



BAM

Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

BAM REPORT 2019



East Side Gallery,
Berlin

Dieser BAM-Report erscheint zwischen zwei historischen Jubiläen: dem 30. Jahrestag des Mauerfalls am 9. November 1989 und dem der staatlichen Einheit Deutschlands am 3. Oktober 1990.

Für unser Land bedeuten beide Daten eine glückliche Zäsur. Und auch für die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), die in den Jahren der Teilung ihren Sitz im westlichen Teil Berlins behalten hatte, waren sie mit guten Veränderungen verbunden: Zur BAM sind über 500 Wissenschaftler*innen des ostdeutschen Amtes für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung sowie aus den Instituten der Akademie der Wissenschaften in Berlin-Adlershof dazugekommen. Die BAM hat damals neue Tätigkeitsschwerpunkte gewonnen, vor allem auf dem Gebiet der Analytischen Chemie, und konnte sich als Teil des sich auch heute noch rasant entwickelnden Wissenschaftsstandortes Berlin-Adlershof positionieren. Blicken wir heute auf die bewegten und bewegenden Monate vor 30 Jahren zurück, so tun wir dies aus einer deutlich veränderten Gegenwart: Aktuell beschäftigen uns große gesellschaftliche Herausforderungen wie die digitale Transformation, Energiesicherheit, demografische Veränderungen und der Klimawandel. Berlin ist inmitten dieser Herausforderungen ein Ort der Innovation und des Aufbruchs in der Mitte Europas. Dafür steht beispielhaft die Ansiedlung des Werner von Siemens Centre for Industry & Science, das in den kommenden Jahren

1989 1990 2019

„Sicherheit in Technik und Chemie – unser Auftrag bleibt in Zeiten beschleunigten Wandels gültig

im Nordwesten der Stadt wachsen wird. Die BAM ist auch hier Partner des Zukunftsprojekts. Sicherheit in Technik und Chemie zu gewährleisten – unser Kernauftrag bleibt inmitten dieses beschleunigten Wandels unverändert gültig. Aber er bezieht sich heute auf die Sicherheit von Nanopartikeln, von Werkstücken aus dem 3D-Drucker oder die Speicher von Wasserstoffautos und morgen auf ganz neue Technologien. Dazu forschen wir in unseren fünf Themenfeldern Energie, Infrastruktur, Umwelt, Material und Analytical Sciences weltweit vernetzt. Über alle Umbrüche hinweg leitet uns dabei eine Idee: Sicherheit macht Märkte. Technologischer Wandel, Kreativität und Erfinder*innengeist ermöglichen den Wohlstand unserer Gesellschaft. Zugleich aber gilt: Erst die Verlässlichkeit neuer Technologien und Materialien schafft das Vertrauen der Menschen in den Wandel und sichert so langfristig unsere Zukunft. ◀

This BAM Report will be published between two historical events: the 30th anniversary of the fall of the Berlin Wall on 9 November 1989 and the 30th anniversary of German unification on 3 October 1990.

Not only were these two dates joyful turning-points for our country, they also brought about positive changes for the Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), which kept its headquarters in the western part of Berlin during the years of division. More than 500 scientists from the East German Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (Office for Standardisation, Metrology and Product Testing) and from the institutes of the Academy of Sciences in Berlin Adlershof joined BAM. At that time BAM added new areas of activity, especially in the field of analytical chemistry, and was able to position itself as part of the still rapidly developing Berlin Adlershof science centre. If we look back today at the eventful and moving months 30 years ago, we do so from a vastly different present. We are currently dealing with major societal challenges such as digital transformation, energy security, demographic shifts and climate change. In the midst of these challenges, Berlin is a place of innovation and new beginnings at the heart of Europe. This is exemplified by the Werner von Siemens Centre for Industry & Science, which will grow in the northwest of the city in the coming years. BAM is also a partner in this major project.

Ensuring safety in technology and chemistry remains our core mission amid this accelerated change. While today we focus on the safety of nanoparticles, components made by 3D printers or storage devices for hydrogen cars, tomorrow we will tackle other new technologies. To this end, we are conducting research in our five focus areas of energy, infrastructure, environment, materials and analytical sciences with partners worldwide. One idea guides us through all these changes: safety creates markets. Technological developments, creativity and innovation make the prosperity of our society possible. However, it is the reliability of new technologies and materials that creates trust in change and thus secures our future long-term. ◀

“*Safety in technology and chemistry remains our core mission in times of accelerated change*”

SICHERHEIT MACHT MÄRKTE

SAFETY CREATES MARKETS

Wir arbeiten für eine ausgeprägte Sicherheitskultur in Deutschland und Sicherheitsstandards, die auch in Zukunft höchsten Anforderungen genügen. Sicherheit macht Märkte.

In den Spitzen- und Schlüsseltechnologien Materialwissenschaft, Werkstofftechnik und Chemie leistet die BAM einen entscheidenden Beitrag zur technischen Sicherheit von Produkten, Prozessen und der Lebens- und Arbeitswelt der Menschen.

Als Bundesoberbehörde sind wir wirtschaftlich unabhängig und moderieren neutral externe Entscheidungsprozesse. Darüber hinaus ermöglichen wir den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Politik und für die Erfüllung öffentlicher Aufgaben. In unseren nationalen und internationalen Netzwerken betreiben wir Technologietransfer und wir nutzen ihre Kompetenzen und wertvollen Impulse für unsere aktuelle Arbeit und die zukünftige Ausrichtung der BAM.

Im Rahmen unserer gesetzlichen und gesellschaftspolitischen Aufgaben identifizieren, kommunizieren und implementieren wir Anforderungen an die Sicherheit in Technik und Chemie für die Gesellschaft von morgen. Mit unseren Innovationen in Forschung und Entwicklung und der Weitergabe unseres Wissens fördern wir die deutsche Wirtschaft. ◀

We make every effort to produce a strong safety culture in Germany and safety standards that will meet the highest requirements in the future.

Safety creates markets.

At the cutting edge of key technologies of materials science, materials engineering and chemistry, BAM makes a crucial contribution to the technical safety of products, processes and to people's life and work environment.

As a senior federal institute, we are financially independent and moderate neutrally external decision-making processes. In addition, we ensure the transfer of scientific knowledge by providing advice to politicians and performing public duties.

We perform technology transfer in our national and international networks and use their competences and valued ideas for both our current work and in setting BAM's future direction.

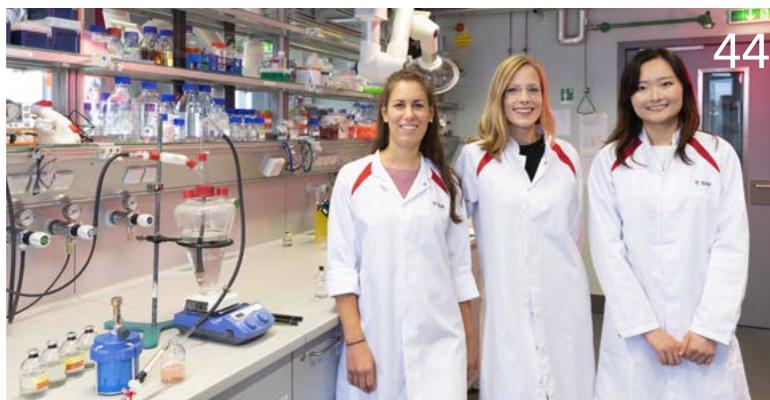
As part of our legal and political tasks we identify, communicate and implement requirements in "Safety in technology and chemistry" for tomorrow's society. Innovations in research and development and the dissemination of our knowledge help promote the German industry. ◀





INHALT

CONTENT



THEMENFELD ENERGIE

FOCUS AREA ENERGY

- Licht am Meeresgrund – neue Möglichkeit bei der Überwachung von Unterseekabeln
Light at the seabed – new possibility for monitoring submarine cables 10
- Leichtere Tanks für Wasserstoffautos
Lighter tanks for hydrogen cars 16

THEMENFELD INFRASTRUKTUR

FOCUS AREA INFRASTRUCTURE

- Wie ein Hornissenschwarm: smarte Drohnen im Test
Like a swarm of hornets: testing smart drones 26
- Mit Ultraschall unsichtbare Schäden an Brücken aufspüren
Using ultrasound to detect invisible damage to bridges 34

THEMENFELD UMWELT

FOCUS AREA ENVIRONMENT

- Stahlfressende Bakterien entziffern
Deciphering steel-eating bacteria 44
- Einem Verwandlungskünstler auf der Spur: besserer Nachweis für schädliches Fluor
On the trail of a quick-change artist: improving the detection of harmful fluorine 52

THEMENFELD MATERIAL
FOCUS AREA MATERIALS

- Selbstheilung von Glas: Dichtungen von Brennstoffzellen reparieren sich in Zukunft selbst
Self-healing glass: fuel cell sealants will repair themselves in the future 60
- Schicht um Schicht: neues Druckverfahren für Hochleistungskeramiken
Layer by layer: a new printing process for high-performance ceramics 68

THEMENFELD ANALYTICAL SCIENCES
FOCUS AREA ANALYTICAL SCIENCES

- Smarter Test für stillende Mütter
Smart test for nursing mothers 78
- Schnellerer Nachweis von gefälschten Lebensmitteln
Fast detection of counterfeit food 86

IM PORTRÄT
PORTRAITS

- Das BAM-Periodensystem
Hier sind wir in unserem Element!
BAM's Periodic Table
Here we are in our element! 94
- Die Freiheit, sich zu entwickeln – ein Alumnus über seine Zeit als Juniorprofessor an der BAM
The freedom of personal development – an alumnus reports about his time as a junior professor at BAM 98
- Prüfen, bewahren, schützen – als Kunstdetektiv an der BAM
Art detective at BAM: testing, preserving, protecting 102
- „Der demografische Wandel und die Digitalisierung sind unsere größten Herausforderungen“
„Demographic change and digitisation are our greatest challenges“ 108
- Die BAM in Zahlen
BAM in figures 112







THEMENFELD
ENERGIE
FOCUS AREA
ENERGY

Für den Wirtschaftsstandort Deutschland ist das Thema Energie von zentraler Bedeutung. Faktoren wie globale Erwärmung und die Energiewende werden die Energieversorgung in der nächsten Dekade nachhaltig verändern. Wir forschen im Themenfeld Energie sowohl an den fossilen Energieträgern wie Erdgas, Kohle und Erdöl als auch an den erneuerbaren Energieformen wie Sonne und Wind. Dabei betrachten wir die gesamte Nutzungskette von der Erzeugung über die Speicherung und den Verbrauch bis hin zur Entsorgung.

Im Fokus unserer Arbeit im Themenfeld Energie stehen vier Aktivitätsfelder: erneuerbare Energien, Energiespeicherung, thermische Kraftwerke und kerntechnische Entsorgung. ◀

The energy issue is of fundamental importance to the German economy. Factors such as global warming and energy transition will drive the conversion to sustainable energy supply in the next decade. In the focus area energy, we conduct research into the overall use of wind, solar, gas, coal and oil energy from production through storage and consumption to disposal.

Our activities within this focus area include renewable energy, energy storage, thermal power stations and radioactive waste disposal. ◀





LICHT AM MEERESGRUND – neue Möglichkeit bei der Überwachung von Unterseekabeln

Offshore-Windkraftträder produzieren besonders zuverlässig Energie. Jedoch können die Kabel, die den Strom an Land leiten, beschädigt werden. Einem BAM-Team ist jetzt ein Durchbruch bei ihrer Überwachung mit Sensoren gelungen.

LIGHT AT THE SEABED – *new possibility for monitoring* *submarine cables*

Offshore wind turbines produce energy particularly reliably. However, the cables that transport the electricity ashore can be damaged. A BAM team has achieved a breakthrough in sensor monitoring.

Über 1300 Windkraftträder stehen heute bereits in Nord- und Ostsee, denn dort weht der Wind besonders konstant. Armdicke Unterseekabel aus Kupfer leiten die erzeugte Energie zur Küste und speisen sie in das Stromnetz ein.

Die Kabel sind zugleich eine der verwundbarsten Stellen des Systems: Niedergehende Schiffsanker oder über den Meeresgrund gezogene Schleppnetze der Fischer können sie leicht beschädigen. An den Verbindungsstücken zwischen zwei Leitungen bilden sich unter ungünstigen Umständen gefährliche Überhitzungen, welche die Kabel rascher altern lassen. Jeder Ausfall der Energieübertragung aber verursacht für die Netzbetreiber Kosten in Millionenhöhe. Auch ein Einsatz der Spezialschiffe, die die Kabel bergen und ersetzen können, ist teuer. Daher hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung schon im August 2015 ein Projekt gestartet, das auf einen sicheren Netzbetrieb und die lückenlose Überwachung der Unterseekabel zielt. Mehr noch: Sensoren sollten möglichst vor Gefahren warnen, bevor überhaupt Schäden entstehen.

Haardünne Sensoren

Die Herausforderung war wie geschaffen für Katerina Krebber und ihr Team. Die Physikerin, die seit 2004 an der BAM arbeitet, ist international eine der führenden Expert*innen für ein spezielles sensorisches Messverfahren – allerdings forscht sie da-

zu an Kabeln, die kaum dicker sind als ein menschliches Haar: Glasfasern.

Katerina Krebber macht sich dabei einen Effekt zunutze, den der französische Physiker Léon Brillouin schon 1922 vorhergesagt hatte: Trifft Licht auf Schallwellen, so wird nur ein Teil der optischen Energie durchgelassen; der Rest wird wie von einer sich auftürmenden Wand zurückgeworfen. Und eben diese Rückstreuung lässt sich verwenden, um ein Glasfaserkabel in seiner kompletten Länge in einen Sensor zu verwandeln.

Forscher*innen wie Katerina Krebber gehen dabei folgendermaßen vor: Sie schicken einen Laserstrahl durch die lichtdurchlässige Faser. Wird das Kabel an einer bestimmten Stelle von außen gedehnt oder wirkt Wärme auf es ein, so verändert das zunächst die Schallwellen, die in solch einer Glasfaser immer vorhanden sind. Sie fließen langsamer oder schneller und beeinflussen dadurch auch das rückgestreute Licht – vor allem dessen Frequenz.

An einem angeschlossenen Messgerät lässt sich diese Veränderung deutlich ablesen. Fast bemerkenswerter noch: Aus der Zeit, die das Licht für Hin- und Rückweg benötigt, lässt sich auch exakt errechnen, wo die Dehnung oder Temperaturveränderung auf die Faser einwirkte. „Das ist ein einmaliger Vorteil der faseroptischen Sensorik, dass man zum einen die gesamte Faser als Sensor nutzen und zugleich den Ort des Geschehens bestimmen kann“, betont Krebber. Dazu existieren gleich mehrere Verfahren.

Wissenschaftler*innen nutzen etwa seit den 1990er-Jahren die sogenannte ortsauflösende faseroptische Sensorik, um den Zustand von Pipelines, Tunneln, Brücken oder Deichen zu überwachen.

Schwelle bei 20 Kilometern

Was aber haben die Glasfasern nun mit den Unterseekabeln am Meeresgrund zu tun? Ganz einfach: Heutzutage werden die haardünnen Lichtwellenleiter fast immer mitverlegt, wenn Versorgungsrohre unter Straßen gezogen oder neue Schienenstrecken gebaut werden. Glasfaserkabel sind das Nervensystem des Informationszeitalters – durch sie fließen die Datenströme des Internets. Und auch die Betreiber der Windparks haben sie, geschützt durch eine Ummantelung, längst in ihre Unterseekabel eingesetzt. Die potenziellen Sensoren liegen also schon am Meeresgrund!

Allerdings war das Messverfahren, das sich bei der Ortsbestimmung auf die „Brillouin-Frequenzbereichsanalyse“ stützt, bisher in seiner Reichweite limitiert. Dabei gilt es als besonders präzise und kostengünstig, um größere Bauwerke und technische Anlagen zu überwachen. Doch weltweit vermochten die Forscherteams eine Schwelle von rund 20 Kilometern nicht zu überschreiten. „Laserlicht, das durch eine Glasfaser läuft, wird durch Wechselwirkungen mit dem Material kontinuierlich schwächer – und irgendwann ist einfach nichts mehr da, das zurückgestreut werden könnte“, erklärt Katerina Krebber.

Deutschlands Offshore-Anlagen stehen jedoch besonders weit vor der Küste, bis zu 100 Kilometer und mehr.

Eine komplizierte Wechselwirkung

2019 ist Kребber und ihrem Mitarbeiter Thomas Kappa ein Durchbruch gelungen: Sie haben die Reichweite der Brillouin-Frequenzbereichsanalyse im Labor erst auf gut 60, dann sogar auf 100 Kilometer gesteigert. Dabei war ihre Glasfaser auf eine Rolle aufgespult.

Wie aber war dieser Quantensprung möglich? „Zunächst einmal haben wir die Schallwellen verstärkt, die durch die Glasfaser laufen. Das macht zugleich den Rückstreuungseffekt prägnanter“, erläutert Katerina Kребber. „Dann haben wir auch in das andere Ende der Faser einen Laserstrahl geschickt, um das zurückgestreute Licht gleichsam zu unterstützen. Und schließlich haben wir ein Fasermaterial verwendet, in dem die Lichtwellen nicht so schnell verebben.“ So, wie sie es erklärt, klingt eigentlich alles ganz einfach. „In Wahrheit

handelt es sich um eine extrem komplizierte Wechselwirkung mehrerer Faktoren“, ergänzt die BAM-Forscherin.

Mit dieser Entwicklung ist ihr Team der Konkurrenz weit voraus; nun wollen sie auch die Reichweiten verwandter optischer Messverfahren steigern, mit denen sich Vibrationen und eindringende Feuchte an Unterseekabeln aufspüren lassen. Die Technik mit dem Brillouin-Effekt sei jedoch sofort einsatzbereit, sagt Kребber. „Die Voraussetzungen dafür liegen ja schon am Meeresgrund.“ ◀



Glasfasern können für die sensorische Überwachung von Unterseekabeln genutzt werden.

Fibre optics can be used for sensory monitoring of submarine cables.

Over 1,300 wind turbines are already installed in the North Sea and Baltic Sea where the wind is particularly steady. Copper submarine cables as thick as an arm transport the generated energy to the coast and feed it into the power grid. At the same time, the cables are one of the most vulnerable parts of the system: ship's anchors or fishermen's trawls pulled over the seabed can easily damage them. Under unfavourable conditions, dangerous overheating may occur at the connectors between two lines causing the cables to age more rapidly. Each failure of the power transmission, however, causes millions in costs for network operators. The use of special ships to recover and replace the cables is also expensive.



Haarfeine Glasfasern werden oft in den Stromkabeln mitverlegt. Mit ihnen lassen sich Dehnungen und Temperaturveränderungen exakt verorten.

Glass fibres as fine as hair are often included in power cables. They can be used to precisely locate elongations and temperature changes.

For this reason, the Federal Ministry of Education and Research launched a project in August 2015 aimed at ensuring secure network operation and seamless monitoring of submarine cables. The goal was to develop sensors that would ideally warn of dangers before any damage occurs.

Hair-thin sensors

The challenge was welcome for Katerina Krebber and her team. The physicist, who has been working

at BAM since 2004, is one of the leading international experts for a special distributed fibre sensor method. Her research, however, focuses on cables that are barely thicker than a human hair – optical glass fibre.

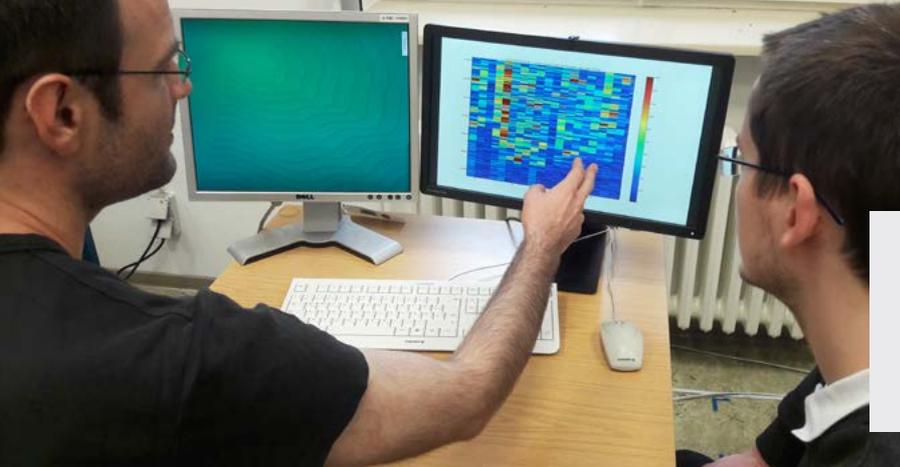
Katerina Krebber makes use of an effect that the French physicist Léon Brillouin had already predicted in 1922: when light hits acoustic waves, only part of the optical energy is transmitted; the rest is reflected back by the acoustic wave. And it is precisely this backscattering that can be used to transform a fibre optic cable into a sensor over its whole length.

Researchers like Katerina Krebber proceed as follows: they send a laser beam through the optical fibre and if the cable is stretched at a certain location or if it is affected by heat, then the velocity of the acoustic

waves in the glass fibre will change there. They propagate slower or faster and thus influence the backscattered light – especially its frequency. A connected measuring device can clearly detect this change. What is even more remarkable is that based on the time required for the light to travel to a location and back, researchers can calculate exactly where the strain or temperature change affected the fibre. “This is a unique advantage of fibre optic sensor technology because on the one hand the whole fibre can be used as a sensor and on the other hand the location of the event can be determined,” explains Krebber. Several distributed fibre optic sensor methods exist for this purpose. Since the 1990s, scientists have been working on the development of distributed fibre optic sensors to monitor the condition of pipelines, tunnels, bridges and dikes.

