert. Erst wenn zusätzlich auch die entsprechenden Prozesse und Arbeitsprak-

tiken im Unternehmen daran angepasst werden und etwa eine integrierte Materialbestellung eingeführt wird, bringt die Digitalisierung wirklich etwas für das Unternehmen. Es ist auch wichtig, die Mitarbeiter in den Digitalisierungsprozess mit einzubeziehen. Unser Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen setzt auf einen sozialpartnerschaftlichen Ansatz bei der Digitalisierung. Es werden also sowohl die Interessen der Beschäftigten, als auch die der Arbeitgeber und ihrer Vertreter mit einbezogen.

## Welche konkrete Unterstützung bietet das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen für Unternehmen in der Region?

**Wulf** In unserer Workshop-Reihe »Digital Scouts« machen wir Beschäftigte von kleinen und mittleren Unternehmen ein halbes Jahr lang fit für die Digitalisierung, damit sie sie in ihren Unternehmen anstoßen können. In Umsetzungsprojekten helfen wir Mittelständlern bei einem ganz konkreten Anliegen zum Thema Digitalisierung. Gerade in Zeiten von Fachkräftemangel geht es für viele Mittelständler darum, das Erfahrungswissen ihrer Mitarbeiter zu bewahren und weiterzugeben. Wir unterstützen sie dabei, dafür die passende digitale Lösung zu finden. Auch während der Corona-Pandemie sind wir auf die besonderen Bedarfe der Unternehmen eingegangen und haben mehr Angebote digital bereitgehalten. In unserer digitalen Unternehmenssprechstunde können sich kleine und mittlere Firmen mit Fragen und Problemen rund um das Thema Digitalisierung an uns wenden. Außerdem haben wir verstärkt Webinare angeboten und Tipps fürs digitale Home-Office gegeben. /

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen unterstützt kleine und mittlere Unternehmen in Südwestfalen und darüber hinaus bei der Digitalisierung. Die Universität Siegen, die Fachhochschule Südwestfalen, die Ruhr-Universität Bochum und das Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik bilden gemeinsam das Kompetenzzentrum. Es wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.  
<https://kompetenzzentrum-siegen.digital/>

3 questions for: Professor Dr. Volker Wulf

# How can we make small and medium-sized enterprises ready for digitalization?

Interview Sonja Riedel



The Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen supports SMEs in South Westphalia and beyond to digitalize their businesses. The competence center is jointly run by the University of Siegen, the South Westphalia University of Applied Sciences, the Ruhr University Bochum, and the Fraunhofer Institute for Applied Information Technology. It is funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi).  
<https://kompetenzzentrum-siegen.digital/>

Foto / Photo Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Siegen

## How can small and medium-sized enterprises manage the transition to digitalized companies?

**Wulf** By finding the right path for them. Just buying a tablet for your sales rep won't do the job. Digitalization only helps if the company's processes and work practices are adjusted accordingly, including, for example, integrated material ordering. It's also important to involve the workforce in the digitalization process. That's why our Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen has adopted an approach based on social partnerships. This means the changes take account of both employee and employer interests.

## What specific support does the Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen offer companies in the region?

**Wulf** In our »Digital Scouts« workshops, we provide six-month digitalization training courses for staff from SMEs. Then they can apply what they've learned in their companies. In implementation projects, we help SMEs who have specific issues relating to digitalization. These days, when skilled employees are scarce, many SMEs are keen to keep and pass on the experience and knowledge of their current staff. We help them find the right digital solution for their needs. During the coronavirus pandemic, we reacted to the special needs of companies and increased our digital offers. In our digital consultation-hour, small and medium-sized companies can contact us with questions and problems concerning digitalization. We have also increased the number of webinars and provided tips for the digital home office. /

## Why is digitalization so important for small and medium-sized enterprises?

**Prof. Dr. Volker Wulf** So that small and medium-sized companies don't get left in the dust by their larger competitors during the process of digital change. Thanks to digitalization, these companies can also develop lots of new products, services, processes and working methods. At the same time, it's often difficult for them to find the right approaches to digitalization. That's because already existing digitalization concepts have mainly been designed for large-scale industry. SMEs have to find out for themselves what digitalization of their processes means. And of course, they often lack the time or money just to try it out.