Sensor-range-limit at 20 kilometres

But how do glass fibres relate to submarine cables at the bottom of the sea? Quite simple: nowadays, the hair-thin optical fibres are almost always laid when supply pipes are built under roads or new railway lines are constructed. Fibre optic cables are the nervous system of the information age – Internet data streams flow through them. And the operators of wind farms have long since built them into their submarine cables, protected by a sheath. Thus the potential sensors are already lying on the seabed. However, the distributed fibre optic sensor method,



*Auswertung eines
Störereignisses*

*Analysing the data from
an disruptive event*

which is based on the “Brillouin optical frequency domain analysis” for determining the location, has so far been limited in its range. This method is considered to be particularly precise and cost-effective for monitoring large structures and technical facilities. However, research teams worldwide have not been able to exceed the sensor-range-limit of approximately 20 kilometres. “Laser light that propagates through a glass fibre is continuously attenuated by interactions with the material – and at some locations

there is simply nothing left that can be scattered back,” explains Katerina Krebber. However, Germany’s offshore wind farms are particularly far off the coast: up to 100 kilometres and more.

A complex interaction

Krebber and her colleague Thomas Kappa achieved a breakthrough in 2019 when they first increased the range of the Brillouin optical frequency domain analysis in the laboratory to a good 60 km, then even to

100 km! During the experiment the glass fibre was wound onto a spool.

But how was this quantum leap possible? “First of all, we amplified the acoustic waves that propagate through the glass fibre. This makes the backscattering effect stronger,” describes Katerina Krebber. “Then we also sent a laser beam into the other end of the fibre to amplify the backscattered light. And finally, we used a fibre material in which the light waves do not attenuate so significantly.” The way she explains it, everything sounds very simple. “The truth is that this is an extremely complex interaction of several physical effects,” adds the BAM researcher. Her team’s development is far ahead of her competitors’. Next they want to increase the range of related distributed fibre optic sensor techniques to detect vibrations and humidity in submarine cables. “The technology using the Brillouin effect is immediately ready for use,” says Krebber. “The requirements are already lying at the bottom of the sea.” ◀



KONTAKT/CONTACT

Dr. Katerina Krebber
Katerina.Krebber@bam.de

Faseroptische Sensorik
Fibre Optic Sensors

*Burstversuch auf dem
Testgelände Technische
Sicherheit der BAM*

*Burst test on BAM's Test
Site for Technical Safety*





LEICHTERE TANKS FÜR WASSERSTOFFAUTOS

Wasserstoff ist auch im Individualverkehr ein Antriebsmittel der Zukunft. Noch sind nur wenige Fahrzeuge mit dem Energieträger unterwegs. Die BAM forscht mit an der Entwicklung leichter Tanks, die den Durchbruch beschleunigen könnten.

LIGHTER TANKS FOR HYDROGEN CARS

Hydrogen is a propellant of the future in private transport. However, currently there are only a small number of vehicles using this energy carrier. BAM is working on the development of lighter tanks that may accelerate its breakthrough.

Elektro-Autos lassen sich nicht nur mit Lithium-Batterien, sondern auf umweltschonende und geräuscharme Weise auch mit Wasserstoff betreiben: Brennstoffzellen wandeln die chemische Energie des Gases in Strom um. Dabei entstehen keinerlei Stickoxide oder CO₂, sondern lediglich Wasserdampf. Ein weiterer Vorteil dieser Antriebsvariante: Der Wasserstoff lässt sich, um Platz zu sparen, extrem verdichten. Ein Kilogramm des Gases enthält dann fast dreimal so viel Energie wie ein Kilogramm Erdöl. So erzielen Fahrzeuge, die heute auf dem Markt sind, bereits Reichweiten von etwa 500 Kilometern. Ihre Tanks – die Wissenschaft spricht von „Speichern“ – lassen sich wie bei einem Benzinler innerhalb von wenigen Minuten befüllen.

Ein Druck wie am Grund des Marianengrabs

Wasserstoff ist also ein vielversprechender Energieträger bei der Ablösung von Verbrennungsmotoren durch modernere Aggregate. Dennoch sind auf Deutschlands Straßen erst etwa 600 Wasserstoffautos unterwegs. Das liegt zum einen am noch spärlich ausgebauten Versorgungsnetz, das jedoch kontinuierlich wächst. Aktuell existieren im Bundesgebiet rund 80 entsprechend ausgerüstete Tankstellen – und damit mehr als in jedem anderen Land in Europa. Zum anderen sind die Fahrzeuge aber noch relativ teuer.

Ein wesentlicher Kostenfaktor sind die Behälter, die den Wasserstoff aufnehmen. Die Autohersteller

verteilen sie zumeist auf zwei oder drei Gasspeicher mit einem Fassungsvermögen von insgesamt etwa 150 Litern und verbauen sie zwischen Vorder- und Hinterachse.



Bei einem Unfall muss gewährleistet sein, dass die Gasspeicher mechanischen Kräften standhalten und kein Gas austritt.

Diese Tanks müssen besonders hohe Sicherheitsanforderungen erfüllen, denn sie werden bis auf 875 bar befüllt. Das entspricht etwa dem Druck, der am Grund des pazifischen Marianengrabs herrscht, der mit rund 11.000 Metern tiefsten Stelle der Weltmeere. Zudem ist Wasserstoff entzündlich. „Bei einem Unfall muss gewährleistet sein, dass die Gasspeicher den mechanischen Kräften standhalten, die auf sie einwirken, und möglichst kein Gas austritt“, sagt Georg Mair. Der promovierte Ingenieur

koordiniert die Beteiligung der BAM am Forschungsvorhaben DELFIN. Unter diesem Namen haben sich Kooperationspartner aus der Auto- und Zuliefererindustrie, Hersteller von Karbonfasern, Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie sowie wissenschaftliche Einrichtungen zusammenschlossen. „Wir forschen im Rahmen eines Programms der Bundesregierung gemeinsam an neuen Wasserstofftanks, die natürlich alle gesetzlichen Sicherheitsanforderungen erfüllen, aber zugleich leichter und damit kostengünstiger zu produzieren sind“, so Mair.

Gemeinsam wollen die Partner in einem mehrstufigen Prozess den Prototypen eines Gasspeichers entwickeln. Bisher sind die Tanks knapp einen Meter lang und bestehen aus einem Innenbehälter aus Kunststoff, dem sogenannten Liner, der den Wasserstoff dicht einschließen soll. Umwickelt ist er mit kilometerlangen Strängen, die sich wiederum aus abertausenden nur wenige tausendstel Millimeter dünnen Fasern aus Kohlenstoff zusammensetzen und die dem Tank erst seine Festigkeit verleihen. „Bei der Herstellung der Speicher sind die Karbonfasern ein entscheidender Punkt“, erklärt Mair. „Sie machen etwa ein Drittel der Kosten aus.“ Der neue Prototyp soll möglichst um ein Zehntel günstiger zu produzieren sein und bis zu 15 Prozent an Gewicht einsparen – ohne Einbußen bei der Sicherheit. Doch so weit sind die Projektpartner noch nicht.

Die Grenzen des Materials austesten

„Zunächst testen wir an einem Referenzbehälter – also an einem schon existierenden Speicher – die Grenzen des Materials aus“, sagt Georg Mair. „Damit verschaffen wir uns eine Vergleichsgrundlage, die es in dieser Art noch nicht gibt. In einem zweiten Schritt werden wir verbesserte Speicher prüfen. Aus diesen soll in einem dritten Schritt ein Prototyp hervorgehen.“

Auf Gasspeicher wirken große Kräfte von innen und von außen ein. Zum einen müssen sie dem enormen Druck der komprimierten Tankfüllung standhalten. Dazu führen die BAM-Wissenschaftler an mehreren Exemplaren des Referenzbehälters eine Reihe von speziellen Berstprüfungen durch: Sie pressen in die bereits mit Wasser vorgefüllten Tanks über mehrere Stunden zusätzlich einige Liter der Flüssigkeit. Auf diese Weise erhöhen sie langsam, aber kontinuierlich und mit hoher Präzision den Innendruck. „Wir blasen die Speicher praktisch wie einen Luftballon auf – nur mit Wasser. Das machen wir so lange, bis sie bersten“, so Mair. Bei dem Test sind die Gasspeicher in einen stählernen Schutzbehälter eingeschlossen. Der wiederum ist von einem Container umgeben, sodass beim Bersten keine Gefahr für das Prüfteam besteht.

Die BAM-Forscher bringen ihre Prüfmuster auch bei 85 Grad Celsius zum Bersten. Das entspricht der Temperatur, die beim regulären Füllen eines Speichers mit Wasserstoff an einer Tankstelle entstehen



*Anlage zum Befüllen der
Wasserstoffspeicher*

*Equipment for filling hydrogen
storage tanks*

darf. Die hohe Temperatur entwickelt sich, wenn Gas sehr schnell einströmt und komprimiert wird. Die bisherigen Prüfungen haben gezeigt, dass die Referenzbehälter einen Innendruck von rund 2000 bar aushalten.

50.000 Lastwechsel in einer Woche

Um ihre Lebensdauer zu prüfen, setzen die Forscher die Tanks einem weiteren Test aus: Alle 15 Sekunden erhöhen sie den Innendruck des mit Wasser gefüllten Speichers auf 875 bar – und entlasten ihn sofort wieder. 50.000 dieser schnellen Wechsel führen sie binnen einer Woche durch. So simulieren sie die Belastung beim Tanken, der das Material über viele Jahre ausgesetzt wäre. Die Testreihe gibt ihnen zusätzlichen Aufschluss über die Festigkeit der Speicher.

Jeder Wasserstofftank muss zudem beweisen, dass er auch äußeren mechanischen Belastungen standhalten kann, wie sie etwa bei einem Auffahrunfall entstehen können. Bei diesen Szenarien darf ebenfalls kein Gas aus den Speichern austreten. Von einem selbstkonzipierten Fallturm wollen die BAM-Forscher eine stählerne Halbkugel an einem bis zu 200 Kilogramm schweren Gewicht auf Prüfexemplare des leeren, teil- oder vollbetankten Referenzbehälters stürzen lassen. Sie werden anschließend den Kunststoff des Liners und die Wickelstränge der Karbonfasern im Computertomografen auf feine Risse untersuchen – Veränderungen, die mit dem

bloßen Auge nicht zu erkennen wären. Danach werden sie die so vorgeschädigten Speicher erneut mithilfe von Berstprüfungen auf ihre Restfestigkeit testen. Erst dann lässt sich beurteilen, wie sicher die Prüfmuster unter diesen Extrembedingungen sind, und abschätzen, ob auch ein leichterer Speicher den Zulassungsprozess bestehen würde.

Georg Mair ist da zuversichtlich: „Wenn man die Entwicklungen rund um Wasserstoff weltweit betrachtet, dann wird der Energieträger in nicht allzu ferner Zukunft Pkw mit hoher Reichweite und Lkw, auch Züge und Schiffe CO₂-neutral und geräuscharm antreiben. Um diese Entwicklungen in Deutschland aktiv mitgestalten zu können, brauchen wir leichte, günstige und sichere Speicher, die in großer Stückzahl hergestellt werden.“ ◀

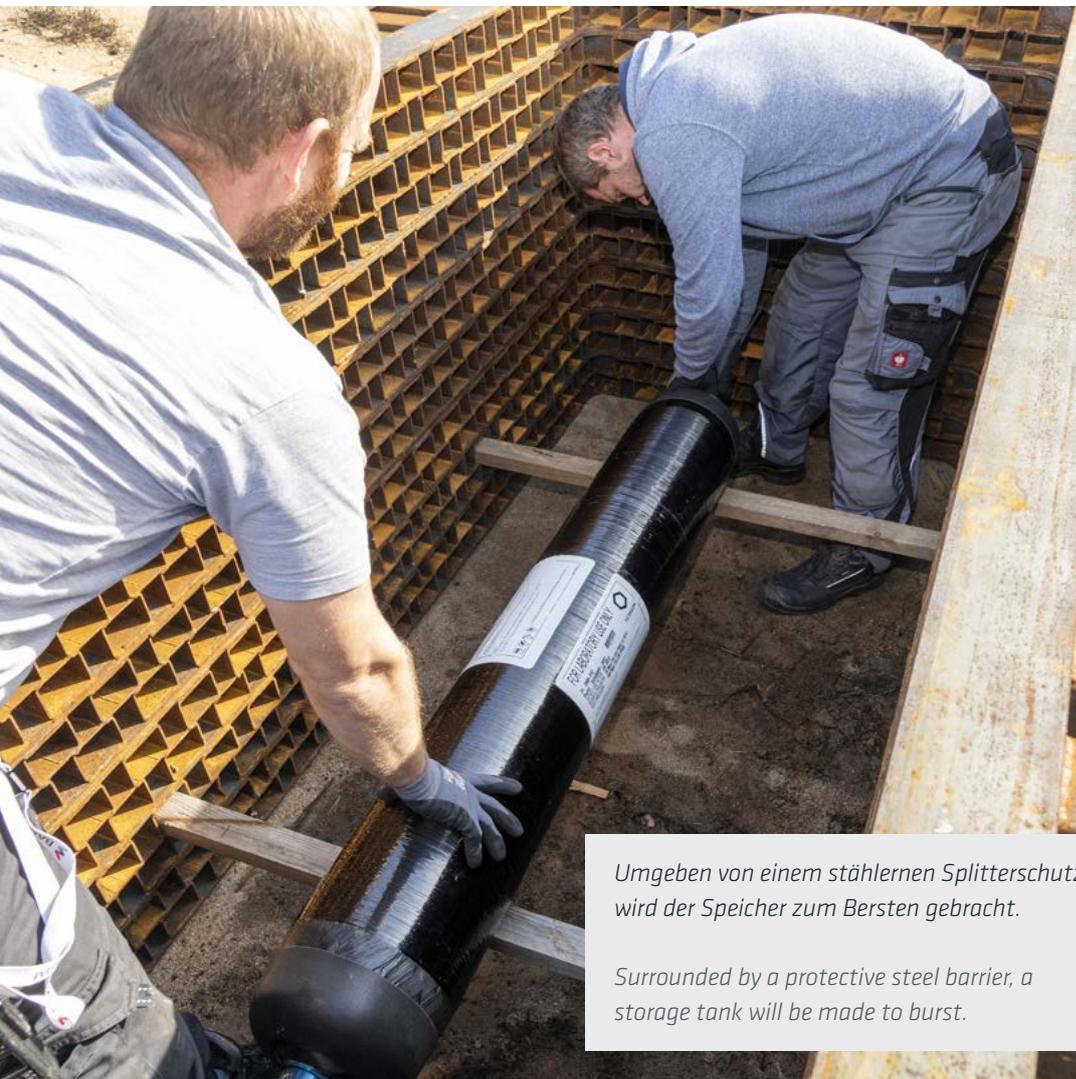
Electric cars can be operated not only with lithium batteries but also with hydrogen in an environmentally friendly and quiet way. Fuel cells can convert the chemical energy of gas into electricity. This process produces only water vapour and no nitrogen oxides or CO₂. Another advantage of this fuel is that hydrogen can be highly compressed to save space: thus, one kilogram of gas contains almost three times as much energy as one kilogram of crude oil. Hydrogen-propelled vehicles currently on

the market provide ranges of about 500 kilometres. Their fuel tanks – or so called “high-pressure storage cylinders” – can be filled within a few minutes, just like petrol tanks.

A pressure comparable to the bottom of the Mariana Trench

Hydrogen is a promising energy carrier for replacing combustion engines with more modern ones. Nevertheless, currently there are only about 600 hydrogen cars on Germany’s roads. This is partly due to the still sparse network of filling stations. But it is growing steadily. There are more than 80 stations in Germany equipped with this technology – more than in any other country in Europe. Another obstacle is that the vehicles are still relatively expensive. A major cost factor are the containers that hold hydrogen. Car manufacturers usually install two or three gas storage tanks with a total capacity of around 150 litres and locate them between the front and rear axles.

These tanks must meet particularly high safety requirements because they are filled to a pressure of up to 875 bar. This corresponds roughly to the pressure prevailing at the bottom of the sea in the Mariana Trench in the Pacific Ocean which, at about 11,000 metres, is the deepest point in the world. In addition, hydrogen is flammable. “In the event of an accident it must be ensured that the gas storage tanks can withstand the mechanical forces



Umgeben von einem stählernen Splitterschutz wird der Speicher zum Bersten gebracht.

Surrounded by a protective steel barrier, a storage tank will be made to burst.

impacting them and that no gas may be released – if possible,” says Georg Mair. Mair, who received a PhD in engineering, leads BAM’s research within the DELFIN project. Cooperation partners from the automobile and supplier industries, carbon fibre manufacturers,

“In the event of an accident it must be ensured that the gas storage tanks can withstand the mechanical forces impacting them and that no gas may be released.”

companies in the plastics processing industry and scientific institutions have joined forces under this name. “As part of a German government programme, we are jointly researching new hydrogen tanks that meet all mandatory safety requirements but are lighter and therefore more cost-effective to produce,” says Mair.

Together the partners want to develop a prototype gas storage tank in a multi-step process. Up to now, the tanks have been less than one metre long and consist of an inner plastic container, the liner, which must be gastight to store hydrogen. These are wrapped with kilometres of strands, which in turn are made up of thousands and thousands of carbon filaments that are only a few thousandths of a millimetre thick



and that give the tank its strength. “The carbon fibres are a decisive factor in the manufacturing of the storage tanks,” explains Mair. “They account for about one third of the costs.”

The new prototype should be a tenth of the production cost and save up to 15 percent in weight – without compromising safety. But the project partners have not yet reached that stage.

Testing the limits of the material

“First, we need to test the strength limits of the existing state-of-the-art tank,” says Georg Mair. “This provides us with a reference for comparison with the new tank once it is built. We will test these improved storage tanks in a second step and then step three will be a full-size prototype.”

Gas storage tanks are subjected to large forces from the inside and outside. They have to withstand the enormous pressure of the compressed gas inside. BAM scientists carry out a series of special burst tests on several individual reference tanks: they pump a few additional litres of water into the already water filled tanks over several hours.

*Reste des gebrostenen
Wasserstoffspeichers*

*Remains of the burst
hydrogen storage tank*

In this way, they increase the internal pressure slowly but steadily and with high precision. “We inflate the tanks like a balloon – only with water. We do this until they burst,” says Mair. The gas storage tanks are enclosed in a protective test chamber during the test, which in turn is placed in a steel container so that there is no danger to the research team when the tank ruptures. The BAM scientists also burst their test samples at 85 degrees Celsius. This corresponds to the temperature that can occur when a storage tank is normally filled with hydrogen at a filling station. The high temperature develops when gas is quickly filled and compressed. Tests to date have shown that the reference tank can withstand an internal pressure of up to 2,000 bar.

50,000 load cycles in a week

In addition, the scientists check the tank’s service life: using water, they increase the internal pressure of the storage tank to 875 bar every 15 seconds

– and immediately relieve the water pressure again. They carry out 50,000 of these rapid changes within a week. In this way, they simulate the load during refuelling to which the material would be exposed to over many years. The test series provides additional information about the strength of the storage tank.

Every hydrogen tank must also prove that it can withstand external mechanical stresses, such as those that can occur in a rear-end collision. In these scenarios, too, no gas may escape from the storage tanks.

For this test, the scientists drop a steel hemisphere weighing up to 200 kilograms from a drop tower onto test specimens of empty, partially or fully filled reference tanks. They will then examine the plastic of the liner and the carbon fibre winding strands for fine cracks using computer tomography – revealing changes that would not be visible to the eye. They will then use slow burst tests to determine the residual strength of the damaged tanks. Only then will it

be possible to assess how safe the test samples are under these extreme conditions and to assess whether a lighter tank would also pass the approval process. Georg Mair is confident: “If one looks at the worldwide developments around hydrogen, this source of energy will power long-range cars and lorries, trains and ships in a CO₂ neutral and low-noise way in a not too distant future. We need light, inexpensive and safe storage cylinders that are produced in large quantities in order to be able to actively help shape these developments in Germany.” ◀

KONTAKT/CONTACT

Dr. Georg Mair
Georg.Mair@bam.de

Sicherheit von Gasspeichern
Safety of Gas Storage Systems





THEMENFELD

INFRASTRUKTUR

FOCUS AREA

INFRASTRUCTURE

Die moderne, jederzeit verfügbare und technisch sichere Infrastruktur von Industrieanlagen, Bauwerken, Versorgungssystemen und Transportwegen ist zentral für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Der technologische Fortschritt und die sich verändernde Mobilität stellen uns dabei ebenso vor Herausforderungen wie alternde Infrastruktursysteme. Im Thema Infrastruktur betrachten wir die technische Zuverlässigkeit und dauerhafte Sicherheit solcher Systeme.

Im Fokus unserer Arbeit im Themenfeld Infrastruktur stehen die Aktivitätsfelder Sicherheit und Lebensdauer von Bauwerken, Sicherheit von Industrieanlagen und Verkehrswegen, Transport und Lagerung von Gefahrstoffen und -gütern, Fire Science und Security. ◀

A modern, readily available and technically safe infrastructure of industrial installations, structures, supply systems and transport routes is crucial to the German economy. Technological progress, changing mobility and ageing infrastructure systems are posing an increasing challenge. In the focus area infrastructure, we investigate the technical reliability and long-term safety of such systems.

Our activities within this focus area include safety and life cycle of structures, safety of industrial facilities and traffic routes, transport and storage of dangerous substances and goods, fire science and security. ◀







A man wearing a grey beanie, a blue jacket, and a high-visibility yellow safety vest stands in a grassy field. He is holding a drone controller in his hands. The background is a vast, open field with sparse vegetation under a clear sky.

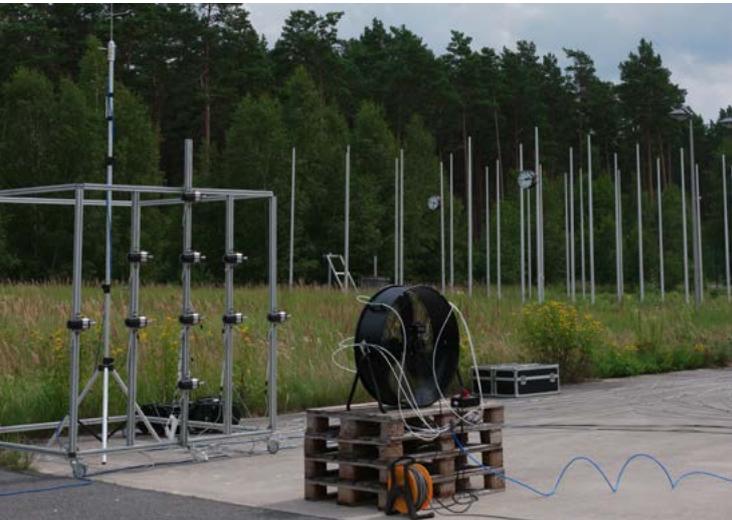
WIE EIN HORNISSENSCHWARM: smarte Drohnen im Test

Drohnen mit smarten Sensoren können heute bei Gaslecks, Bränden und anderen Gefahrensituationen wertvolle Informationen liefern. Experten der BAM forschen an der Spitze der rasch wachsenden Zukunftstechnologie. Nun wollen sie Testszenarios für die Entwickler*innen von Drohnen und Sensortechnik anbieten.

LIKE A SWARM OF HORNETS: *testing smart drones*

Today, drones with smart sensors can provide valuable information in the event of gas leaks, fires and other hazardous situations. BAM experts are at the forefront of this rapidly developing future technology. Now they want to offer test scenarios for the developers of drones and sensors.

Methangas strömt aus einem Leck in einer Rohrleitung: eine tückische, unsichtbare Gefahr. Ein einziger Funke könnte das Gemisch entzünden und eine Stichflamme oder sogar eine Explosion auslösen. Unverantwortlich wäre es, Einsatzpersonal mit Messgeräten direkt zu der schadhafte Stelle zu schicken. Ein Summen unterbricht plötzlich die Stille in den Kiefernwäldern Brandenburgs. Das Geräusch schwillt an zum Tosen eines Hornissenschwarms. Zu sehen ist jedoch erst einmal nichts. Doch da: eine Drohne – aber nur eine einzige, mit schwarzem Rumpf und mit acht abgespreizten Armen, auf denen Rotoren wirbeln. Das Gerät schwebt wie ein Rieseninsekt heran und bleibt etwa 20 Meter über der Leckage in der Luft stehen. Ein Sensor am Bauch des Flugobjekts bestimmt die



Ein Sensor am Bauch der Drohne misst Gasmoleküle aus sicherem Abstand.

A sensor on the drone's belly measures gas molecules from a safe distance.

Gaskonzentration über der undichten Stelle per Fernmessung und funkt die Daten zu einem Rechner in sicherer Entfernung.

Ein ganz neues Forschungsfeld

Unweit davon steht Patrick Neumann, der Drohnenbeauftragte der BAM. Er steuert das summende Flugobjekt mit kurzen, geschickten Bewegungen über einen Joystick. Eine wirkliche Gefahr für Leib und Leben besteht diesmal nicht. Denn Neumann und seine Kollegen haben die Leckage auf dem Testgelände der BAM im brandenburgischen Horstwalde, 50 Kilometer südlich von Berlin, nur simuliert. Mit einem Knopfdruck stoppen sie den Gasaustritt an der Rohrleitung. Es ist nur eines der vielen Risikoszenarien, die sie auf dem weitläufigen Gelände durchspielen können.

Vor elf Jahren ist der Informatiker an die BAM gekommen. Damals forschte Neumann an Sensornetzwerken. Wissenschaftler*innen bestückten zu dieser Zeit fahrbare Roboter mit den Fühlern, um etwa Gas aufzuspüren. Doch die kleinen Gefährte waren in ihren Einsatzmöglichkeiten beschränkt; auf unebenem Terrain blieben sie rasch stecken. Mit den neuen Drohnen, die damals auf den Markt kamen, eröffnete sich für den Wissenschaftler ein ganz neues Feld. Patrick Neumann war gleich begeistert von den „Unmanned Aircraft Systems“, kurz UAS, zu denen man die Rotorflügler zählt. „Drohnen sind äußerst flexibel einsetzbar. Und es macht Spaß, sie zu fliegen, weil sie so einfach in der Handhabung sind“, schwärmt er. Neumann begann, die unbemannten Flugobjekte mit einem Gassensor auszurüsten.

Von der Schwierigkeit, eine Gaswolke zu vermessen

Allerdings zeigte sich gleich, dass Drohnen, so beweglich sie in der Luft sind, auch einen entscheidenden Nachteil mit sich bringen: Ihre Rotoren erzeugen Abwinde und Turbulenzen – sie verdünnen und

Mit Sensoren bestückte Drohnen können Bauwerke vermessen oder Windkraftanlagen überwachen.

Drones equipped with sensors can survey buildings or monitor wind turbines

verfälschen damit ausgerechnet jene flüchtige Substanz, die der smarte Sensor an ihrem Rumpf bestimmen soll. Die Daten waren zwar oftmals noch hinreichend genau, um eine Leckage an einer Pipeline oder gefährliche Emissionen über einer Mülldeponie oder einem Gasspeicher zu lokalisieren. Aber die Ergebnisse waren nicht ganz befriedigend. Patrick Neumann und seine Kollegen dachten über eine bessere Lösung nach.

2015 kombinierten die Wissenschaftler der BAM ihre Drohnen erstmals mit einem Sensor, der es überflüssig macht, direkt in eine Gaswolke hineinzufiegen. Das Gerät sendet einen Laserstrahl aus; wird das Signal vom Boden reflektiert, errechnet der Sensor, wie viele Gasmoleküle auf dem Hin- und Rückweg liegen. Er kann auf eine Entfernung von bis zu 30 Metern eingesetzt werden; somit beeinflusst der Rotorabwind die Messungen nicht mehr.

Die Auswertung der Daten ist allerdings immer noch diffizil genug. Patrick Neumann und seine Kollegen haben dazu spezielle Algorithmen entwickelt: Sie





Mittels Fernsteuerung und Tablet lassen sich Drohnen leicht manövrieren.

Drones can be easily manoeuvred by remote control and a tablet.



kombinieren mehrere Messungen des Lasers und erstellen dann mithilfe der Computertomografie eine dreidimensionale Karte der Gasverteilung um ein Leck. Das Laser-Verfahren ist deutlich schneller als eine punktuelle Messung und erlaubt es ihnen, auch die Quelle des Austritts zu bestimmen. Auf dem Gebiet der Aerial Robot Olfaction, der Messung von Gasverteilungen und der Verortung von Leckagen mit UAS, nimmt das Team der BAM momentan international eine führende Rolle ein.

Testfeld für die Zukunft

Doch dies ist erst der Anfang. Denn bestückt man Drohnen mit smarten Sensoren, so ergeben sich vielfältige neue Anwendungsmöglichkeiten: Sie können große Bauwerke exakt aus der Luft vermessen, Risse an Autobahnbrücken entdecken, mit Infrarotkameras Wärmebilder von unübersichtlichen Waldbränden liefern, bei Hochwasser oder Erdbeben zum Einsatz kommen, Windkraftanlagen, Gleisstrecken und Atommeiler aus der Luft überwachen. UAS, die in einem schützenden Käfig umgeben sind, können sogar in Minen, Tunnel oder große Schornsteine eintauchen – eine Wandberührung bringt sie nicht zum Absturz. Eines Tages vermögen Drohnen vielleicht sogar Sprengstoffreste im Boden zu entdecken.

„Es ist ein Forschungsgebiet, das gerade rasant Fahrt aufnimmt – und ein Milliardenmarkt dazu“, erläutert Patrick Neumann. „Inzwischen sind die UAS auch für Behörden, Polizei, Feuerwehr und andere Einsatzkräfte erschwinglich geworden. Ein von der EU-Kommission geschaffener Verbund europäischer Flugsicherheitsorganisationen schätzt, dass sie im Jahr 2050 allein auf dem Kontinent 400.000 Drohnen nutzen werden, momentan sind es lediglich 10.000.“ Auf dem Gelände der BAM in Horstwalde lassen sich schon jetzt einige mögliche Gefahrenlagen durchspielen. Neumann und seine Kollegen wol-

len dort künftig für kommerzielle Drohnen- und Sensorentwickler*innen vielfältige Testsznarien anbieten. Die Bedingungen vor Ort sind ideal; auf dem abgeschiedenen Areal dürfen Drohnen nach behördlicher Genehmigung höher aufsteigen als andernorts. Und die BAM erfüllt somit ihren sicherheitstechnischen Kernauftrag auch im 21. Jahrhundert. Vielleicht wird man also im brandenburgischen Horstwalde künftig häufiger das vermeintliche Tosen eines Hornissenschwarms hören und beim Blick in den Himmel nur eine smarte Drohne im Einsatz entdecken. ◀

Methane gas flows from a leak in a pipeline: a dangerous, invisible hazard. A single spark could ignite the mixture and trigger a flash fire or even an explosion. It would be irresponsible to send emergency personnel with measuring instruments directly to the accident site. A humming suddenly interrupts the silence in the Brandenburg pine forests. The sound swells to a buzzing, but there is no hornet swarm to see. However, there is a drone with a black hull with eight extended arms, on which rotors are spinning. The device hovers like a giant insect and remains in the air about 20 metres above the leak. A sensor below the flying object determines the gas concentration above the leak remotely and transmits the data to a computer that is located at a safe distance.

An entirely new field of research

Not far away is Patrick Neumann, BAM's drone commissioner. He controls the humming flying object with short, skilful movements via a joystick. There is no real danger to life and limb this time. Neumann



*Versuchsaufbau aus
Drohnenperspektive*

*Test setup from a drone's
perspective*

and his colleagues are only simulating a leakage at the BAM test site in Horstwalde, Brandenburg, 50 kilometres south of Berlin. At the push of a button, they stop the gas escaping from the pipeline. It is just one of the many risk scenarios they can simulate there.

The computer scientist joined BAM eleven years ago. At that time, Neumann was researching sensor networks. Other scientists equipped mobile robots with sensors to detect gas, for example. However, the small robots were limited in their applications; and got stuck quickly

on uneven terrain. Fortunately, the availability of new drones opened a whole new set of opportunities for the scientist. Patrick Neumann was immediately fascinated by these unmanned aircraft systems or UAS for short, which is how experts classify rotorcraft wings. “Drones are extremely flexible. And it is fun to fly them because they are so easy to control,” he enthuses. So, Neumann began equipping the unmanned flying objects with gas sensors.

The challenges of measuring a gas cloud

However, it immediately became apparent that drones, as mobile as they are, have a decisive disadvantage: their rotors generate downwind and turbulences. Thus, they dilute and distort the volatile substances that the smart sensor is trying to determine. The data is often still accurate enough to locate a leak in a pipeline, dangerous emissions over a landfill or a gas storage facility, but the results are not entirely satisfactory. Patrick Neumann and his colleagues thought about a better solution.

In 2015, for the first time, BAM scientists combined their drones with a sensor that eliminated the need to fly directly into a gas cloud. The device sends out a laser beam and once reflected from ground, the

sensor calculates how many gas molecules are on the beam's route. It can be used at distances of up to 30 metres, so the rotor downdraft no longer influences the measurements.

However, the evaluation of the data is still difficult. Patrick Neumann and his colleagues have developed special algorithms for this purpose. They combine several laser measurements and then use computed tomography to create three-dimensional maps of the gas distribution around a leak. The laser method is much faster than a point measurement and also allows them to determine the source of the leak. Because of their expertise, the BAM team currently plays a leading role internationally in the field of aerial robot olfaction, which is the measurement of gas distribution and the location of leaks using UAS.

Test field for the future

This is just the beginning. Drones equipped with smart sensors enable a wide range of new applications. They can precisely measure large structures, detect cracks in motorway bridges, use infrared cameras to provide thermal images of forest fires, be used during floods or earthquakes, as well as monitor wind turbines, railway track sections and nuclear reactors while being airborne. A UAS surrounded by a

protective cage can even enter mines, tunnels or large chimneys – a contact with the wall does not cause them to crash. One day, drones may even be able to detect explosive residues in the ground.

“It is a field of research that just continues to pick up speed and the market is worth billions,” says Patrick Neumann. “UAS have become affordable for authorities, police, fire brigades and other emergency services. An association of European air safety organisations set up by the EU Commission estimates that they will use 400,000 drones on the continent alone by 2050, compared to only 10,000 at present.”

Some of these potential hazardous situations can already be simulated at BAM's test site in Horstwalde. Neumann and his colleagues plan to offer a wide range of test scenarios for commercial drone and sensor developers in the future. The conditions on site are ideal because the drones are allowed – with prior official authorisation – to ascend higher than elsewhere. These activities demonstrate how, even in the 21st century BAM continues to fulfil its core safety mission.

So perhaps in the future, one may more frequently hear the apparent buzzing of a swarm of hornets in Horstwalde only to look up and discover a smart drone in action. ◀



KONTAKT/CONTACT

Dr. Patrick Neumann
Patrick.Neumann@bam.de

Sensorik, mess- und prüftechnische Verfahren
Sensors, Measurement and Testing Methods



An aerial photograph of a town with a church spire, a river, and a bridge. The text is overlaid on a white, angular shape that points towards the bottom right.

MIT ULTRASCHALL UNSICHTBARE SCHÄDEN AN BRÜCKEN AUFSPÜREN

Deutschlands Brücken sind einem stetig wachsenden Verkehr ausgesetzt. Um die Tragfähigkeit der Bauwerke zu überprüfen, nutzen Statiker*innen bisher vor allem alte Konstruktionspläne. Die BAM hat ein viel präziseres Ultraschall-Verfahren evaluiert.

USING ULTRASOUND TO DETECT INVISIBLE DAMAGE TO BRIDGES

Germany's bridges are exposed to constantly growing traffic. In order to check the load-bearing capacity of the structures, stress analysts have so far relied mainly on old construction plans. BAM has evaluated a much more precise ultrasonic method.

Mehr als hunderttausend Brücken spannen sich in Deutschland über Täler, Flüsse und Autobahnen. Tagtäglich rollen Millionen Autos, Lkw und Busse über die Konstruktionen aus Beton und Stahl. Der Verkehr lässt die Bauwerke vibrieren, der Wind zerrt an ihnen. Im Wechsel der Jahreszeiten greifen Hitze, Regen, Eis und Schnee ihre Substanz an. Tausalz dringt ins Innere und lässt den Bewehrungsstahl korrodieren.

Alle drei Jahre überprüfen Gutachter*innen im Auftrag der Brückenbetreiber die Bauten auf Risse und andere äußerliche Abnutzungserscheinungen. Entdecken sie verdächtige Stellen, müssen Statiker*innen berechnen, ob die Traglast der Brücke dem stetig zunehmenden Verkehr noch gewachsen ist. Ihre Kalkulationen stützen sich jedoch vor allem auf die alten Baupläne, die oft schon viele Jahrzehnte zurückdatieren – falls sie überhaupt noch vorhanden sind. Das Innere der Brücke bleibt ihnen jedoch verborgen.

Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten von Schall

So wissen die Statiker*innen letztlich nicht, ob alle sicherheitsrelevanten Elemente auch wirklich vorhanden sind und ob die stählernen Spannseile, die den Beton längs und quer durchziehen und ihn damit zusammenhalten, tatsächlich so eingebaut wurden wie vorgeschrieben. Schon eine Abweichung um wenige Zentimeter kann gravierende Auswirkungen auf die Tragfähigkeit und damit auf die Lebensdauer einer Brücke haben.

„Diese Informationen sind wichtig, damit Straßenbaubehörden Sanierungen langfristig planen können und nicht erst aktiv werden, wenn bereits umfangreiche Arbeiten oder sogar ein Neubau erforderlich sind“, sagt Stefan Maack. Der Bauingenieur ist an der BAM Experte für die Ortung von Brückenschäden.

Maack und seine Kollegen entwickeln wissenschaftliche Methoden,

die den Statiker*innen ein präziseres Abbild vom Innenleben einer Brücke vermitteln. Sie wollen vermeiden, dass dafür die Bauwerke für Probenentnahmen aufgesägt werden müssen. Die BAM-Wissenschaftler greifen dabei auf eine bewährte Methode aus der Luftfahrtindustrie zurück: Dort untersucht man die Tragflächen, Rumpfe und Turbinen der Maschinen mit Ultraschallwellen auf Risse und andere Schäden. Allerdings arbeiten die Techniker*innen zumeist mit dem gleichförmigen Werkstoff Metall, dessen innerer Zustand und Aufbau viel leichter zu überprüfen ist. Jedes Material lässt Schallwellen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit passieren; dort, wo sich die Geschwindigkeit verändert, kann man einen Materialwechsel vermuten und lokalisiert ihn durch genauere Untersuchung.



Ziel war es, nachzuweisen, dass Ultraschallmessungen auch bei Stahlbeton funktionieren.

Bei alten Brücken weiß jedoch heute niemand mehr genau, welche Stoffe ein beauftragtes Bauunternehmen vor Jahrzehnten dem Beton beige-mischt hat oder wie genau die Körnung des Kieses beschaffen war. Auch der einbetonierte Stahl hat einen Einfluss auf die Untersuchungen.

„Unser Ziel war es nachzuweisen, dass Ultraschallmessungen auch bei so heterogenen Baustoffen wie Stahlbeton zuverlässig funktionieren“, erklärt Stefan Maack.

Eine einzigartige Gelegenheit

In einer Halle der BAM lagern 59 sauberlich nummerierte und in Folie verpackte Bohrkern aus Beton, jeder einen Meter lang. Um die zerstörungsfreie Prüfmethode zu evaluieren, hat Maack etwas scheinbar Paradoxes getan: Er hat eine Brücke gezielt zersägt.

Im Juli 2019 ergab sich dazu eine einzigartige Gelegenheit: Im bayerischen Roding sollte eine Straßenbrücke, die sich seit Jahrzehnten über den Fluss Regen spannte, durch einen Neubau ersetzt werden.

Vorher durften Stefan Maack und sein Team mit einem Ultraschallgerät das Bauwerk untersuchen. Sie zeichneten damit an einem über 15 Meter langen Teilstück Messwerte auf. Überall dort, wo die Schallwellen auf die Grenze zwischen zwei Materialien trafen – wo also Beton an Stahl grenzte oder Beton an Luft –, wurde das Ultraschallsignal reflektiert. „So konnten wir anhand der Zeit, die die Schallwellen für den Hin- und Rückweg benötigten, genau errechnen, wo ein stählernes Spannglied saß oder wo sich Risse und Hohlstellen befanden“, erklärt Maack.

Danach schufen er und sein Team am Rechner anhand der Daten ein exaktes Modell der Brücke und trafen Vorhersagen über ihren inneren Aufbau.

Aber waren die Annahmen auch zutreffend?

*Ultimativer Belastungstest
mit einem Bergepanzer*

*Ultimate load test using
a recovery tank*





Mit Ultraschall lässt sich erkennen, wo Spannglieder sitzen oder sich Risse und Hohlstellen befinden.

Ultrasound can be used to trace tendons, cracks and cavities.

Der ultimative Belastungstest

Um das zu überprüfen, setzten die Forscher die bereits für den Verkehr gesperrte Brücke einem ultimativen Belastungstest aus: Ihre Kooperationspartner*innen von der Münchener Universität der Bundeswehr, die das Experiment federführend begleiteten, ließen einen 54 Tonnen schweren Bergepanzer in Höchstgeschwindigkeit über das gesamte Bau-

werk donnern und dann abrupt abbremsen. Die Brücke bog sich in der Mitte um mehrere Zentimeter durch.

Als die Brücke schließlich abgebrochen wurde, ließen die BAM-Forscher die tragenden Betonstege des mit Ultraschall gescannten Teilstücks in meterbreite Scheiben zersägen. Noch vor Ort ergab ein erster Abgleich der Schnittflächen mit den per Ultraschall erhobenen Daten, dass die Wissenschaftler das Innere des Bauwerks exakt bestimmt hatten; alle Stahlelemente befanden sich an den zuvor ermittelten Positionen.

Zusätzlich entnahmen die Wissenschaftler aus den Brückenfragmenten 59 Bohrkern und schickten sie nach Berlin. Im Labor untersuchten sie die genauen Eigenschaften des Betons und konnten so die Ultraschall-daten nachträglich kalibrieren. Das Verfahren hatte den Praxistest bestanden. „Wir haben den Leistungsnachweis für die zerstörungsfreie Prüfung an einer Brücke erbracht“, erklärt Maack. „Und wir können ihn mit Zahlen belegen.“

Nun will der BAM-Forscher das Verfahren auch für die Anwendung in der Praxis tauglich machen. Weil der Verkehr in Deutschlands weiter zunimmt, wird auch der Bedarf an statischen Nachberechnungen steigen. Bislang sehen die gesetzlichen Normen dafür kaum aussagekräftige Methoden vor.

In Zukunft werden Ingenieur*innen also lediglich wenige Bohrkern vor Ort entnehmen müssen, um damit ihr Ultraschallgerät zu kalibrieren. Mit dem Messinstrument können sie den Statiker*innen, die die Tragfähigkeit alter Brücken neu berechnen, hochpräzise Daten zur Verfügung stellen. So besitzen diese künftig eine viel verlässlichere Methode, um die Tauglichkeit der Bauwerke (fast) zerstörungsfrei zu beurteilen. Bei Schäden können sie rechtzeitig warnen; im Fall von Brücken, deren Lebensdauer eigentlich abgelaufen ist, womöglich belegen, dass sie noch eine Weile tragfähig sind. ◀

More than one hundred thousand bridges span valleys, rivers and motorways in Germany. Millions of cars, lorries and buses roll over these concrete and steel structures every day. Traffic causes vibration, wind exerts stresses, and, as the seasons change, heat, rain, ice and snow wear down their substance. De-icing salt penetrates the interior and corrodes the reinforcing steel.