# Daten wie mit einem Skalpell sezieren

Dissecting data with precision

→ Page 83

Autorin / Author Maria Berentzen



In der Rubrik »Unsere Start-ups« stellen wir in jeder Ausgabe ein Start-up mit Unibezug vor.

In the section »Our Start-Ups«, we present one start-up relevant to the university in each issue.

Foto / Photo CC by-nc-nd

Letztlich ist es einer Reihe von Zufällen zu verdanken, dass Dr. Alexander Hoffmann und Christian Friedrich dort stehen, wo sie heute sind. Das jedenfalls sagen die Geschäftsführer von statmath selbst – einem Unternehmen in Siegen mit 27 Beschäftigten, das zu den führenden Instituten für die Analyse großer Datenmengen gehört.

## Bei großen Datenmengen

ist es oft gar nicht so einfach, den Überblick zu behalten: Wenn eine Maschine beispielsweise zehn verschiedene Produkte an einem Tag herstellt, für die man sie jedes Mal umbauen muss, dann ist es schwierig, die optimale Reihenfolge zu finden. Es gibt 3,6 Millionen verschiedene Möglichkeiten, diese Optionen zu sortieren. Würde sich ein Mensch daran versuchen, würde er nicht nur sehr lange brauchen, sondern am Ende womöglich trotzdem nicht die optimale Lösung ermitteln.

Das Unternehmen statmath in Siegen hat es sich zur Aufgabe gemacht, solche Herausforderungen zu lösen: Die Beschäftigten analysieren gigantische Datenmengen und schaffen daraus einen Mehrwert für ihre Kundinnen und Kunden. »Wir nehmen Daten mit wissenschaftlichen Methoden ganz ähnlich wie ein Chirurg mit seinem Skalpell auseinander«, sagt Dr. Alexander Hoffmann, einer der beiden Geschäftsführer. Eine Software sorgt dann dafür, dass diese Daten nutzbar werden – insbesondere, um daraus Prognosen und Handlungsempfehlungen zu erstellen. Ein Algorithmus hilft dabei, die Daten nach bestimmten Mustern zu filtern und sie Schritt für Schritt zu sortieren.

Oft sind die Anforderungen deutlich komplexer, als nur die passende Abfolge von Arbeitsschritten bei einer Maschine zu ermitteln. Mit Hilfe von Algorithmen ist es an verschiedenen Stellen möglich, Produktionsprozesse zu optimieren. Das spart Geld – deshalb sind solche Anwendungen gefragt.

## Die Wurzeln des Unternehmens liegen an der Universität Siegen

Angefangen hat die Geschichte von statmath ganz klein an der Universität Siegen. Dort gaben die beiden Mathematikstudenten Christian Friedrich und Alexander Hoffmann Nachhilfe für BWL-Studierende in Statistik. Bald schon sprachen sich ihre analytischen Fertigkeiten herum – und schnell halfen sie auch bei Abschlussarbeiten, für die sie die statistische Bedeutung von Daten analysierten. So stellten



Foto / Photo CC by-nc-nd

die beiden zum Beispiel anhand ihrer Datenanalyse fest, dass eine Organspende eine besonders große Chance auf einen Erfolg hat, wenn SpenderIn und EmpfängerIn ungefähr gleich alt sind.