Once every three years, experts commissioned by bridge operators inspect the structures for cracks and other external signs of wear. If they discover any suspicious spots, stress analysts must calculate whether the load-bearing capacity of the bridge can cope with the steady growth of traffic. In their calculations, experts rely above all on old building plans which often date back many decades – if available at all. However, the inside of the bridge remains hidden.

Different velocities of sound

Stress analysts do not know whether all safety-relevant elements are actually present, nor whether the steel tensioning ropes that pull the concrete longitudinally and transversely to hold it together were actually installed as required. A deviation of just a few centimetres can

Treffen die Schallwellen auf verschiedene Materialien, wird das Signal reflektiert.

When sound waves hit different materials the signal is reflected.



“Our goal was to prove that ultrasound measurements are reliable even with reinforced concrete.”

have serious effects on the load-bearing capacity and thus on the service life of a bridge.

“This information is important for road authorities to be able to plan renovation projects on a long-term basis and not when extensive work or even rebuilding has become necessary,” says Stefan Maack. The civil engineer at BAM is an expert in detecting bridge damage.

Maack and his colleagues are developing scientific methods that provide stress analysts with a more precise picture of the inside of a bridge. They want to avoid having to saw open the structures to take samples. BAM scientists use a method proven in the aviation industry where engineers use ultrasound waves to test the wings, fuselages and turbines of their aircraft for cracks and other damage. However, they usually deal with the uniform material metal, the internal condition and structure of which are much easier to test. Each material lets sound waves pass at different speeds. Where the speed changes, the engineers suspect a change in material and locate it in a more thorough investigation.

In the case of old bridges, however, nobody knows exactly which materials the commissioned construction company added to the concrete decades earlier or what the exact grain size of the gravel was. The steel placed in concrete also has an influence on the investigations.



Die Ultraschalldaten werden mit Untersuchungen der Bohrkerne abgeglichen.

Ultrasound data are compared with tests on the bridge samples.

“Our goal was to prove that ultrasound measurements are reliable even with such heterogeneous building materials as reinforced concrete,” explains Stefan Maack.

A unique opportunity

59 neatly numbered concrete test cores packed in a foil, each one metre long, are stored in a hall at BAM. Maack did something seemingly paradoxical: he sawed a bridge into pieces in order to evaluate the non-destructive test method.

A unique opportunity arose in July 2019: a road bridge that had spanned the river Regen for decades in Roding, Bavaria, was to be replaced by a new one.

Stefan Maack and his team had previously had the opportunity to test the structure with an ultrasound device and recorded measurements on a 15-metre section of the bridge. The ultrasound signal was reflected wherever the sound waves hit an interface between two materials –where concrete bordered steel or concrete bordered air. “This allowed us to calculate exactly where a steel tensioning rope was located or where cracks and cavities were, based on the time it took for the sound waves to travel there and back,” explains Maack. He and his team then created an exact model of the bridge using their computer data and made predictions about its internal structure. But were the assumptions correct?

The ultimate load test

To check this, the researchers subjected the bridge, which had already been closed to traffic, to an ultimate load test. Their cooperation partner the Bundeswehr University Munich, which conducted the experiment with BAM, had a 54-tonne armoured recovery vehicle thunder across the entire structure at top speed and then make an abrupt stop. As a result, the bridge bent several centimetres in the middle. When the bridge was finally demolished, the BAM researchers had the load-bearing concrete webs of the ultrasound-scanned section cut into metre-wide slices. An initial on-site comparison of the cut surfaces with the ultrasound data revealed that the scientists had been right in their assessment of the structure’s interior: all steel elements were in the previously determined positions. In addition, the scientists extracted 59 test cores from the bridge fragments and sent them to their laboratory in Berlin.

They determined the exact properties of the concrete and were then able to calibrate the ultrasound data. The method had passed the practical test. “We provided proof that non-destructive testing on a bridge is feasible,” explains Maack. “And our data confirm it.” Now the BAM researcher wants to make the process suitable for practical application. The need for static recalculations will also increase as traffic in Germany continues to increase. So far, statutory standards provide hardly any informative methods for this. In the future engineers will only need to extract a few test cores on site to calibrate their ultrasound equipment. With the measuring instrument they can provide highly accurate data to stress analysts who then recalculate the load-bearing capacity of old bridges. In so doing, a much more reliable method will be available to experts to assess the suitability of structures (virtually) non-destructively. They can issue warnings in the case of damage, and they may be able to prove that bridges whose service life has expired are still capable of bearing loads for some time to come. ◀

KONTAKT/CONTACT

Dr. Stefan Maack
Stefan.Maack@bam.de

Zerstörungsfreie Prüfmethode für das Bauwesen
Non-Destructive Testing Methods for Civil Engineering





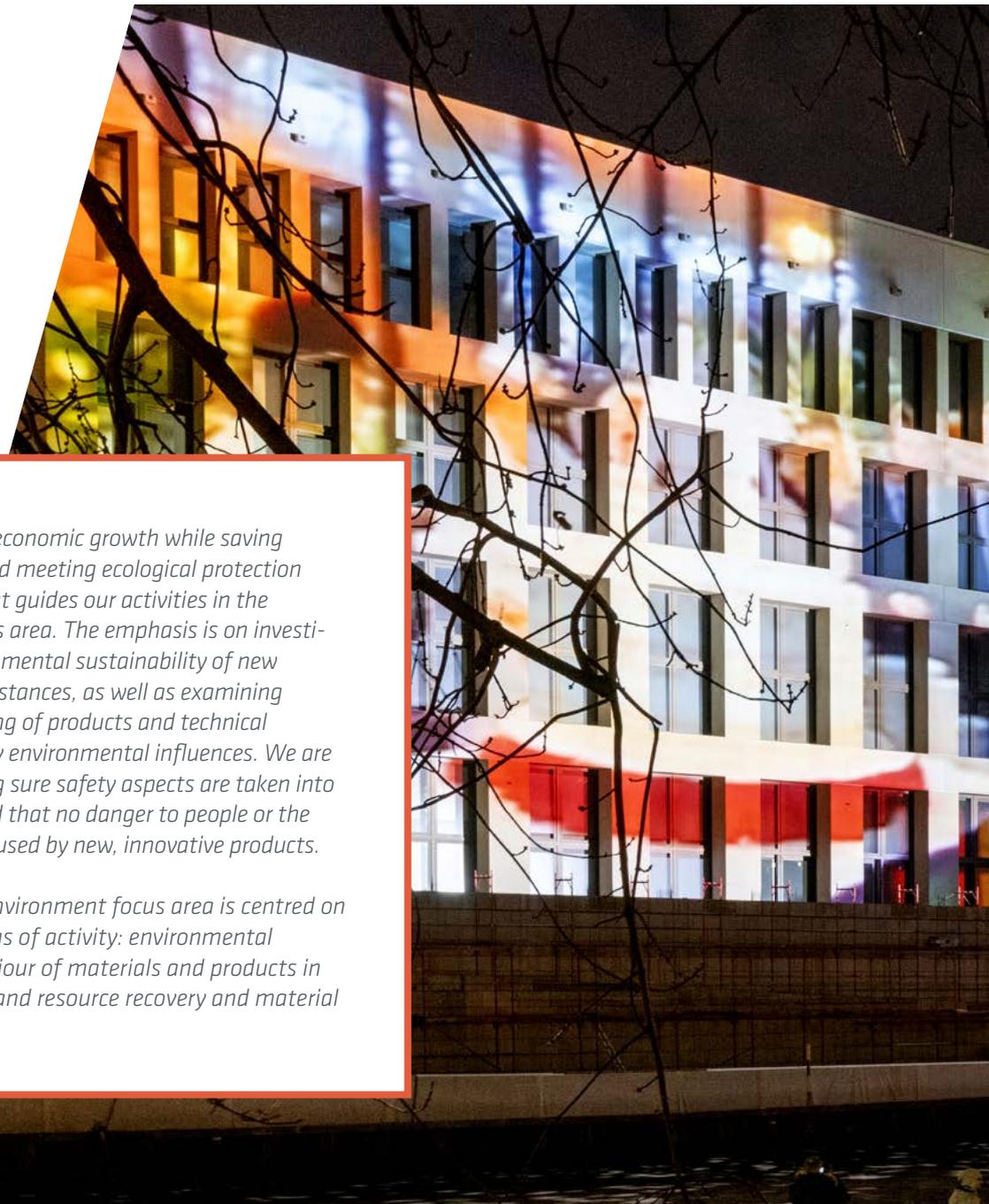
THEMENFELD
UMWELT
FOCUS AREA
ENVIRONMENT

Wirtschaftliches Wachstum fördern, dabei Ressourcen schonen und ökologische Schutzziele einhalten – das leitet unsere Aktivitäten im Themenfeld Umwelt. Schwerpunkte sind Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit neuer Materialien und Stoffe sowie zur Schädigung und Alterung von Produkten und technischen Systemen durch Umwelteinflüsse. Wir tragen dazu bei, dass Sicherheitsaspekte berücksichtigt werden und dass von neuen, innovativen Produkten keine Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeht.

Im Fokus unserer Arbeit im Themenfeld Umwelt stehen die Aktivitätsfelder Umweltschadstoffe, Umweltverhalten von Materialien und Produkten sowie Ressourcenrückgewinnung und Materialverwertung. ◀

Encouraging economic growth while saving resources and meeting ecological protection goals – this is what guides our activities in the environment focus area. The emphasis is on investigating the environmental sustainability of new materials and substances, as well as examining damage and ageing of products and technical systems caused by environmental influences. We are involved in making sure safety aspects are taken into consideration, and that no danger to people or the environment is caused by new, innovative products.

Our work in the environment focus area is centred on the following areas of activity: environmental pollutants, behaviour of materials and products in the environment and resource recovery and material recycling. ◀





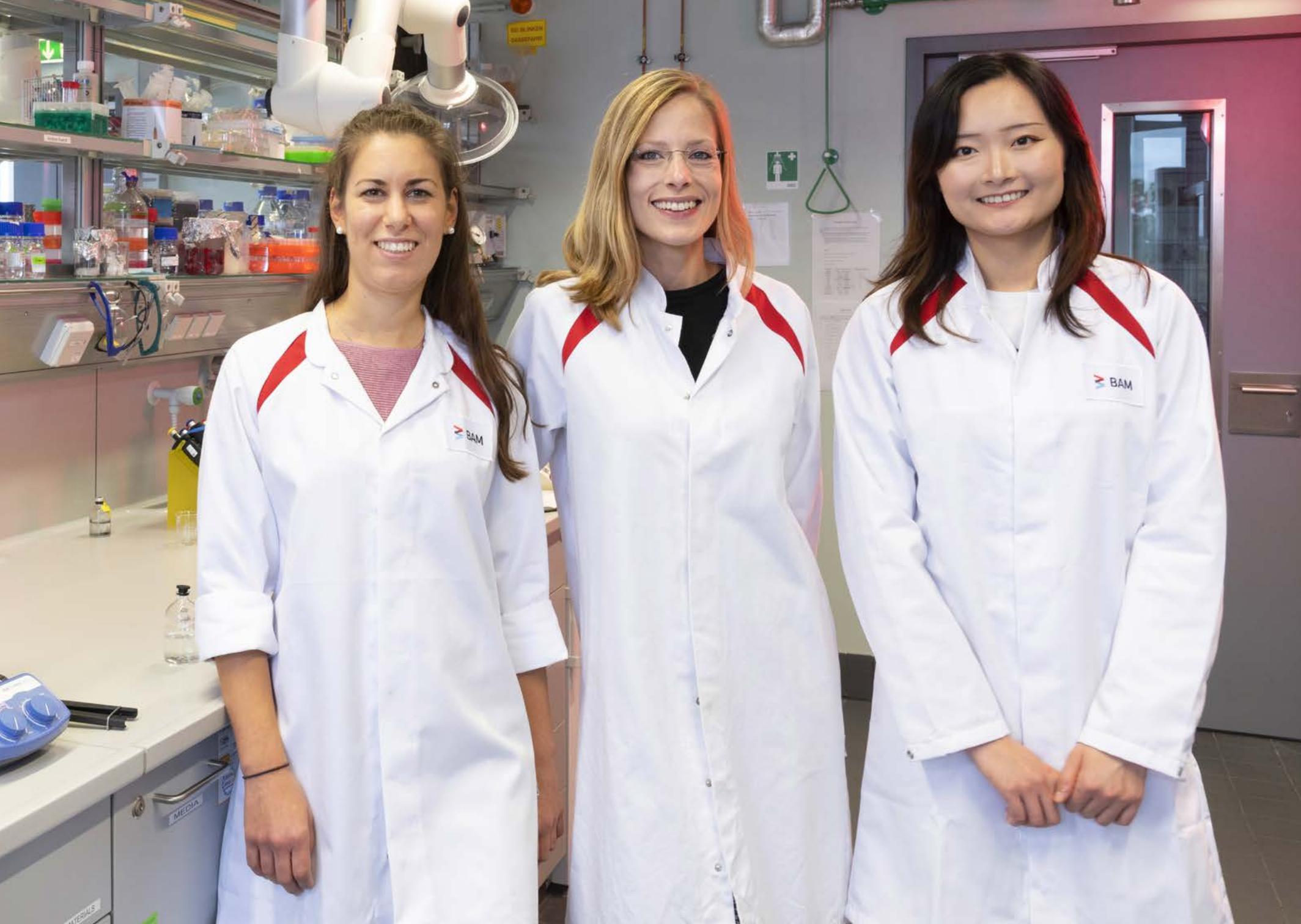
STAHLFRESSENDE BAKTERIEN ENTZIFFERN

Korrosion durch Mikroorganismen verursacht jedes Jahr weltweit Schäden in Billionenhöhe. Bislang wirkt kein Mittel dauerhaft gegen sie. Wissenschaftlerinnen an der BAM wählen einen neuen Weg, um die winzigen Organismen zu bekämpfen. Sie simulieren im Labor reale Umweltbedingungen, um die Mechanismen der Überlebenskünstler zu entschlüsseln.

DECIPHERING STEEL-EATING BACTERIA

Every year, corrosion by microorganisms causes billions of dollars of damage worldwide. So far, no remedy has worked against them permanently. Scientists at BAM have found a new way to combat the issue by simulating actual environmental conditions in the laboratory in order to decipher the mechanisms.





Stutzig gemacht hatte Andrea Koerdt die Sache mit der Pipeline in Nigeria: Die Biologin der BAM hatte in einer Publikation gelesen, dass im Boden des westafrikanischen Landes eine Ölleitung stark korrodiert war. Dabei gab es im Erdreich um das Rohr kaum Sulfat – die Schwefelverbindung ist der wichtigste Nährstoff von bestimmten Mikroorganismen, sogenannten Sulfatreduzierern, die gewöhnlich für ein Zerstörungswerk dieser Art verantwortlich sind. Der Fall war merkwürdig.



Dem Rätsel auf der Spur

Dass Mikroben Korrosion verursachen können, wissen viele Menschen nicht, obwohl gerade diese Form der Schädigung weitverbreitet ist. An der BAM forschen gleich mehrere Teams zur mikrobiell induzierten Korrosion, kurz MIC. Mikroben sind Einzeller, die mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind, aber unter dem Mikroskop faszinierend schillern. Abermillionen verschiedene Spezies gibt es von ihnen, dazu zählen Bakterien und Archaea – beides kernlose Einzeller – ferner bestimmte Pilze. Mikroben können Oberflächen auf zweierlei Art schädigen: Entweder fressen sie regelrechte Krater und Löcher in das Material, indem sie ihm Elektronen oder auch ganze Atome entziehen, oder sie produzieren durch ihren Stoffwechsel chemische Verbindungen, die im Zusammenspiel mit anderen Substanzen die Flächen, auf denen sie siedeln, angreifen.

Nahezu überall entfalten sie ihr subtiles Zerstörungswerk im Kleinen – mit fatalen Folgen für das große Ganze: Sie attackieren Abwasserleitungen aus Beton, nagen Löcher in Dieseltanks, zersetzen die Fundamente von Windkraftanlagen. Kein Material, sei es aus Metall, Kunststoff oder Glas, ist vor ihnen sicher.

Jahr für Jahr bewirken die Einzeller so einen volkswirtschaftlichen Schaden, den die New Yorker World Corrosion Organization für die Industrieländer auf bis zu drei Prozent des Bruttonationalprodukts

Auch Ölpipelines sind vor Mikroben nicht sicher.

Even oil pipelines are not safe from microbes.

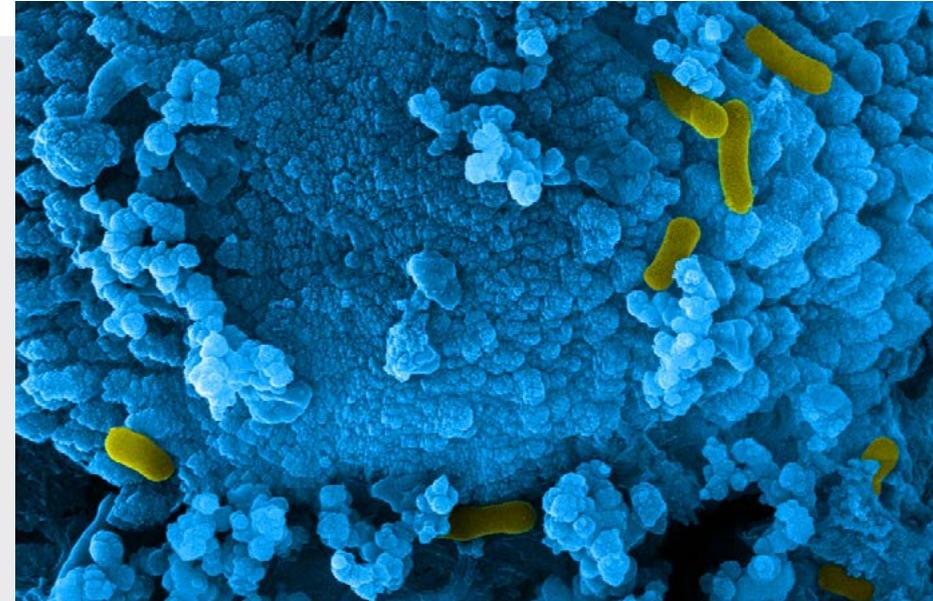
schätzt. Das wäre allein für Deutschland ein hoher Milliardenbetrag. Weltweit sollen die Kosten bei 3,3 Billionen Dollar liegen. Forscher*innen bekämpfen Mikroben mit toxischen Bioziden. Sie entwickeln Oberflächen, auf denen das Wasser abperlt, welches die Einzeller für ihren Haushalt dringend benötigen. „Doch Mikroben sind Überlebenskünstler“, sagt Andrea Koerdt. „Sie passen sich rasch den erschwerten Umweltbedingungen an.“ Dabei scheint durchaus so etwas wie Bewunderung mitzuschwingen. Noch etwas war der Biologin aufgefallen, als sie die Fallstudie über die Pipeline in den Ölfeldern Nigerias las: In den Erdschichten um die Rohrleitung hatten die Expert*innen zwar keine Sulfatreduzierer nachgewiesen, die Stahl so gefährlich zusetzen können. Dafür aber hatten sie Methanogene aufgespürt – anaerobe Einzeller, die allenfalls als „moderat“ korrosiv gelten. Sollten diese Underdogs aus dem Reich der Mikroben für den desaströsen Lochfraß verantwortlich sein?

Mikroben verstehen lernen

Andrea Koerdt entschloss sich, einen ganz neuen Weg im Kampf gegen Korrosion zu wählen: Sie wollte zunächst ganz grundsätzlich verstehen, wie Mikroben überhaupt funktionieren – um dann in einem zweiten Schritt Gegenmittel zu entwickeln. „Meine Strategie ist es, herauszufinden, wie Mikroorganismen etwas machen und warum“, erklärt sie. Um die Korrosionsrate, also die Gefährlichkeit eines Einzellers, zu klassifizieren, gehen Forscher*innen bislang so vor: Sie sperren Kulturen des Bakteriums zusammen mit einem Metallplättchen in eine Serumflasche. Nach einigen Wochen öffnen sie das Gefäß wieder und wiegen das Metallstück. Aus dem Gewichtsverlust ermitteln sie die Korrosionsrate des Mikroorganismus. Sulfatreduzierer etwa kommen so auf eine Rate von 0,7 Millimetern pro Jahr – sie würden also ein Rohr mit der Wandstärke von einem Zentimeter in rund 14 Jahren

Einige Mikroben (gelb eingefärbt) können sogar Stahl zerfressen.

Some microbes (marked yellow) can even eat away steel.



völlig zerfressen. Dieses Vorgehen, so glaubt Andrea Koerdt, ist mit zwei Fehlannahmen behaftet. Erstens: Mikroben entfalten ihr Zerstörungswerk nicht gleichmäßig. Sie können an einigen Stellen tiefe Krater ins Metall nagen, während sie andere Partien gänzlich unberührt lassen. Die Korrosionsrate bildet also ihr destruktives Potenzial nicht wirklichkeitsgetreu ab. Zweitens: Die Natur ist kein abgeschlossenes System, in ihr steht alles miteinander in Wechselwirkung.