Dann kam ein Unternehmen mit einem Auftrag für eine statistische Analyse auf die Gründer zu. »Die Firma benötigte eine Rechnung«, sagt Christian Friedrich. »Wir wussten aber gar nicht, wie man Rechnungen schreibt.« Das Bedürfnis wuchs, die eigene Arbeit professioneller zu gestalten – mit einer Unternehmensgründung. Hilfe bekamen die angehenden Mathematiker beim Gründerbüro der Universität Siegen. »Wir sind dort sehr bei unserem Vorhaben unterstützt worden.« Sie meldeten 2009 kurzerhand eine GbR an und wurden als Kleinunternehmer tätig. »Das war damals eine schlanke und effiziente Lösung«, sagt Friedrich. →

## Gemeinsames Projekt mit der Universität Siegen

statmath führt immer wieder gemeinsame Projekte mit der Universität Siegen durch. Dazu zählt beispielsweise DALES (Data Analytics für den lokalen Einzelhandel in einer zukünftigen Smart City). Die Beteiligten forschen gemeinsam mit dem Forschungskolleg der Universität Siegen, der IHK Siegen und verschiedenen TeilnehmerInnen aus Handel und Gastronomie dazu, wie sich der Einzelhandel in der Hansestadt Attendorn gestalten lässt. »Dabei hilft die enge Verzahnung zwischen Wirtschaft und Forschung natürlich ungemein«, sagt Hoffmann.

## Ein Demografie-Projekt brachte den Durchbruch

Das Geschäft lief so gut, dass Hoffmann und Friedrich schnell ihren Status als Kleinunternehmer verloren. Außerdem rückte ihr Universitätsabschluss näher. »Wir haben uns natürlich gefragt, wie es weitergehen soll«, sagt Hoffmann. Das Unternehmen weiter professionalisieren – oder den sicheren Weg gehen und eine feste Stelle annehmen? »Eigentlich war uns schon während des Studiums klar, dass eine klassische Karriere als Mathematiker nichts für uns ist. Wir konnten uns beide nicht vorstellen, in einer Bank oder Versicherung zu arbeiten.«

An diesem Punkt kam wieder der Zufall ins Spiel – und die Sparkasse Siegen, die auf ein Projekt namens »demosim« aufmerksam wurde, weil man sich dort bereits mit dem demografischen Wandel in der Region beschäftigte. Wie für alle regional agierenden Unternehmen ist es auch für die Sparkasse wichtig zu wissen, wie viele Menschen in Zukunft in welchem Alter in ihrem Geschäftsgebiet leben werden. Nur so können sie ihr Angebot darauf optimal einstellen und zukunftsorientiert planen.

Hoffmann und Friedrich freuten sich über die Zusage der Sparkasse. Sie entschieden sich für das Risiko und gründeten 2011 ihre statmath GmbH. Auch hierbei half ihnen das Gründerbüro der Universität, das sie außerdem dabei unterstützte, ein EXIST-Stipendium zu ergattern. Dieses sah befristet für ein Jahr ein Monatsgehalt von 800 Euro vor sowie 12.000 Euro für Sachmittel. Kein Luxusleben also – aber eine solide Grundlage für den Anfang. Friedrich sagt rückblickend: »Wir haben damals den Stein ins Rollen gebracht und seitdem rollt er immer weiter.«

Das Projekt »demosim« begeisterte neben der Sparkasse Siegen auch weitere, überregionale Sparkassen. Es wurde ein Erfolg. Hoffmann und Friedrich zogen aus der Universität in ein eigenes Büro in Siegen um. »Wir hatten dort auf 117 Quadratmetern anfangs zu zweit nur ein paar Ikea-Möbel, zwei Notebooks und zwei Schreibtische«, sagt Hoffmann. Das Start-up wuchs schnell – unter anderem mit dem Projekt »energysim«, mit dem Unternehmen ihren Energiezukauf optimieren können.

## 2011 war das Angebot noch eine Marktlücke

statmath stieß mit dem Angebot bei der Gründung 2011 in eine Marktlücke. Inzwischen ist die Konkurrenz gewachsen. »Wir haben aber das Glück, dass wir von Anfang an dabei waren und uns entsprechend etablieren konnten«, sagt Hoffmann. statmath ist nach acht Jahren als GmbH zwar kein klassisches Start-up mehr, Hoffmann spricht aber trotzdem gerne von einem »Start-up 2.0«. Das Unternehmen ist agil geblieben und kann sich schnell an die Anforderungen des Marktes anpassen. »Wir sind in der Lage, innerhalb von wenigen Wochen eine Software für einen Kunden zu entwickeln, die wir bei Bedarf dann weiter anpassen und ausbauen können.«

Dem Unternehmen hilft auch seine Vielfalt: Ein gutes Drittel der Angestellten sind Frauen, in der Softwarebranche bislang noch eher eine Rarität. Darüber hinaus ist das Team in seinen Fähigkeiten sehr breit aufgestellt: Außer klassischen »Verdächtigen« wie MathematikerInnen, PhysikerInnen, MaschinenbauerInnen und WirtschaftswissenschaftlerInnen arbeiten dort beispielsweise auch SprachwissenschaftlerInnen. Auf diese Weise kommen im Unternehmen ganz verschiedene Denkweisen, Ideen und Lösungswege zusammen. »Das macht uns innovativ und flexibel«, sagt Hoffmann.

Außerdem sind die beiden Gründer, die mit ihrem Unternehmen inzwischen in größere Räumlichkeiten umgezogen sind, weiter eng in Kontakt mit der Uni Siegen. Sie bieten Studierenden beispielsweise an, Abschlussarbeiten bei statmath zu schreiben und beteiligen sich an unterschiedlichen Projekten. »Wir sind bis heute eng mit der Universität verbunden«, sagt Hoffmann.

Die Perspektive für das Unternehmen ist klar: weiterhin gemäßigt wachsen. Für alles andere verlassen sich die Geschäftsführer auf ihre Intuition und ihren Mut – ein Prognosemodell für ihre eigene Zukunft haben sie noch nicht programmiert. /

Ultimately, it was a series of coincidences that got Dr. Alexander Hoffmann and Christian Friedrich to where they are today. Or that's what they say themselves. They are the managing directors of statmath – a company in Siegen with 27 employees which is an industry leader in the analysis of large data volumes.

## If you have large volumes

of data it's often difficult to keep track of everything. For example, if a machine makes ten different products in one day and has to be refitted each time, it can be hard to find the optimal sequence of work. There are 3.6 million different ways of ordering these options. A human would need a very long time to do this, and would quite possibly fail to find the optimal solution anyway.

The company statmath in Siegen specializes in solving challenges like this. Its employees analyze gigantic data volumes, creating benefits and value for their customers. »We use scientific methods to take data apart, a bit like a surgeon with a scalpel,« says Dr. Alexander Hoffmann, one of the two managing directors. Then the company's software makes the data capable of use – especially for drawing up prognoses and recommendations for action. An algorithm helps to filter the data according to certain patterns, and sorts it step by step.

This is often much more complex than simply finding the right sequence of work for a machine. We can use algorithms to optimize production processes at various points. That saves money, which explains why there's such a high demand for these applications.

## The company's roots are at the University of Siegen

statmath's story started very modestly at the University of Siegen. Two math students, Christian Friedrich and Alexander Hoffmann, were giving extra tutoring in statistics to business administration students. Soon they became known for their analytical skills, and suddenly students writing dissertations or theses were asking them for help with the statistical analysis of data. Take a typical case: applying data analysis, the two found that organ transplants have a much better chance of success when the patient and the donor are roughly the same age.