Die Umwelt in einer Glassäule

Andrea Koerdt wählte deshalb einen anderen Versuchsaufbau, um die realen Umweltbedingungen im Labor zu simulieren: Sie befüllte eine

etwa 20 Zentimeter hohe Glassäule schichtweise mit Kügelchen aus Metall und Glas. Dann gab Koerdt Kulturen eines Methanogens hinzu, jenen Außenseitern aus der Welt der Mikroben, denen man lediglich eine niedrige Korrosionsrate von maximal 0,06 Millimetern pro Jahr zuschreibt und welche die Forscher*innen um die Pipeline in Nigeria nachgewiesen hatten.

Die Glassäule besaß eine Zuleitung und einen Abfluss. Das erlaubte Andrea Koerdt, den pH-Wert in dem kleinen Umweltsystem zu verändern; zudem stauten sich in ihm nicht mehr Nährstoffe und

Stoffwechselprodukte an, sondern sie konnten fortgespült werden – so wie in der freien Natur. Schon nach wenigen Wochen zeigte sich ein erstaunliches Resultat: Die durchschnittliche Korrosionsrate des Methanogens war auf gut 0,16 Millimeter in die Höhe geschneit – fast eine Verdreifachung. Der Spitzenwert lag sogar bei rund 0,34 Millimetern. Nun war der Ehrgeiz der BAM-Biologin geweckt: Sie versuchte, die Korrosionsrate weiter zu steigern, änderte den pH-Wert erneut, modifizierte die Salzkonzentration und die Temperatur. Sie fügte dem flüssigen Medium, das sie durch die Säule leitete, Spurenelemente in unterschiedlichen Konzentrationen und Zusammensetzungen hinzu. Und so trieb sie die Rate eines anderen Methanogens um beinahe das Achtfache in die Höhe. „Das hätte man dem Einzeller nicht zugetraut“, sagt Koerdt heute. „Und wir sind noch lange nicht am Ende mit unseren Versuchen.“

Aber ist es nicht paradox, Korrosion zu bekämpfen, indem man die Gefährlichkeit eines Einzellers steigert? „Je mehr wir darüber wissen, wie Mikroben funktionieren, umso leichter wird es sein, in Zukunft Mittel gegen sie zu finden“, entgegnet die BAM-Biologin. Vielleicht wird es mit den Erkenntnissen aus ihren Versuchen eines Tages möglich sein, Metalllegierungen zu entwickeln, die besser gegen Lochfraß gefeit sind.

Andrea Koerdt plant, in ihren Glassäulen auch Materialien aus dem 3D-Drucker auf ihre Korrosionsanfälligkeit zu prüfen – ein noch weitgehend unerforschtes Feld. Sie möchte internationale Kooperationen knüpfen und ein Netzwerk mit der Industrie aufbauen, um künftig realitätsgetreuere Testverfahren anzubieten. Das Ziel ist, so irgendwann Pipelines wie die in Nigeria wirksam gegen Mikroben zu schützen. ◀



Die Glassäulen simulieren reale Umweltbedingungen.

The glass columns simulate real environmental conditions.

Andrea Koerdt became suspicious about a pipeline in Nigeria: the BAM biologist read a case study about an oil pipeline in the West African country that was heavily corroded. However, there was hardly any sulfate in the soil around the pipe. The sulphur compound is the most important nutrient for certain microorganisms, called sulfate reducing bacteria, which are usually responsible for this kind of destruction. The case appeared to be peculiar.

Solving the mystery

Many people do not know that microbes can cause corrosion, even though this form of damage is widespread. Several BAM teams are researching microbiologically influenced corrosion or MIC for short. Microbes are unicellular organisms that cannot be seen with the naked eye but shimmer fascinatingly under the microscope. There are millions and millions of different species, including bacteria, archaea – both prokaryotes – and certain fungi. Microbes can damage surfaces in two ways: either they can break down the material, causing craters and holes by removing electrons or entire atoms from it. Or their metabolism produces chemical compounds that can interact with other substances to attack the surfaces on which they settle.

*Überprüfung der Metallkorrosion
mittels Gaschromatografie*

*Checking metal corrosion using
gas chromatography*



They unfold their subtle destructive works on a small scale almost everywhere – with fatal consequences for the entire infrastructure: they attack concrete, sewage pipes, create holes in diesel tanks and decompose the foundations of wind turbines. No material, be it metal, plastic or glass, is safe from them.

Year after year, unicellular organisms cause enormous economic damage. According to experts at the World Corrosion Organization in New York, the damage is estimated at up to three percent of the gross national product of industrialised countries. This would equate to several billion euros for Germany alone. The worldwide costs may be around 3.3 trillion dollars.

Researchers use toxic biocides to fight microbes: they develop hydrophobic surfaces which repel the water that unicellular organisms urgently need to exist. “But microbes are survival artists,” says Andrea Koerdt. “They quickly adapt to more difficult environmental conditions,” she remarks admiringly.

The biologist noticed something else when she read the case study about the pipeline in Nigeria’s oil fields: the researchers did not find any sulfate reducing bacteria in the earth layers around the pipeline that could so alarmingly destroy steel. However, they detected methanogens – anaerobic unicellular organisms that are at best considered moderately corrosive. Might these underdogs from the realm of microbes be responsible for the disastrous pitting corrosion?

Understanding microbes

Andrea Koerdt decided to choose a completely new way in the fight against corrosion: she first wanted to thoroughly understand how microbes work. Then, in a second step, she aims to develop countermeasures against them. “My strategy is to find out how and why microorganisms do something,” she says.



*Korrodierte und unkorrodierte
Stahlkugeln im Vergleich* *Corroded and uncorroded
steel balls in comparison*

In order to classify the corrosion rate, which is the damage caused by unicellular organisms, researchers typically enclose bacterium cultures together with a metal plate in a serum bottle. After a few weeks, they open the container again and weigh the metal piece. They determine the corrosion rate of the microorganism from the weight loss. Sulfate reducing bacteria, for example, reach a rate of 0.7 millimetres per year – that means they would completely eat through a pipe with a wall thickness of one centimetre in about 14 years. Andrea Koerdt believes that this procedure is based on two false assumptions. Firstly, microbes

do not carry out their destructive work uniformly. They can erode deep craters into the metal in some places and leave other parts completely untouched. This means that the corrosion rate does not realistically reflect their destructive potential.

Second, nature is not a closed system: everything interacts with each other.

The environment in a test tube

Andrea Koerdt therefore chose a different experimental set-up in order to simulate the real environmental conditions in the laboratory. She filled a glass column about 20 centimetres high layer by layer with metal, sand or glass beads. Then she added cultures of a methanogen, those outsiders from the world of microbes who are said to have a low corrosion rate of only 0.06 millimetres per year and whom the researchers have found around the Nigerian pipeline.

The glass column had a supply line and a drain. This enabled Andrea Koerdt to change the pH value in the small environmental system; moreover, nutrients and metabolic products were no longer able to accumulate in it but could be washed away – just like in nature. The average corrosion rate of the methanogen skyrocketed to about 0.16 millimetres – almost tripling. The peak value was even around 0.34 millimetres. This piqued the curiosity of the BAM biologist: she tried to further increase the corrosion rate, changed the pH value again, modified the salt concentration and the temperature. She added trace elements in various concentrations and compositions to the liquid medium that she passed through the column. In doing so she was able to increase the rate of another methanogen by almost eightfold. “We didn’t expect the unicellular organism to do this,” Koerdt says today. “And we are far from being done with our experiments.”

But isn’t it paradoxical to fight corrosion by increasing the risks of a

single-celled organism? “The more we know about how microbes work, the easier it will be to find a remedy against them in the future,” replies the BAM biologist. Perhaps one day, the findings from her experiments will enable us to develop metal alloys that are better protected against pitting corrosion.

Andrea Koerdt also wants to test materials from the 3D printer for their susceptibility to corrosion in her glass columns – a field still largely unexplored. She wants to establish international cooperation and develop a network with industry in order to offer more realistic test methods in the future. The aim is to provide effective protection against microbes for pipelines such as those in Nigeria at some point in the future. ◀

KONTAKT/CONTACT

Dr. Andrea Koerdt
Andrea.Koerdt@bam.de

Biologische Materialschädigung und Referenzorganismen
Biodeterioration and Reference Organisms



*Mit Fluorverbindungen beschichtete
Regenjacken lassen Wasser abperlen.*

*Rain jackets coated with fluorine
compounds allow water to drip off.*





Einem Verwandlungskünstler auf der Spur:
**BESSERER NACHWEIS FÜR
SCHÄDLICHES FLUOR**

Fluoratome kommen heute in zahlreichen im Labor erschaffenen Verbindungen vor. Gelangen sie ins Trinkwasser, können sie für den Menschen zur Gefahr werden. Die BAM hat ein Nachweisverfahren für kritische Substanzen weiterentwickelt.

On the trail of a quick-change artist:
**IMPROVING THE DETECTION
OF HARMFUL FLUORINE**

Today, fluorine atoms occur in numerous compounds that are created in the laboratory. If they get into our drinking water, they can pose a danger to humans. BAM has developed a method for the detection of these critical substances.

Fluor ist ein nützliches Element: Als Fluorid stärkt es den Zahnschmelz und die Knochen. Dem menschlichen Körper dient es als essenzielles Spurenelement. Doch Fluor kann auch sehr schädlich sein: Gelangt es in zu hoher Konzentration in den Organismus, macht es die Knochen brüchig und die Zähne weißfleckig. Pflanzen, die zu viel Fluorid aufgenommen haben, verlieren ihre Blätter.

„Es ist, wie bei allen chemischen Substanzen, eine Frage der Dosis“, erklärt Björn Meermann, Spurenanalytiker an der BAM. Mit seinen Kollegen*innen hat er eine Methode weiterentwickelt, um organisch gebundenes Fluor in Flüssen und Seen nachzuweisen. Dabei sind weniger die natürlichen Vorkommen des Elements ein Problem. Aber Fluor ist auch eine Art Verwandlungskünstler. Weil sich mit Fluoratomen die Eigenschaften von Molekülen günstig beeinflussen lassen, werden sie heutzutage in Laboren weltweit in viele Verbindungen eingebaut.

Alles ist ein Kreislauf

In der inneren Beschichtung von Fast-Food-Verpackungen bewirken Fluoratome einen abweisenden Effekt: Sie verhindern, dass Fett durch die Pappe nach außen dringt. Auf Outdoor-Jacken lassen sie den Regen abperlen. In speziellen Löschmitteln, die etwa auf Flughäfen zum Einsatz kommen, sind sie dafür verantwortlich, dass der Schaum sich luftdicht über brennendes Kerosin legt und so das Feuer erstickt.

Fluoratome sind inzwischen in rund einem Viertel aller Pharmazeutika enthalten, etwa in Antidepressiva und Antibiotika. Sie verlängern die Halbwertszeiten von Molekülen und sorgen so dafür, dass der medizinische Wirkstoff dem Körper länger zur Verfügung steht.

„Bedenklich an vielen dieser vom Menschen erschaffenen Verbindungen ist, dass sie persistent sind. Das heißt, sie lassen sich nur schwer wieder abbauen, wenn sie einmal in die Umwelt gelangt sind“, so Meermann.

Und die Eintragspfade dazu sind vielfältig: Kaffeebecher werden beim Recycling zermahlen; dabei kommt viel Wasser zum Einsatz, das zu den Klärwerken fließt. Ausgediente Outdoor-Jacken können auf Depo-nien enden. Reste von Löschschäumen versickern in den Böden der Flughäfen. Und über menschliche Ausscheidungen gelangen die Abbauprodukte von Medikamenten ins Abwasser. Die großen Klärwerke, in denen Mikroorganismen schädliche Substanzen abbauen, sind jedoch nicht darauf ausgelegt, jede der zahlreichen Fluorverbindungen abzufangen. So können viele von ihnen doch ins Grundwasser gespült werden. „In der Natur ist alles ein Kreislauf. Gelangen die Fluorverbindungen in Bereiche, in denen Trinkwasser gewonnen wird, wird es problematisch“, sagt Björn Meermann.

Nachweisgrenzen nach unten verschoben

Um Fluorverbindungen nachzuweisen, nutzen Wissenschaftler*innen bislang vor allem zwei Verfahren: Sie verwenden entweder eine sogenannte Targetmethode, die auf ganz bestimmte Fluorverbindungen zielt, die als gefährlich gelten. „Die Liste deckt jedoch nur einen Teil dessen ab, was inzwischen an organisch gebundenem Fluor im Umlauf ist“, erklärt Meermann. „Zudem können die zahlreichen vom Menschen im Labor erschaffenen Verbindungen zerbrechen und sich dann in neue Moleküle mit unbekanntem Eigenschaften verwandeln.“ Oder bei der zweiten Methode ermitteln Forscher*innen einen sogenannten Summenparameter, die Gesamtmenge an organisch gebundenem Fluor etwa in einer Wasserprobe. Auch hier finden sie nur das, wonach sie suchen – unbekannte Verbindungen fallen durch das Raster. Aber der Blick ist immerhin weiter. Allerdings hat das Verfahren Mängel: „Die Methode verlangt viele Arbeitsschritte, sie ist daher anfällig für Fehler und Messungenauigkeiten“, erklärt Meermann. „Ich habe nach einer Möglichkeit gesucht, das Verfahren abzukürzen.“

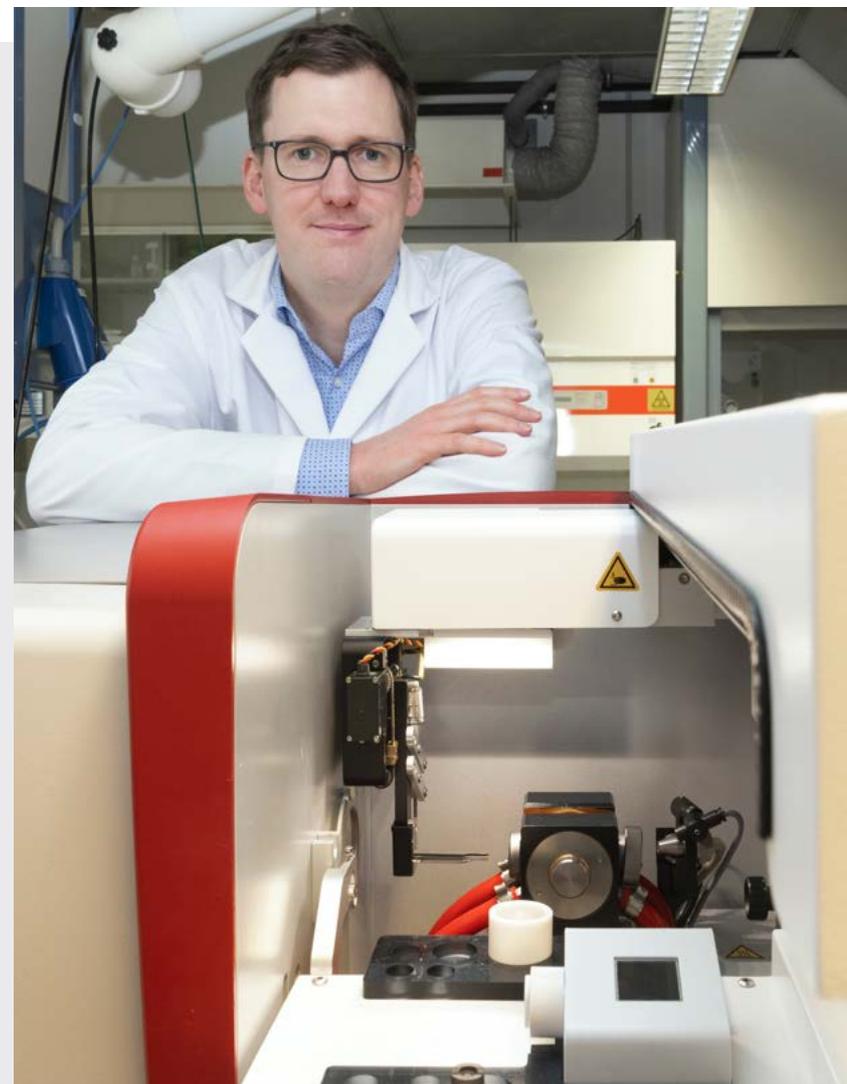
Ein besseres Rüstzeug

Der BAM-Chemiker nutzt dafür eine Methode, die bisher vor allem dazu dient, Metalle in der Umwelt nachzuweisen. Sein Messgerät besitzt eine spezielle Lichtquelle sowie ein hochauflösendes Spektrometer, das in dieser Kombination auch Fluor aufspüren kann. Die Methode ist deutlich schneller und feiner als das bisherige Verfahren. „Wir konnten die Nachweisgrenzen für organisch gebundenes Fluor circa um den Faktor 20 nach unten verschieben und so Verbindungen aufspüren, die bislang durchs Netz gegangen sind“, erklärt Meermann. Sogar einige Milliardstel Gramm einer kritischen Fluorsubstanz können er und sein Team in einem Liter Wasser nachweisen. Meermann und seine Mitarbeiter*innen wollen mit der Methode demnächst organisch gebundenes Fluor in Abfällen aus der Papierindustrie und galvanischen Fabriken sowie Klärschlämmen untersuchen. Haben sie einen sogenannten Hotspot identifiziert, können sie mit der Targetmethode gezielt nach den Quellen der Belastung fahnden. Doch natürlich macht die BAM keine Gewässeruntersuchungen. Meermann will Behörden, die für die Aufsicht über Seen und Flüsse zuständig sind, ein besseres Rüstzeug an die Hand geben, damit Fluor, der Verwandlungskünstler unter den Elementen, nicht in schädlichen Konzentrationen in den Körper des Menschen gelangt. ◀

Fluorine is a useful element: as fluoride it strengthens our tooth enamel and bones and is an essential trace element in the human body. But fluorine can also be very harmful: in a highly concentrated form it makes the bones brittle and the teeth white-stained. Plants that have absorbed too much fluoride lose their leaves.

Einige Fluorverbindungen können bereits in niedrigen Konzentrationen schädlich sein: Björn Meermann forscht an einem besseren Nachweisverfahren.

Some fluorine compounds can be harmful even in low concentrations: Björn Meermann is researching a better detection method.





Sogar Milliardstel Gramm einer kritischen Fluorverbindung lassen sich aufspüren.

Even billionths of a gram of a critical fluorine compound can be detected.

“As with all chemical substances, it is a question of dose,” explains Björn Meermann, BAM elemental trace analyst. Together with his colleagues, he has developed a method for detecting organically bound fluorine in rivers and lakes.

The problem is not so much the element’s natural occurrence, but that fluorine is also a kind of quick-change artist - in the appearance of

so-called fluorine species. Fluorine atoms are nowadays incorporated into many compounds in laboratories around the world because they can favourably influence the properties of other molecules.

Everything is a cycle

Fluorine atoms have a repellent effect in the inner coating of fast food packaging: they prevent the fat from permeating through the cardboard to the outside. They let the rain roll off our outdoor jackets. Added to specialist fire extinguishing agents used at airports, they ensure that the foam forms an airtight seal over burning kerosene which puts out the fire.

Fluorine atoms can now be found in about a quarter of all pharmaceuticals such as antidepressants and antibiotics. They prolong the half-life period of molecules and thus ensure that the active medical ingredient is available to the body for a longer period of time.

“What is problematic about many of these man-made compounds is that they are persistent. This means that they are difficult to break down once they have been released into the environment,” says Meermann. And there are many emission pathways to do this: coffee cups are ground up during recycling using a lot of water that flows to the wastewater treatment plants. Discarded outdoor jackets can end up in landfills. Residues of fire extinguishing foams seep into the soil at airports. Decomposition products of medicines reach the wastewater via human excreta. Large wastewater treatment plants, where microorganisms break down harmful substances, are not, however, designed to intercept each of the numerous fluorine compounds. This means that many of them can be flushed into the groundwater. “In nature, everything is a cycle. If fluorine compounds reach areas where drinking water is extracted, the issue becomes problematic,” says Björn Meermann.

Detection limits shifted downwards

Until recently, scientists have mainly utilised two methods to detect fluorine compounds: they either use a target method which aims to detect very specific fluorine compounds that are considered dangerous. “However, the list only covers part of what is now circulating in organically bound fluorine,” explains Meermann. “In addition, the numerous compounds created in the laboratory can break apart and be transformed into new molecules with unknown properties.”

In the second method, researchers determine a “sum parameter” which is the total amount of organically bound fluorine in a water sample. Here, too, they only find what they are looking for and unknown compounds can fall through the net. However, the process has shortcomings: “The common analytical method requires many steps and is therefore susceptible to errors and measurement inaccuracies,” explains Meermann. “I was looking for a way to shorten the process.”

A better tool for the job

The BAM chemist uses a method that previously served to detect metals in the environment. His measuring device has a special light source and a high-resolution spectrometer that can also detect fluorine in this combination. The method is significantly faster and finer than the previous method. “We have been able to lower the detection limits for organically bound fluorine by a factor of about 20 and thus can detect compounds that have so far slipped through the net,” explains Meermann. He and his team can even detect a few billionths of a gram of a critical fluorine substance in a litre of water.

Meermann and his colleagues plan to use the method to investigate organically bound fluorine in waste from the paper industry, galvanic factories and sewage sludge. Once they have identified a hotspot, they can utilise the target method to search for the sources of the

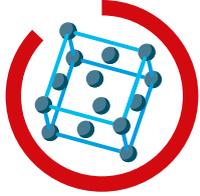
contamination. But BAM of course does not investigate water bodies. Meermann wants to provide authorities responsible for supervising lakes and rivers with a better tool to prevent fluorine, the quick-change artist among the elements, from entering the human body in harmful concentrations. ◀



KONTAKT/CONTACT

Dr. Björn Meermann
Bjoern.Meermann@bam.de

Anorganische Spurenanalytik
Inorganic Trace Analysis



THEMENFELD
MATERIAL
FOCUS AREA
MATERIALS

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind Schlüsseltechnologien einer modernen Industriegesellschaft und bilden die klassischen Kernkompetenzen der BAM. Materialien, Stoffe und Werkstoffe bestimmen Eigenschaften, Funktionalität, Qualität und Sicherheit von Produkten. Unsere Aktivitäten im Themenfeld Material konzentrieren sich auf Fragen ihrer Charakterisierung, Nutzungsdauer, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit. Wir verfügen seit Jahrzehnten über eine ausgewiesene Kompetenz im Bereich Materialforschung und -prüfung und setzen diese interdisziplinär in allen Themenfeldern ein.

Im Fokus unserer Arbeit im Themenfeld Material stehen die Aktivitätsfelder Life Cycle von Komponenten, Degradation von Werkstoffen und Materialien sowie Materialien und Stoffe. ◀

Materials science and materials engineering are key technologies in a modern industrial society and represent BAM's conventional core competence. Materials and substances determine the essential properties, functionality, quality and safety of products. Our activities in the focus area materials are directed at issues of service life, reliability and sustainability where we have decades of proven expertise in materials research and testing. This expertise is then implemented across all disciplines throughout all focus areas.

Our activities within this focus area include life cycle of components, degradation of substances and materials, and materials substances. ◀







SELBSTTHEILUNG VON GLAS:

Dichtungen von Brennstoffzellen reparieren sich in Zukunft selbst

Hochtemperatur-Brennstoffzellen produzieren besonders umweltfreundlich elektrische Energie. Allerdings können beim Abkühlen leicht Risse an den Dichtungen entstehen. Die BAM hat einen Mechanismus der Selbstheilung erforscht.

SELF-HEALING GLASS:

fuel cell sealants will repair themselves in the future

High-temperature solid oxide fuel cells produce electrical energy in a particularly environmentally friendly way. However, cracks can easily appear on the sealants during cooling. BAM has researched a self-healing mechanism.

Immer wieder hat Carsten Blaeß ein daumennagelgroßes Plättchen in einen fast 800 Grad Celsius heißen Ofen geschoben und anschließend unter dem Mikroskop betrachtet. Der BAM-Doktorand wollte ein physikalisches Phänomen ergründen: die Rissheilung in glasig-kristallinen Mikrostrukturen.

Seine Forschung soll dazu beitragen, dass Hochtemperatur-Brennstoffzellen länger halten und ihre sichere und wirtschaftliche Verwendung auch in Privathaushalten möglich wird. „Brennstoffzellen nutzen auf besonders effiziente Weise die chemische Energie von Wasserstoff zur Erzeugung von Strom und Wärme“, erklärt der

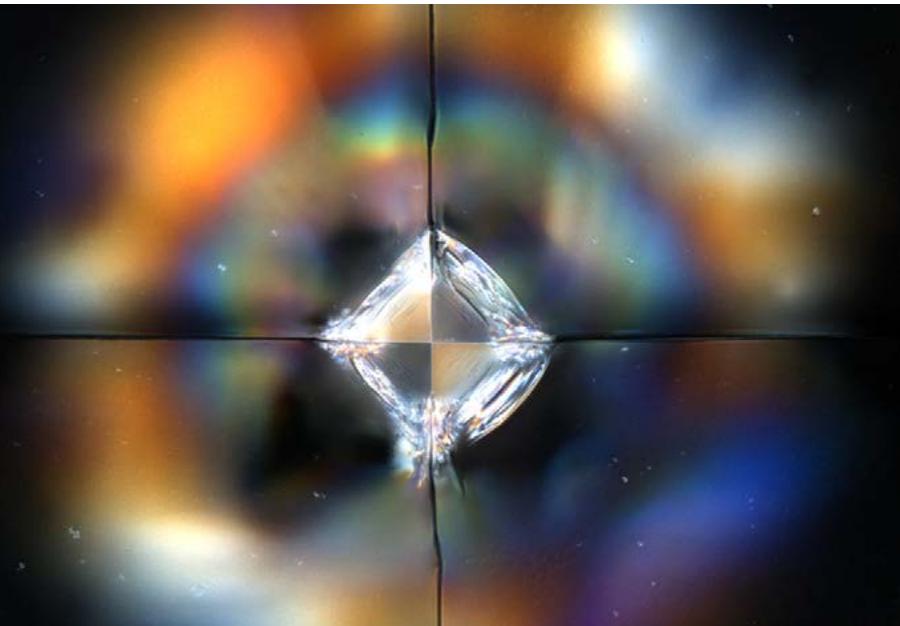
Wissenschaftler. „Schon heute tragen sie in einigen Tausend Eigenheimen und in größeren Gebäudekomplexen zur dezentralen Energieversorgung bei.“

Feine Risse beim Abkühlen

Hochtemperatur-Brennstoffzellen erhitzen sich im Betrieb auf bis zu 900 Grad Celsius. Daher stellen sie besonders hohe Anforderungen an die Dichtungen, die alle Bauteile miteinander verbinden. Diese müssen bei hohen Temperaturen beständig, mechanisch stabil, elektrisch isolierend und für Wasserstoffmoleküle undurchlässig sein. Viele Hersteller verwenden Glas für die Dichtungen. Bereits beim Zusammenfügen der Zellenbauteile kristallisiert es aufgrund der Wärme und wandelt sich in eine elektrisch isolierende und gasdichte Barriere. Im Dauerbetrieb funktionieren diese glasig-kristallinen Dichtungen bereits zuverlässig. „Das Problem taucht auf, wenn ein Eigenheimbesitzer seine Brennstoffzelle abschaltet“, erklärt Ralf Müller, der die Forschungen von Carsten Blaeß an der BAM betreut hat: „Beim Abkühlen ziehen sich die Bauteile unterschiedlich stark zusammen. Dadurch können feine Risse entstehen. Das kann zum Versagen der Zelle führen oder zum Austreten von Wasserstoff, der leicht entzündlich ist.“

Einfach austauschen lässt sich eine defekte Dichtung nicht, denn sie ist Teil eines Stapels, der bis zu 150 Einzelzellen umfasst. Im Schadensfall ist es also unvermeidlich, den ganzen Stapel zu wechseln – eine teure und wenig nachhaltige Methode.

Je häufiger eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle ein- oder ausgeschaltet wird, desto eher treten die Risse auf. „Ihr Entstehen wird nie ganz zu verhindern sein“, erklärt Blaeß. „Es wäre jedoch wünschenswert, wenn sie sich beim Aufheizen oder während des Betriebs von selbst wieder schließen.“



Risse in einer geschädigten Glasoberfläche unter dem Mikroskop

Cracks in a damaged glass surface under the microscope

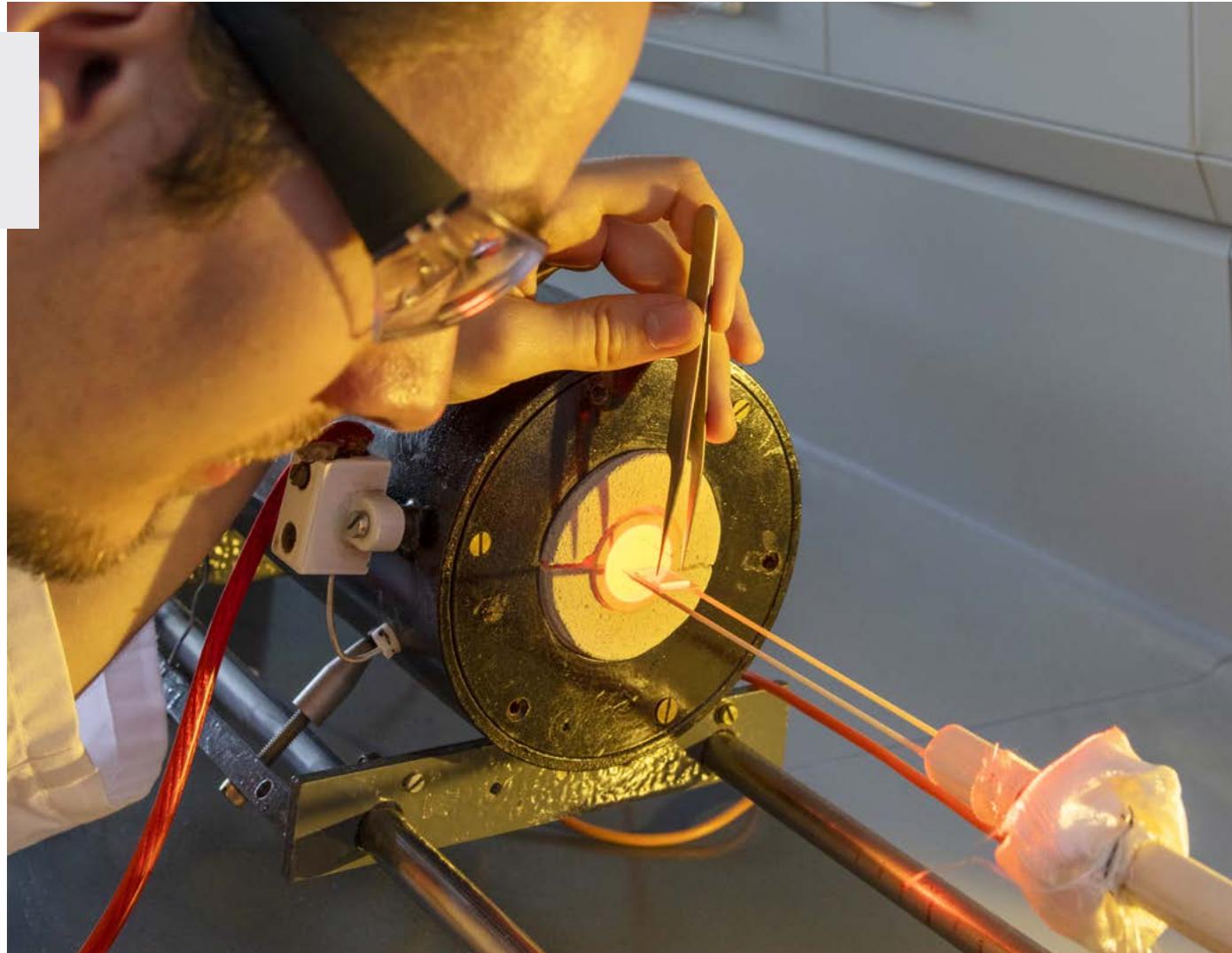
*Probe vor der Wärmebehandlung
im Rohrofen*

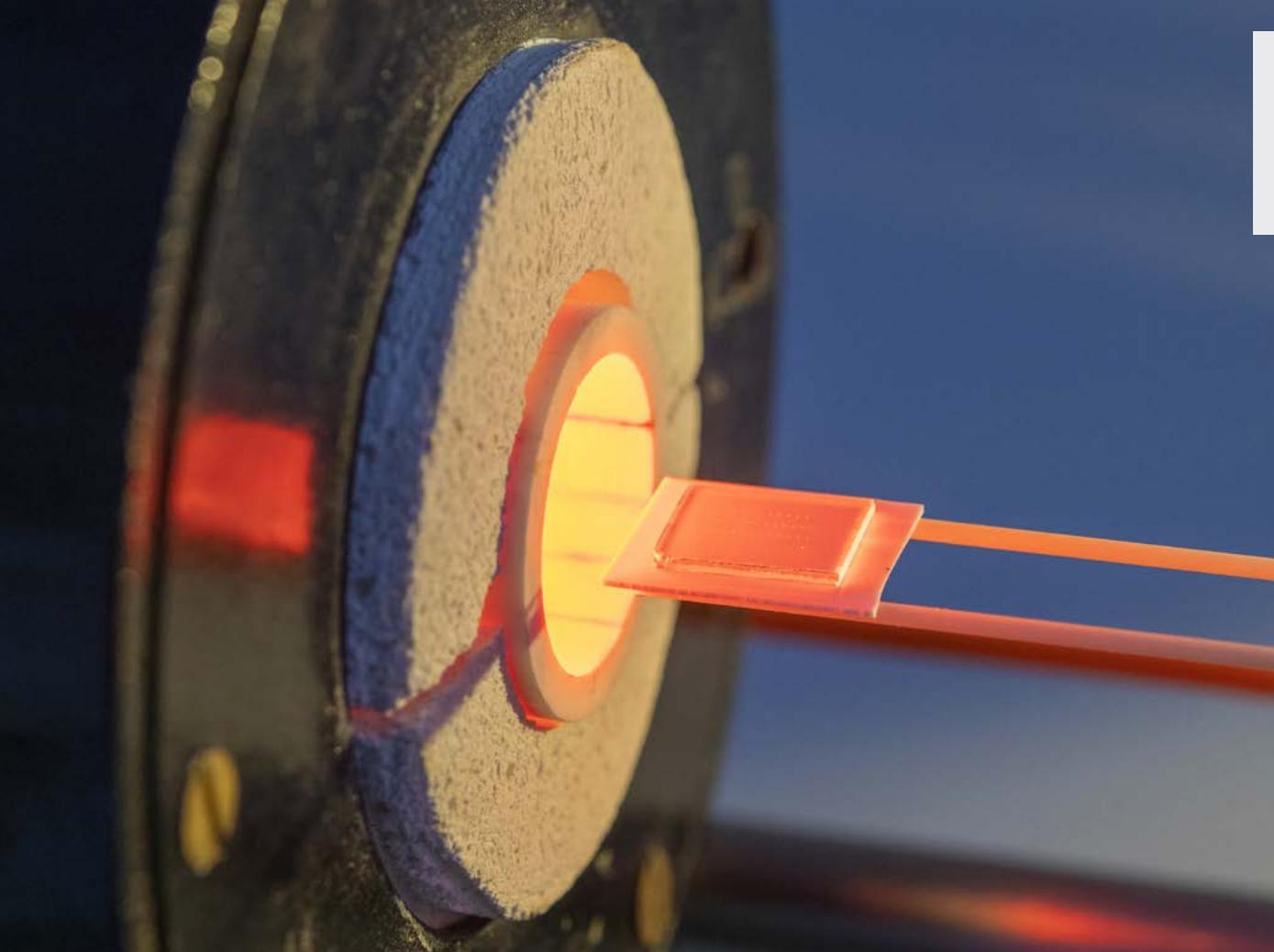
*Sample before heat treatment
in a tube furnace*

Selbstheilung durch Fließen

Eine besonders gute Rissheilung zeigen Dichtungen aus Glas, das nicht kristallisiert. Wird es erwärmt, beginnt es zu fließen und verschließt die feinen Risse. „Wenn ich ein Messer in zähen Honig stecke und wieder herausziehe, fließt der Riss von selbst wieder zu. Ähnlich ist es bei heißem Glas“, veranschaulicht Blaeß den Selbstheilungseffekt. Eine solche Dichtung besitzt allerdings den Nachteil, dass sie bei hohen Temperaturen weich wird. Mit der Zeit wandern so Metallionen aus der angrenzenden Schicht ins Glas und können unerwünschte Korrosionsprodukte bilden, die womöglich einen Kurzschluss bewirken.

Um das zu vermeiden und die Dichtungen auch bei hohen Temperaturen mechanisch stabil zu machen, verwenden viele Hersteller Glas, das entweder bei der Produktion der Zelle selbst kristallisiert oder kristalline Füllstoffe enthält. In diesen Dichtungen ist allerdings aufgrund des geringen Glasanteils keine oder nur eine geringe Rissheilung möglich.





*Wärmebehandlung bei fast
800 Grad Celsius*

*Heat treatment at almost
800 degrees Celsius*

Denn die Kristalle haben den Nachteil, dass sie das Fließen behindern.

Die ideale Dichtung sollte also so viele Kristalle enthalten, dass sie die Korrosion begrenzen, nicht aber die erwünschte Rissheilung.

Eine überraschende Gesetzmäßigkeit

Um das richtige Verhältnis aus Glas und Kristallen zu finden, hat Carsten Blaeß verschiedene Mischungen aus Glas, das selbst nicht kristallisiert, und kristallinen Füllstoffen hergestellt. Der Vorteil: Der kristalline Anteil blieb in diesen Proben während der Versuche konstant.

Er formte aus ihnen daumennagelgroße Plättchen, erzeugte mit einem pyramidenförmigen Gegenstand kleine Risse und erhitze die Proben dann im Ofen. Anschließend untersuchte er die Rissheilung unter dem Mikroskop.

„Wir waren die Ersten, die den Einfluss der Mikrostruktur auf die Rissheilung systematisch untersucht haben“, sagt Blaeß. Und nach monatelangen

Testreihen fand er tatsächlich eine überraschende Gesetzmäßigkeit: So ist ein gewisser kristalliner Anteil im Glas sogar durchaus förderlich für die Rissheilung.

„Risse schließen sich nicht einfach wie ein Reißverschluss von ihrer Spitze aus. Sie weiten sich auch auf“, so Carsten Blaeß. „Für dieses Aufweiten ist ein großflächiges Fließen notwendig, für das Zuziehen der Rissspitze dagegen nur ein lokal begrenztes.“

Durch einen steigenden kristallinen Anteil wird das großflächige Fließen zunehmend gehemmt; dadurch kann sich der Riss nicht mehr aufweiten. Das Erstaunliche: Lokal kann er sich nun sogar schneller zuziehen! Erst wenn der kristalline Anteil eine bestimmte Grenze überschreitet, wird auch das lokale Fließen gestoppt und damit die Selbstheilung.

Soweit die Theorie. Die Materialien des Doktoranden waren für die Forschungen im Labor optimiert; als ideal erwies sich dabei ein kristalliner Anteil von 17 Prozent. Bei der Glasentwicklung für die praktische Anwendung sind nun Kooperationspartner wie etwa das Forschungszentrum Jülich gefragt. „Als Forscher an der BAM stellen wir einerseits grundlegendes Wissen bereit, mit dem neue Technologien und Materialien für die Energiewende entwickelt werden können“, so Blaeß. „Andererseits benötigen wir dieses Wissen, um die Sicherheit dieser Technologien sowie mögliche Schadensfälle zu bewerten und zu beurteilen.“ ◀

Carsten Blaeß repeatedly heat treated a plate the size of a thumbnail in a furnace at a temperature of almost 800 degrees Celsius and then observed it under the microscope. The PhD student at BAM investigated a physical phenomenon: crack healing in glassy-crystalline microstructures.

His research is aimed at enabling solid oxide fuel cells to last longer and making their safe and economical use possible in private households as well. “Fuel cells use the chemical energy of hydrogen to generate electricity and heat in a particularly efficient way,” explains the scientist. “Today fuel cells contribute to the decentralized energy supply of several thousand homes and in large building complexes.”

Fine cracks when cooling down

Solid oxide fuel cells heat up to 900 degrees Celsius during operation. Therefore, high demands are set on the sealants that connect the components. They must be mechanically stable, electrically insulating, impermeable to hydrogen molecules and resistant to high temperature. Many manufacturers use glass as sealants: it crystallises during heating and is transformed into an electrically insulating and gas-tight barrier as soon as the cell components are joined.

These glassy-crystalline sealants already function reliably in long-term operation. “Problems arise, however, when a homeowner switches off his fuel cell,” explains Ralf Müller who supervised Carsten Blaeß’s research at BAM: “When the components cool down, they shrink to different extents. This can result in fine cracks, which may lead to cell failure or the escape of highly flammable hydrogen.”

It is not easy to exchange a defective sealant because it is part of a stack of up to 150 single cells. Therefore, the entire stack must be replaced in the case of damage, which is an expensive and unsustainable method.

The more often a solid oxide fuel cell is switched on or off, the more likely cracks occur. “It will never be possible to completely prevent them from occurring,” explains Blaeß. “However, it would be an advantage if they could close themselves again automatically when heating up or during operation.”



Self-healing through flow

Sealants made of glass, which does not crystallise, show particularly good crack healing. When heated, this glass begins to flow and closes the fine cracks. “If I stick a knife in viscous honey and pull it out again, the crack will flow together by itself. It is similar with hot glass,” Blaeß says to illustrate the self-healing effect. However, such a sealant has the disadvantage of becoming soft at high temperatures. Over time, metal ions migrate from the adjacent layer into the glass and can form undesirable corrosion products that may cause a short circuit. To avoid this and to make the sealants mechanically stable even at high temperatures, many manufacturers use glass that either crystallises during cell production itself or contains crystalline fillers. However, these sealants allow no or only reduced crack healing due to their low glass content. The disadvantage of the crystals is that they hinder the flow. An ideal sealant should therefore contain enough crystals to limit corrosion but not the desired crack healing.

Überprüfung der Rissheilung mit dem Laser-Scanning-Mikroskop

Checking healed cracks using a laser scanning microscope

A surprising rule

Carsten Blaeß has produced various mixtures of glass, which itself does not crystallise, and crystalline fillers in order to find the correct ratio of glass to crystals. The benefit is that the crystalline content remained constant in these samples during the tests.

He created thumbnail-sized plates from the samples, generate small cracks by a pyramid-shaped object and then heated the samples in an oven. Next, he checked the crack healing under the microscope.

“We were the first to systematically investigate the influence of micro-structure on crack healing,” said Blaeß. After months of testing, he found a surprising rule: a certain amount of crystals in the glass is beneficial for crack healing.

“Cracks do not simply close like a zip from their tip. They also widen,” says Carsten Blaeß. “A large-area flow is necessary for this widening but only a local one to close the crack tip.”

The large-area flow is increasingly inhibited by a rising crystalline fraction. As a result, the crack can no longer widen. The astonishing fact is that it can even close faster now in certain places! The local flow and thus self-healing only stop when the crystalline part exceeds a certain limit.