Next, a company approached them with an order for a statistical analysis. »Naturally, they needed an invoice,« says Christian Friedrich. »But we had no idea how to write invoices.« The pressure to professionalize grew, and they decided to found their own company. This was where the start-up office of the University of Siegen stepped in. »They gave us crucial support with our project.« The two students took the plunge in 2009 and founded a German GbR (a partnership under civil law). »At the time, that was the simplest and most efficient solution,« says Friedrich. →



Foto/Photo CC by-nc-nd

### Breakthrough with a demographics project

Business boomed, and soon Hoffmann and Friedrich were no longer just small entrepreneurs. Their university finals were also fast approaching. »Obviously, we weren't sure what to do next,« says Hoffmann. Develop the company, or play it safe and take on steady jobs? »To be honest, even as students we already knew we weren't cut out for a conventional career as mathematicians. Neither of us could imagine working in a bank or insurance company.«

At this point, chance intervened again, in the form of the Sparkasse Siegen bank. Its management had noticed the project named »demosim« because they were looking at demographic change in the region. Just like all regionally operating companies, the Sparkasse also needed to know how many people of what ages would live in their business area in the future. Only then could they optimally tailor their offerings to the market and plan effectively.

Hoffmann and Friedrich were delighted to receive the order from the Sparkasse. So they took a leap of faith and founded statmath GmbH in 2011. Once again the university's start-up office stepped in and helped them secure an EXIST grant. This gave them a monthly salary of 800 euros plus another 12,000 euros for material resources, limited to one year. Hardly a life of luxury – but a solid foundation to start from. Looking back, Friedrich says: »That's when we started the ball rolling, and it's kept on rolling ever since.«

The project named »demosim« was a hit not only with the Sparkasse Siegen, but with other Sparkasse branches outside the region as well. It became a resounding success. Hoffmann and Friedrich relocated from the campus into their own office in Siegen. »At the start, there were only the two of us, a few pieces of Ikea furniture, two notebooks, and two desks on a floor space of 117 square meters,« says Hoffmann. Yet the start-up grew quickly – thanks to projects such as »energysim«, which helps companies to optimize their energy procurement.

### Joint project with the University of Siegen

statmath repeatedly carries out joint projects with the University of Siegen. Take for example DALES (Data Analytics for Local Retailing in a Future Smart City). The project team members are researching how retailing can be developed in the town of Attendorn together with the research center of the University of Siegen, the Siegen Chamber of Commerce, and a range of participants from retailing and hospitality. »As you can imagine, the interplay between business and research is incredibly productive,« says Hoffmann.

### A gap in the market in 2011

At the time of its foundation in 2011, statmath filled a gap in the market. Today, competition has grown. »Because we were lucky enough to be first on the market, we were able to firmly establish our business,« says Hoffmann. Now, after eight years as a German GmbH (limited company), statmath is no longer a classic start-up, but instead what Hoffmann likes to talk of as a »start-up 2.0«. The company has remained agile so it can quickly adapt to market requirements. »We can develop a software for a customer in just a few weeks. Later, we can adapt and expand it if necessary.«

The diversity within the company is also an advantage. A good one-third of the employees are female – a rarity in today's software industry. What's more, the team covers a vast range of capabilities. Apart from the usual suspects such as mathematicians, physicists, engineers, and business administration specialists, it also includes for example linguists. This brings together very different ways of thinking, ideas, and approaches. »That makes us innovative and flexible,« says Hoffmann.

The two founders, who have meanwhile moved to larger premises, are still in close contact with the University of Siegen. They offer students the opportunity to write their dissertations or theses at statmath, and they participate in university projects. »We're still closely connected with the university,« says Hoffmann.