Such is the theory. Blaeß optimised the materials for the research in the laboratory with a crystalline content of 17 percent proving ideal. Cooperation partners such as the Jülich Research Centre are now called upon to develop glass for practical applications. “As scientists at BAM, we provide basic research that can be used to develop new technologies and materials for Germany’s energy transition,” said Blaeß. “We also need this knowledge to be able to evaluate and assess the safety of these technologies and potential occurrence of damage.” ◀

KONTAKT/CONTACT

Carsten Blaeß
Carsten.Blaess@bam.de

Technische Keramik
Advanced Technical Ceramics



KONTAKT/CONTACT

Dr. Ralf Müller
Ralf.Mueller@bam.de

Glas
Glass



*Hochleistungskerami-
ken aus dem 3D-Drucker
könnten eines Tages Tur-
binenschaufeln aus Metall
ersetzen.*

*High-performance ceramics
from 3D printers could one
day replace metal turbine
blades.*



SCHICHT UM SCHICHT: neues Druckverfahren für Hochleistungskeramiken

Der 3D-Druck erobert immer weitere Bereiche der Industrie. Auch für besonders leistungsfähige Keramiken ist die additive Fertigung bereits einsetzbar. Ein lasergestütztes Verfahren eröffnet neue Möglichkeiten.

LAYER BY LAYER: *a new printing process for high-performance ceramics*

3D printing is conquering more and more areas of industry. Additive manufacturing can also be used for high-performance ceramics. A laser-assisted process opens up new possibilities.

Das Bauteil, das Jörg Luchtenborg in den Händen hält, wirkt auf den ersten Blick unscheinbar: ein Dreieckskörper, groß wie ein Spielklötzchen, von grauer Farbe, innen hohl und mit Verstrebungen verstärkt. „Das ist das Modell einer Leichtbaustruktur aus Hochleistungskeramik. Vielleicht kann man mit solchen Elementen eines Tages Teile eines Satelliten bauen“, erklärt der Materialwissenschaftler und



Jörg Luchtenborg erforscht die additive Fertigung von Hochleistungskeramiken.

Jörg Luchtenborg focuses on additive manufacturing of high-performance ceramics.

Doktorand an der BAM. „Das Material widersteht extremen Temperaturwechseln, wie sie im Weltall herrschen.“

Noch erstaunlicher: Das Werkstück stammt aus einem 3D-Drucker. Während die additive Fertigung von Kunststoffen und Metallen heute bereits viele Bereiche der Industrie revolutioniert, stößt sie bei Keramik noch auf Schwierigkeiten – und ist eben darum zugleich Gegenstand intensiver Forschungsanstrengungen.

Material mit besonderen Eigenschaften

Schon seit Jahrtausenden verwenden Menschen keramische Werkstoffe, um daraus Gefäße, Kultobjekte und Schmuck zu formen. Seit Anfang des 18. Jahrhunderts brennt man daraus in Europa Porzellan. In der letzten Dekade haben Wissenschaftler*innen das Material zu Hochleistungskeramiken weiterentwickelt, die durch besondere Eigenschaften bestechen: Sie sind ungewöhnlich hart und fest, zudem hitzebeständig und resistent gegen Verschleiß und Korrosion. Das macht sie attraktiv für zahlreiche Anwendungen, bei denen andere Werkstoffe versagen: für Turbinenschaufeln von Flugzeugen, Lager von Verbrennungsmotoren, Isolatoren von Zündkerzen oder Stromleitungen. Da Keramik sich noch dazu gut mit menschlichem Gewebe verträgt, kann sie auch für Knochenprothesen und Zahnfüllungen eingesetzt werden.

Herstellen lassen sich die Werkstücke auf mehrere Arten: Keramikpulver kann man pressen und aus einem Block die gewünschte Form ausfräsen. Dabei ist jedoch der Materialverlust enorm – und bei komplizierten Geometrien stößt das Verfahren rasch an seine Grenzen. Keramische Bauteile lassen sich auch gießen. Handelt es sich, wie nicht selten, um Sonderanfertigungen mit niedrigen Stückzahlen, sind auch die vergleichsweise teuren Formen ein entscheidender Kostenfaktor. So suchen viele Forscher*innen nach alternativen Produktionsverfahren. Seit rund zehn Jahren ist es möglich, Hochleistungskeramiken auch im



Das Material wird in Wasser aufgelöst.

Dissolving the material in water



Bei Objekten mit einer Wandstärke von wenigen Millimetern können leicht Risse entstehen.

mit einer Wandstärke von wenigen Millimetern, denn es können leicht Risse entstehen“, erklärt Jörg Luchtenborg. Aber natürlich ist die Industrie längst an größeren und auch dickwandigen Bauteilen aus dem Hochleistungsmaterial interessiert.

Eine zufällige Entdeckung

Eine Zufallsentdeckung brachte einen entscheidenden Fortschritt: Jens Günster, der an der BAM Luchtenborgs Doktorarbeit betreut und zugleich an der Technischen Universität Clausthal lehrt, erforscht mit seinem Team neue Methoden additiver Fertigung. Einmal untersuchten die Wissenschaftler im Labor auch die Wechselwirkung von Laserstrahlen und keramischen Suspensionen, also einer flüssigen

3D-Druck zu fertigen: Man vermischt dazu keramische Partikel mit großen Mengen an Kunststoff, druckt das Bauteil aus und brennt anschließend die Polymere, die das gewünschte Objekt wie eine schützende Matrix umgeben, im Ofen heraus. „Das Verfahren ist ein bedeutender Fortschritt, aber es funktioniert vor allem für Objekte

Mischung aus Keramikpulver und Wasser. Unter der Einwirkung des Lasers entstand plötzlich eine feste Schicht. Die Forscher hatten nichts weniger als ein neues additives Fertigungsverfahren für Keramik entdeckt und meldeten es sogleich erfolgreich zum Patent an. Vielleicht – so ihre Idee – ließen sich so Schicht um Schicht ganze Objekte formen – also drucken. Allerdings war es ihnen nur gelungen, einige übereinanderliegende Keramiklagen und damit Proben von wenigen Millimetern Höhe mit dem Laser zu trocknen und zu verbinden – bis zur Anwendung war es also noch ein weiter Weg. Jörg Lüchtenborg erhielt die Aufgabe zu erforschen, wie sich mit dem Verfahren echte Bauteile und komplexe Strukturen herstellen ließen. Mehrere Monate experimentierte er im Labor mit Siliciumnitrid, einer Hochleistungskeramik, die sich durch besondere Festigkeit auszeichnet. Er befüllte eine kleine Wanne, etwa 20 mal 20 Zentimeter groß, mit einer Mischung der Keramik-Wasser-Suspension. Dann heizte er mit dem Laserstrahl die Oberfläche genau dort auf, wo später das keramische Bauteil entstehen sollte, und ließ gezielt das Wasser bei rund 100 Grad Celsius verdampfen. Es entstand ein Sog, der umliegende Keramikpartikel heranzog. Sie verdichteten sich zu einer festen Struktur und bildeten eine erste Schicht aus. Dann senkte Lüchtenborg die Wanne ein wenig ab, trug eine weitere Schicht der Keramik-Wasser-Mischung auf und begann die Prozedur von Neuem.

Schrumpfung bei über 1.500 Grad

„Es galt vor allem, die richtigen Parameter für den Laserstrahl zu finden: für seine Leistung und die Dauer der Belichtung. Denn bei zu hoher Energiedichte verdampft das Wasser schlagartig und die Keramikpartikel werden herausgeschleudert. Ist die Energie hingegen zu gering, verfestigen sie sich nicht wie gewünscht“, so Lüchtenborg. Schließlich gelang es dem Doktoranden, die richtigen Einstellungen für

einen stabilen Prozess zu finden und so viele Lagen übereinander zu schichten, dass ein Probekörper von acht Zentimetern Höhe und einer Wandstärke von gut sechs Millimetern in der Wanne wuchs. Anschließend wurde das Objekt bei über 1.500 Grad Celsius im Ofen gesintert, also gebrannt. Dadurch verbinden sich die Partikel im Inneren. Die Keramik verdichtet sich, schrumpft dabei um 14 Prozent und wird erst richtig stabil.

Das patentierte Verfahren, um Keramik zu drucken, muss zwar noch weiter erforscht werden. Weil aber kein stützender Kunststoff mehr weggebrannt werden muss, sind nun Bauteile von größerem Volumen möglich. Und vielleicht wird aus Objekten wie dem grauen Dreieck eines Tages tatsächlich ein Element für einen Satelliten im All. Inzwischen ist das Patent an ein Unternehmen verkauft und wird für die kommerzielle Anwendung erprobt. BAM-Mitarbeiter*innen testen bereits, ob es sich auch auf andere Materialklassen wie Baustoffe übertragen lässt. ◀

At first glance, the component Jörg Lüchtenborg is holding in his hands seems inconspicuous: a triangular body the size of a children's play block, grey in colour, hollow inside and reinforced with struts. "This is the model of a lightweight structure made of high-performance ceramics and perhaps one day it will be possible to use such elements to build parts of a satellite," explains the materials scientist and PhD student at BAM. "The material is able to withstand the extreme temperature changes that occur in space."

It is even more amazing that this part was made by a 3D printer. While the additive manufacturing of plastics and metals has already

revolutionised many areas of industry today, it is still encountering difficulties with ceramics – and this is precisely why it is the subject of such intensive research efforts.

Material with special properties

People have been using ceramic materials to make vessels, cultural artefacts and jewellery for thousands of years. They have been used to make porcelain in Europe since the beginning of the 18th century, and in the last decade, scientists have further developed the material into high-performance ceramics with special properties. They are especially hard and strong, resistant to heat, wear and corrosion. This makes them attractive for numerous applications in which other materials fail. For instance they are used for aircraft turbine blades, combustion engine bearings and spark plug or power line insulators. Since ceramic

is also very compatible with human tissues, it can be used for bone prostheses and dental fillings.

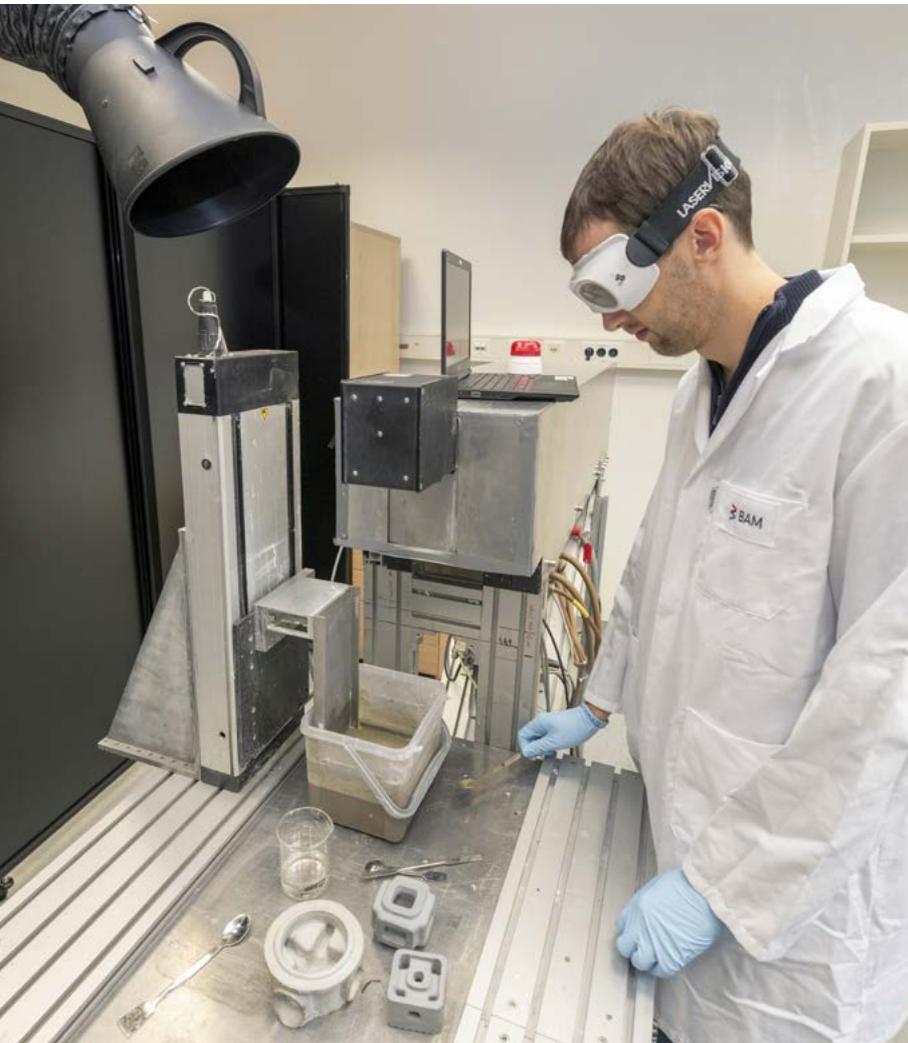
The individual parts can be produced in several ways. Ceramic powder can be compressed into a block, then the desired shape can be milled out of it. However, the loss of material is enormous – and the process quickly reaches its limits for complicated geometries. Ceramic

“For objects with a wall thickness of just a few millimetres cracks can easily develop.”

Mischen der Suspension

Mixing the suspension





Unter dem Laser wird das Bauteil Schicht um Schicht geformt.

The component is produced layer by layer under the laser.

components can also be cast. If, as is often the case, it is to be used for custom-made products of low quantity, the comparatively expensive moulds become a decisive cost factor. Many researchers are therefore looking for alternative production methods.

For about ten years it has been possible to produce high-performance ceramics by 3D printing. To do this, ceramic particles are mixed with large quantities of plastics, the component is printed out and the polymers, which surround the desired object like a protective matrix, are then burnt-off in an oven. “The process is a significant step forward, but it works primarily for objects with a wall thickness of just a few millimetres because cracks can easily develop,” explains Jörg Lüchtenborg. But of course, industry has long been interested in larger and thick-walled components made of the high-performance material.

A coincidental discovery

A coincidental discovery brought a decisive step forward: Jens Günster, who supervises Lüchtenborg’s PhD thesis at BAM and teaches at Clausthal University of Technology, and his team are researching new methods of additive manufacturing. The scientists were investigating the interaction of laser beams and ceramics in suspension, which are liquid mixtures of ceramic powder and water, when suddenly the laser produced a solid layer. The researchers had discovered nothing less than a new additive manufacturing process for ceramics and immediately applied for a patent. Conceivably – according to their idea – whole objects could be formed layer by layer with a printer. However, they had only succeeded in drying and joining a few superimposed ceramics layers and thus samples a few millimetres high using the laser – so there was still a long way to go before the method could be used. Jörg Lüchtenborg was given the task of researching how the process could be used to produce real components and complex structures.

For several months, he experimented in the laboratory with silicon nitride, a high-performance ceramic distinguished by its special strength.

He filled a small vat about 20 by 20 centimetres in size, with a mixture of the ceramic-water suspension. He then used the laser beam to heat the surface exactly where the ceramic component was later to be produced and let the water evaporate at around 100 degrees Celsius. This created suction that attracted surrounding ceramic particles. They agglomerated into a solid structure and produced a first layer. Lüchtenborg then lowered the platform with the vat a little, applied another layer of the ceramic-water mixture and started the procedure anew.

Shrinkage at over 1,500 degrees

“Above all, it was important to find the right parameters for the laser beam: for its power and the duration of the exposure. If the energy density is too high, the water evaporates abruptly, and the ceramic particles are ejected. If, however, the energy is too low, it does not solidify as desired,” says Lüchtenborg.

Finally, the PhD student was able to find the right settings for a stable process and layer, so after printing many layers, one on top the other, a sample eight centimetres high with a wall thickness of more than six millimetres grew in the vat. The object was then sintered in a furnace at over 1,500 degrees Celsius which caused the particles to bond together. The ceramic thickens and shrinks by 14 percent, making it really stable.

The patented process still requires further research to print ceramics, but because no supporting plastic has to be burned away, components of larger volume are now possible. And perhaps objects such as the grey triangle will one day actually become an element for a satellite in space.

In the meantime, the patent has been sold to a company and is being tested for commercial application. BAM staff are already testing whether it can be transferred to other material classes such as building materials. ◀

KONTAKT/CONTACT

Jörg Lüchtenborg
Joerg.Luechtenborg@bam.de

Keramische Prozesstechnik und Biowerkstoffe
Ceramic Processing



KONTAKT/CONTACT

Prof. Dr. Jens Günster
Jens.Guenster@bam.de

Keramische Prozesstechnik und Biowerkstoffe
Ceramic Processing





THEMENFELD

ANALYTICAL SCIENCES

FOCUS AREA

ANALYTICAL SCIENCES

Für viele wissenschaftliche und technische Problemlösungen und Innovationen sind die Analytical Sciences eine Schlüsseltechnologie an der Schnittstelle von Chemie, Physik, Biologie und Materialwissenschaften. Gesellschaftlich und politisch kontroverse Themen wie erneuerbare Energien, neue Technologien wie die Nanotechnologie oder die Nutzung von Ressourcen können erst mit verlässlichen analytischen Daten diskutiert werden. Die Wertschöpfung vieler Produkte und Prozesse ist in Bezug auf Quantität und Qualität von Analytical Sciences abhängig. Unsere Aktivitäten umfassen methodische und instrumentelle Aspekte von vielfältigen Prüf- und Messverfahren.

Im Fokus unserer Arbeit im Themenfeld Analytical Sciences stehen die Aktivitätsfelder chemische Zusammensetzung und Spurenanalytik, Oberflächen- und Grenzflächenanalytik, zerstörungsfreie Prüfung und Spektroskopie, Strukturanalytik und Materialografie, Sensorik und Qualitätssicherung. ◀

A *analytical sciences at the interface of chemistry, physics, biology and materials science are a key technology for many scientific and technical solutions and innovations. Controversial issues in society and politics such as renewable energy, new technologies e.g. nanotechnology or the use of resources can only be discussed based on reliable analytical data. Added value of many products and processes in terms of quantity and quality depends on analytical sciences. Our activities include methodological and instrumental aspects of various test and measurement methods.*

Our activities in the focus area analytical sciences include trace analysis and chemical composition, surface and interface analysis, non-destructive testing and spectroscopy structure analysis and materialography, sensor technology and quality assurance. ◀





SMARTER TEST FÜR STILLENDE MÜTTER

Es existieren kaum Daten dazu, wie medizinische Wirkstoffe in Muttermilch übergehen. Das bringt stillende Mütter, die Antibiotika oder Schmerzmittel einnehmen müssen, immer wieder in schwierige Situationen. Ein neuer Schnelltest könnte bald mehr Sicherheit geben.

SMART TEST FOR NURSING MOTHERS

There is hardly any data on how pharmaceutical substances are transferred into breast milk. This repeatedly puts nursing mothers who have to take antibiotics or painkillers in difficult situations. A new rapid test may soon provide greater certainty.

Es war ein persönliches Erlebnis, das Anna Raysyans Interesse für ihr neuestes Forschungsgebiet weckte. Die gebürtige Armenierin, die in Moskau Pharmazie studiert hatte, arbeitete bereits als Doktorandin an der BAM, als eine Cousine sie 2017 um Rat bat: „Ein Arzt in Moskau hatte ihr das Schmerzmittel Diclofenac verschrieben. Da meine Cousine soeben erst entbunden hatte, war sie natürlich besorgt, dass sie beim Stillen den Wirkstoff an ihr Kind weitergeben und ihm damit schaden könnte. Das war für mich ein Schlüsselmoment.“ Aus ethischen Gründen sind innerhalb der EU und in vielen anderen Ländern medizinische Studien an Schwangeren und stillenden Müttern nicht erlaubt. Daher existieren kaum verlässliche Daten darüber, wie medizinische Substanzen aus dem Blut in die Muttermilch übergehen, wie lange sie sich dort halten und was sie im Organismus von Säuglingen bewirken.

Die Ungewissheit, wie viel weitergegeben wird

„Stillende Mütter kommen jedoch nicht umhin, manchmal Schmerzmittel, Antibiotika oder andere Medikamente einzunehmen. Meistens wird dazu geraten, kurzwirksame Arzneien unmittelbar nach dem letzten Stillen zu verwenden, damit die Wirkstoffkonzentration im Blut bereits niedrig ist, wenn der Säugling erneut Hunger bekommt. Was bleibt, ist die Unsicherheit, ob und wie viel vom Arzneistoff mit der Muttermilch doch noch weitergegeben wird“, erklärt Raysyan.

Die Pharmazeutin entwickelte damals gerade einen Nachweis für die Chemikalie Bisphenol A, eine hormonell wirksame Verbindung, die bestimmte Kunststoffe abgeben. Mit dem Testprinzip, das Antikörper nutzt, ließe sich vielleicht auch das Schmerzmittel Diclofenac in einer Probe Muttermilch nachweisen. Wenn man nämlich andere Antikörper verwendete.

Antikörper sind Eiweißmoleküle, die natürlicherweise im menschlichen Organismus vorkommen: Abwehrzellen produzieren sie, um Krankheitserreger wie Bakterien oder Viren zu markieren und damit für die Zerstörung durch Fresszellen freizugeben. Das Besondere an Antikörpern: Sie sind sehr spezifisch und können jeweils nur eine ganz bestimmte chemische Struktur, etwa auf der Oberfläche eines bestimmten Krankheitserregers, erkennen. Sie funktionieren nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip.

Schnelltest mit Antikörpern

Beim Schwangerschaftstest etwa wird durch Bindung an Antikörper ein bestimmtes Hormon nachgewiesen. Anna Raysyan beschloss, sich das Testprinzip, das jede Frau zu Hause selbst anwenden kann, zunutze zu machen. Sie wollte einen Nachweis entwickeln, der stillenden Müttern ermöglicht, die Konzentration von medizinischen Wirkstoffen in ihrer Muttermilch selbst zu überprüfen.