The company's future direction is clear: continued moderate growth. Beyond that, the managing directors rely on their intuition and entrepreneurial spirit. So far, they haven't programmed a model for their own future. /



Foto/Photo CC by-nc-nd

**»Wir sind in der Lage, innerhalb von wenigen Wochen eine Software für einen Kunden zu entwickeln, die wir bei Bedarf dann weiter anpassen und ausbauen können.«**

**»We can develop a software for a customer in just a few weeks. Later, we can adapt and expand it if necessary.«**

Christian Friedrich



**Nora Frei**

ist Chefredakteurin des Forschungsmagazins **future**. Sie arbeitet als Online-Redakteurin in der Pressestelle der Universität Siegen. Vorher war sie unter anderem als Wissenschaftsredakteurin in der Pressestelle der Universität Bielefeld und als Pressesprecherin beim Fußballbundesligisten Sport-Club Freiburg tätig.

is editor-in-chief of the research magazine **future**. She works as an online editor at the Press Office of the University of Siegen. Previously, she worked as a science editor at the Press Office of the University of Bielefeld and as a press spokeswoman for the first division football club Sport-Club Freiburg.



**Sonja Riedel**

ist beim Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen an der Universität Siegen für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit zuständig. Vorher hat sie vier Jahre lang als Journalistin für den WDR Hörfunk gearbeitet.

is responsible for public relations at the Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Siegen at the University of Siegen. Before that, she was a journalist for the WDR radio broadcasting service.



**Tanja Hoffmann**

ist Redakteurin in der Pressestelle der Universität Siegen und stellvertretende Pressesprecherin. Vorher hat sie unter anderem als Redakteurin bei Radio Siegen und Radio Bielefeld gearbeitet.

is an editor and deputy press spokeswoman at the Press Office of the University of Siegen. Before that she worked as an editor for Radio Siegen and Radio Bielefeld.



**Frank Frick**

lebt als freier Wissenschaftsjournalist und Redakteur in Bornheim bei Bonn. Der promovierte Chemiker schreibt als freier Autor für das Forschungsmagazin der Universität Siegen und außerdem für Zeitschriften wie »bild der wissenschaft«, Forschungseinrichtungen und Unternehmen.

holds a PhD in Chemistry and writes for the research magazine of the University of Siegen and for magazines such as »bild der wissenschaft«, as well as for research institutions and businesses.



**Maria Berentzen**

aus Leer (Ostfriesland) ist Wissenschaftsjournalistin und arbeitet u.a. als freie Autorin für **future**. Daneben veröffentlicht sie unter anderem für das Wissenschaftsressort der dpa und für Spiegel Online.

from Leer (Eastern Frisia) is a science journalist and freelance author for **future**. She also writes for the science department of dpa and publications such as Spiegel Online.

**Oliver Jesgulke**

ist seit 2007 als Redakteur und Kommunikationsberater für Unternehmen, Agenturen, Bundesministerien und Verbände im Einsatz. Unter anderem berichtet er über Technologiethemata von Automobilzulieferern. Er hat Wirtschaftskommunikation studiert und lebt in Berlin.

has been working as an editor and communication consultant for companies, agencies, federal government ministries, and associations since 2007. He reports on subjects such as technology in the automotive supply industry. He studied Business Communication and lives in Berlin.



**Jens Wiesner**

ist einfach zu neugierig, um sich zu spezialisieren. Der freiberufliche Autor (GEOlino, stern.de, bento) taucht lieber mit jedem Artikel, für den er recherchiert, in unterschiedliche Welten ein. Aktuell arbeitet er an verschiedenen Projekten, die Journalismus in Comicform übersetzen.

is simply too interested in everything to specialize. The freelance author (GEOlino, stern.de, bento) likes to immerse himself in different worlds with every article he researches and writes. Currently, he's working on various projects that present journalism in comic form.



**Tim Schröder**

arbeitet als Wissenschaftsjournalist in Oldenburg. Der Biologe schreibt seit vielen Jahren für die Süddeutsche Zeitung und Magazine wie Mare oder GEO. Außerdem textet er für Firmen und Forschungseinrichtungen wie die Fraunhofer-Gesellschaft und die Max-Planck-Gesellschaft.

works as a scientific journalist in Oldenburg. He has a degree in biology and has been a contributor to the Süddeutsche Zeitung and magazines such as Mare or GEO for many years. He also writes copy for companies and research institutes such as the Fraunhofer Gesellschaft and the Max-Planck Society.



**Heiner Manderbach**

hat die Fotos des Forschungsmagazins **future** gemacht. Als Freelancer unterstützt er außerdem Unternehmen bei der PR-Arbeit, ist für die Siegener Zeitung als freier Journalist tätig und engagiert sich ehrenamtlich als Medienbeauftragter für eine NGO, die sich für benachteiligte Kinder und Jugendliche in Brasilien einsetzt.

took the photos for this research magazine. As a freelancer, he also supports companies with their PR and works as a journalist for the Siegener Zeitung. Additionally, he volunteers as media officer for an NGO that supports disadvantaged children and young adults in Brazil.

Herausgeber / Publisher

Universität Siegen  
Adolf-Reichwein-Straße 2a  
57076 Siegen

Die Universität Siegen ist eine vom Land Nordrhein-Westfalen getragene, rechtsfähige Körperschaft des öffentlichen Rechts, vertreten durch den Rektor Univ.-Prof. Dr. Holger Burckhart.

The University of Siegen is a corporation constituted under public law as an organization of the Federal State of North Rhine-Westphalia and is represented by the Rector, Prof. Dr. Holger Burckhart.

Redaktionsleitung / Editor-in-chief

**Nora Frei**  
V.i.S.d.P. / responsible according to German press law:  
André Zeppenfeld

Adresse / Address

Adolf-Reichwein-Straße 2a  
57076 Siegen  
T +49 271 486 0  
presse@uni-siegen.de

Layout und Illustrationen / Layout and illustrations

NORDSONNE IDENTITY GmbH, Berlin  
nordsonne.de

Fotografie / Photographs

**Heiner Manderbach**  
Bei der Produktion dieses Magazins wurden die Hygiene-richtlinien des Robert Koch-Instituts zu jeder Zeit eingehalten. Bitte beachten Sie, dass einige Fotos vor der Corona-Pandemie entstanden sind.

We produced this magazine in conformity with the hygiene instructions of the Robert Koch Institute. Please note that some photos were taken before the coronavirus pandemic.

Übersetzungen / Translations

dialog translations, Oldenburg

Korrektur / Proofreading

Textfriseur UG, Frankfurt am Main

Druck / Printed by

Buch- und Offsetdruckerei  
H. Heenemann GmbH & Co. KG

Auflage / No. of copies

5.000 / 5.000

Papier / Paper

Magno matt



Zuständige Aufsichtsbehörde /  
Responsible supervisory authority

Ministerium für Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen

Ministry of Culture and Science of the State  
of North Rhine-Westphalia

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß  
§ 27 a Umsatzsteuergesetz / VAT-ID in accordance  
with § 27 a German VAT Act (UStG)

DE 154854171

© 2020 Universität Siegen / University of Siegen  
publikationen.uni-siegen.de/future

Social Media

facebook.com/unisiegen

instagram.com/unisiegen

twitter.com/uniSiegen

youtube.com/UniversitaetSiegen

Anfragen für ein kostenfreies Abo  
Requests for a free subscription

future@presse.uni-siegen.de

»Ein guter Forscher muss nach der Wahrheit streben und wissen, dass er ihr immer nur nahekommen kann. Er muss Tatsachen anerkennen, gleichgültig, ob diese seinem Denken und seinen Wünschen entgegenkommen oder nicht, das heißt, er muss selbstlos sein. Und er muss die Fähigkeit haben, sich über das Naturgeschehen zu wundern und es zu bewundern.«

»A good researcher must strive for the truth and know that he can only ever get close to it. He must acknowledge facts, regardless of whether they meet his thinking and desires or not, that is, he must be selfless. And he must have the ability to wonder and admire the natural order of things.«



Lise Meitner (1878–1968)  
Physikerin / physicist

Foto / Photo Smithsonian Institution Archives



***future***

[publikationen.uni-siegen.de/future](http://publikationen.uni-siegen.de/future)