Sie verwendete dazu im Labor gewonnene Antikörper, welche die jeweiligen Medikamente erkennen, und machte sie „sichtbar“ durch eine Markierung mit winzigen Partikeln. Außerdem präparierte sie spezielle Teststreifen so, dass diese Antikörper daran binden können. Gab sie einige Tropfen vorbehandelte Muttermilch auf die Startstelle des Teststreifens, so löste die Flüssigkeit die Antikörper aus einem Pad und wanderte aufgrund der Kapillarkräfte über den präparierten Bereich. Waren *keine* Wirkstoffe vorhanden, so banden die markierten Antikörper hier an und es zeigte sich eine deutlich sichtbare farbige Linie. Befanden sich hingegen medizinische Substanzen in der Probe, dockten diese an die Antikörper und blockierten so die Bindungsstellen in der präparierten Zone. Der Streifen bildete sich nur teilweise aus – je nach Konzentration der Wirkstoffe. Das Prinzip funktionierte also.

Anna Raysyan hat einen Test entwickelt, der medizinische Wirkstoffe in Muttermilch nachweist.

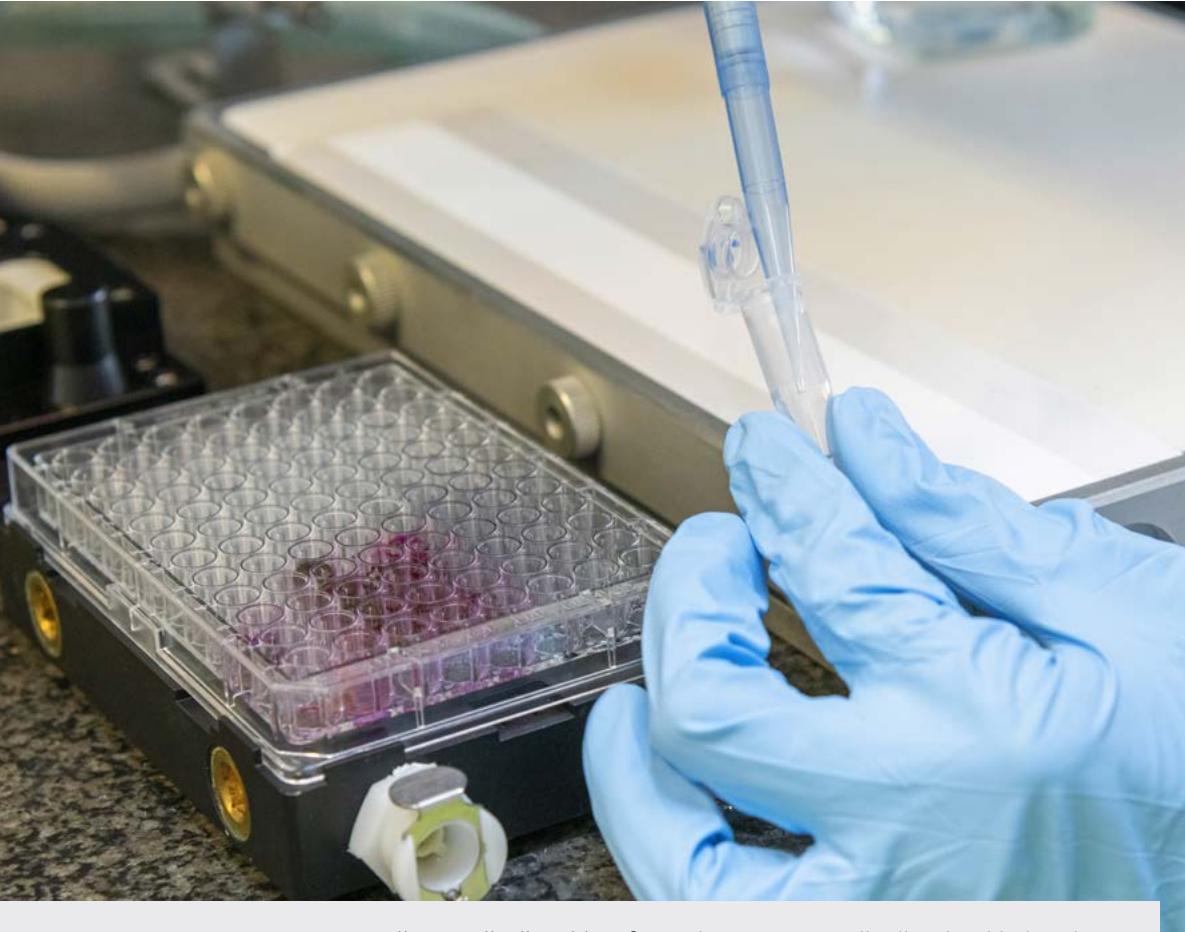
Anna Raysyan has developed a test that detects pharmaceutical substances in breast milk.

Nun musste Raysyan für den Test noch eine handliche Lösung finden. Sie verwendete dazu scheckkartengroße Kassetten aus Plastik, die sie mit den Teststreifen ausstattete.

Damit Mütter in Zukunft das Messergebnis zu Hause sofort auswerten können, hat Raysyan zusammen mit einem Projektpartner inzwischen eine Smartphone-App entwickelt. In die App können stillende Mütter ihr Körpergewicht, das des Säuglings sowie den Namen des Medikaments und den Zeitpunkt der Einnahme eingeben.

Dann genügt ein Foto von der Nachweiszone des Teststreifens und die App gibt mithilfe von Datenbanken, in denen Informationen zu dem Wirkstoff abgelegt sind, konkrete Empfehlungen zum Stillverhalten. Die Anwendung funktioniert auf zwei Dritteln aller Smartphones neuerer Generation. Sie gibt auch vor, wann die nächste Kontrolle stattfinden soll.





Der Test nutzt Antikörper, die die Wirkstoffe binden und so sichtbar machen.

The test uses antibodies that bind to the pharmaceutical substances and thus make them visible.

„Bei der Entwicklung der App haben wir großen Wert auf Datenschutz gelegt.“

App mit Datenschutz

„Bei der Entwicklung der App haben wir großen Wert auf den Datenschutz gelegt“, betont Raysyan. „Sämtliche personenspezifische Daten verbleiben im Smartphone. Nur mithilfe der Verfärbung des Nachweiststreifens und des Namens des Medikaments lässt sich auf die Wirkstoffkonzentration in der Milch schließen.“

Das Prinzip, nach dem ihr smarter Schnelltest arbeitet, hat die Wissenschaftlerin inzwischen im Labor weiter erfolgreich validiert. Acht gesunde Frauen, die keine Medikamente einnahmen, haben Milch zur Verfügung gestellt. Die Wirkstoffe, Antibiotika und Schmerzmittel, hat Raysyan vor den Tests zur Milch hinzugegeben und konnte sie dann auch korrekt nachweisen. Inzwischen funktioniert ihr Test für all jene Antibiotika, die Ärzte*innen in Deutschland – und auch in Russland – am häufigsten verschreiben.

Die nächste Herausforderung ist nun, das Verfahren zur Praxisreife zu führen. Anna Raysyan möchte dazu einen Teststreifen aus möglichst umweltverträglichem Material entwickeln, denn nach einmaligem Gebrauch ist der natürlich nicht mehr nutzbar. Auch das Gehäuse soll aus recycelbarem Kunststoff hergestellt werden.

Raysyan hat bereits an mehreren Wettbewerben teilgenommen, bei

denen ihre Idee für den Schnelltest auf ihre Realisierbarkeit überprüft wurde: „Das Urteil war positiv.“ ◀

It was a personal experience that sparked Anna Raysyan's interest in her latest field of research. The Armenian-Russian scientist was already a PhD student at BAM when in 2017, her cousin asked her for advice: "A doctor in Moscow had prescribed her the painkiller diclofenac. As my cousin had just given birth, she was naturally concerned that she might pass on the active substance to her child when breastfeeding and thus harm the baby. This was a key moment for me."

For ethical reasons, medical studies on pregnant women and nursing mothers are not allowed within the EU and in many other countries. As a result, little reliable data is available on how medical substances pass from the blood into breast milk, how long they remain there and what they do in infants' bodies.

The uncertainty of how much will be passed on

"However, nursing mothers sometimes cannot avoid taking painkillers, antibiotics or other medications. It is generally advised to use short-acting medicines immediately after the last breastfeeding session, so that the active substance concentration in the blood is already low when the baby gets hungry again. What remains is the uncertainty as to whether and how much of the medicine is still passed on through breast milk," explains Raysyan.

At that time, Raysyan was developing a test method for the chemical bisphenol A, a hormonally active compound emitted by certain plastics.



Per App können die Testergebnisse zu Hause ausgewertet werden.

The test results can be evaluated at home using an app.



Präparierung der Testmembran mit Antikörpern

Preparing the test membrane with antibodies

Raysyan then wanted to see if it is possible for the test to also detect the painkiller diclofenac in breastmilk using other antibodies. Antibodies are protein molecules that occur naturally in human organisms: they are produced by defence cells to mark pathogens such as bacteria or viruses and thus identify them for destruction by phagocytes. What is special about antibodies is that they are very specific and only recognise a very specific chemical structure, for example on

the surface of a particular pathogen. They function according to the lock-and-key principle.

Rapid test using antibodies

Pregnancy tests can detect certain hormones by binding to antibodies. Anna Raysyan decided to make use of this test method as she wanted to develop a test that would enable nursing mothers to check the concentration of medical substances in their breast milk themselves at home.

To do this, she used antibodies obtained in the laboratory that recognise the respective medicines and made them “visible” by marking them with tiny particles. She also prepared special test strips so that these antibodies could bind to them.

When she applied a few drops of pre-treated breast milk to the start spot on the test strip, the liquid released the antibodies from a pad and migrated over the prepared area due to capillary forces. If the liquid contained no active substances the labelled antibodies migrated across the test strip and bound to the prepared test zone to gradually form a dense coloured line. If there were active substances in the sample, the antibody’s binding sites were blocked and they could not bind to the membrane in the prepared zone. As a result, a coloured line formed only in part – more or less intense, depending on the concentration of the active substance. This indicated that the principle worked.

Raysyan wanted to find a practical solution for the test and came up with plastic cassettes the size of a credit card, which she equipped with the test strips.

To enable mothers to immediately evaluate the measurement results at home, Raysyan together with a project partner have now developed a smartphone app. Breastfeeding mothers can enter their body weight

and that of the baby, the name of the medicine and the time it was taken into the app.

A photo of the test strip's detection zone is all that is needed, and the app makes specific recommendations on breastfeeding behaviour based on databases containing information on the active substance. The application runs on two thirds of all new-generation smartphones. It also indicates when the next test should take place.

We placed great emphasis on data protection when developing the app.

App with data protection

“We placed great emphasis on data protection when developing the app,” emphasises Raysyan. “All personal data remains in the smartphone. The concentration of the active substance in the milk can be detected through the discolouration of the detection strip and the name of the medicine.”

Meanwhile, in the laboratory, she has successfully validated the principle according to which her smart rapid test works. Eight healthy women who were not taking any medication provided breast milk. Raysyan added antibiotics and painkillers to the milk before the tests and was then able to detect them correctly. Her test now works for all

those antibiotics that doctors most frequently prescribe in Germany and Russia.

The next challenge is to bring the procedure to practical maturity. Anna Raysyan would like to develop a test strip made of the best environmentally friendly material possible because after a single use it is of course no longer functional. The housing should also be made of recyclable plastic.

Ms. Raysyan has already participated in several competitions where her rapid test idea was tested for feasibility: “The feedback was positive.” ◀



KONTAKT/CONTACT

Anna Raysyan
Anna.Raysyan@bam.de

Umweltanalytik
Environmental Analysis



SCHNELLERER NACHWEIS VON GEFÄLSCHTEN LEBENSMITTELN

Der Handel mit gefälschten Lebensmitteln ist ein Millionengeschäft. Produktfälschungen aufzudecken war bislang aufwendig und teuer. Die BAM entwickelt eine schnellere und deutlich kostengünstigere Methode.





FAST DETECTION OF COUNTERFEIT FOOD

The counterfeit food trade is a multimillion-dollar business. Detection of counterfeit products has been expensive and time-consuming. BAM is developing a faster and much more cost-effective method.

Mit Wein, Käse oder anderen Lebensmitteln aus geschützten Ursprungsregionen lassen sich besonders hohe Gewinnmargen erzielen. Sie stehen daher bei Produktfälschern hoch im Kurs: Oft werden sie mit minderwertigen Bestandteilen gestreckt oder die verkaufsfördernde Herkunft ist nur vorgetäuscht. Verbraucher*innen können sich vor dem Betrug kaum schützen, denn die Unterschiede sind mit bloßem Auge nicht zu erkennen – und in vielen Fällen womöglich auch nicht sicher zu erschmecken.

Um die Authentizität von Produkten zu überprüfen, verwenden Lebensmittelchemiker*innen meist die Massenspektrometrie. Jedoch dauern die Untersuchungen bis zu zwei Wochen und die Laborgeräte kosten mehrere Millionen Euro. Carlos Abad Andrade, Chemiker an der BAM, hat nach einem Verfahren gesucht, das die Analysen beschleunigt und zugleich kostengünstiger macht. Seine Idee war es, mit Lichtwellen Isotopen-Fingerabdrücke von Lebensmitteln zu nehmen, um die Herkunft eines Produkts eindeutig zu klären. Denn die Verteilung der Isotope bestimmter chemischer Elemente wie Sauerstoff, Wasserstoff oder Stickstoff ist für jede Region auf der Erde charakteristisch und einzigartig.

Inspiziert durch die Astrophysik

Abad hat sich auf der Suche nach einer geeigneten Analyseverfahren von der Astrophysik inspirieren lassen: Mittels hochauflösender optischer Spektrometrie lässt sich das Alter ferner Himmelskörper bestimmen. In vier Jahren intensiver Forschung hat der gebürtige Venezolaner das Verfahren für die Lebensmittelanalyse adaptiert. „Jedes chemische Element enthält Atome mit unterschiedlichen Massen – die Isotope“, erklärt Abad. In Zahlen ausgedrückt sind die Unterschiede zwischen ihnen verschwindend gering. Dank der optischen Spektrometrie kann der Wissenschaftler sie dennoch für seine Untersuchungen nutzen –

ähnlich wie in der Astrophysik.

Die Himmelsforscher untersuchen mit der Isotopenanalyse entfernte Galaxien. „Die Methode ist sehr präzise“, führt Abad aus. „Obwohl Astrophysiker natürlich keine Möglichkeit haben, auf den Sternen Materialproben zu nehmen.“ Stattdessen nutzen sie das Licht, das die fernen Sonnen ausstrahlen. Die Wellen durchqueren zunächst in deren Atmosphäre Wolken von Isotopengemischen. Die Isotope wiederum absorbieren einen Teil der Lichtenergie: Je schwerer sie sind, desto mehr nehmen sie davon auf. Erreicht das restliche Licht die Erde, spaltet man es in seine Spektralfarben auf und kann so feststellen, aus welchen Isotopen sich der Stern zusammensetzt. „Das ist wie ein Fingerabdruck“, erläutert Abad. „Er ist charakteristisch für jeden Stern und lässt Rückschlüsse auf sein Alter zu.“



Wenn man in einer Probe die Bor-Isotope bestimmt, erhält man einen Fingerabdruck des Produkts und kann sagen, woher es stammt.

Analyse bei 2.500 Grad Celsius

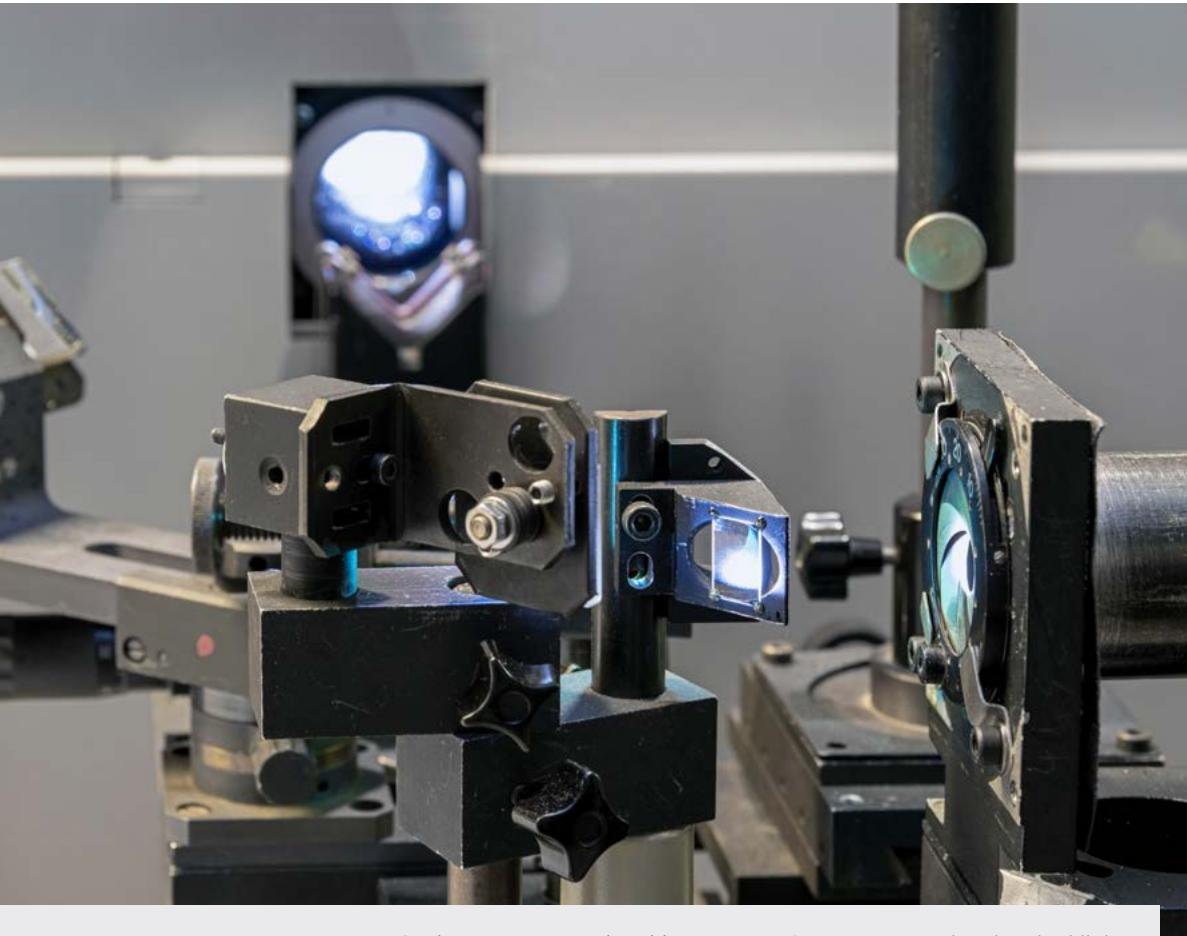
Für die Lebensmittelanalyse lässt sich etwa das Verhältnis nutzen, in dem bestimmte Bor-Isotope auf der Erde vorkommen und sich entsprechend in pflanzlichem und tierischem Gewebe ablagern. Zu 80 Prozent

entfallen die Isotope auf Bor-11, zu 20 Prozent auf Bor-10. Dieses Verhältnis ist an jedem Ort auf dem Globus gleich – fast. „Es gibt von Region zu Region winzige, aber charakteristische Unterschiede, die wir genau kennen“, so Abad. „Wenn ich in einer Probe die Verteilung der Bor-Isotope bestimme, erhalte ich einen Fingerabdruck des Produkts und kann sagen, woher es stammt.“ Denkbar sind auch ganz andere Anwendungen: Mit der Methode lassen sich auch die Quellen von Umweltschadstoffen, etwa von Pestiziden oder Industrieabfällen, bestimmen. Ein langfristiges Ziel ist, die Herkunft von chemischen Kampfstoffen zu ermitteln. Carlos Abad arbeitet mit einem Analysegerät, das etwa doppelt so groß ist wie eine Mikrowelle. „Es ist der Prototyp eines neuen Spektrometers, das die Firma Analytik Jena zur Marktreife bringen will. Wir nutzen es an der BAM in einer Kooperation mit dem Unternehmen und mit dem Leibniz-Institut für Analytische Wissenschaften (ISAS).“ Das Spektrometer besitzt einen kleinen Ofen, der Temperaturen von bis zu 2.500 Grad Celsius erzeugen kann. Mit einem fingerlangen Stab, dem

Carlos Abad Andrade nimmt Isotopen-Fingerabdrücke von Lebensmitteln und kann so ihre Herkunft bestimmen.

Carlos Abad Andrade takes isotope fingerprints of food and can thus determine its origin.





Spektrometer: Das absorbierte Licht erlaubt Rückschluss auf die Verteilung der Isotopen.

Spectrometer: The absorbed light provides information about the distribution of isotopes.

sogenannten Probenschiffchen, lassen sich Proben einbringen. Alle weiteren Arbeitsschritte erledigt das Analysegerät vollautomatisch: Der Ofen heizt sich auf, Gase strömen in die Brennkammer. Sie reagieren mit den Inhaltsstoffen der Probe. Abad erzeugt so bestimmte chemische Verbindungen von Elementen, deren Spektraleigenschaften er genau kennt, und lässt sie anschließend von einer Lichtquelle bestrahlen. Wie in der Nähe der Sterne absorbieren die Isotopenverbindungen einen Teil des Lichts. Das verbleibende Spektrum fängt ein hochauflösender Detektor auf: „Bisher war es technisch nicht möglich, so detaillierte Spektren aufzunehmen. Und das in einem sehr großen Wellenlängenbereich von Ultraviolett bis Infrarot“, so Abad.

Ein praxistaugliches Verfahren

Um die großen Datenmengen, die das Spektrometer erzeugt, zu analysieren, setzt der BAM-Forscher eine intelligente Software ein: „Anfangs dachte ich, man könne relativ schnell aus den Spektren ablesen, welche Isotope im Ofen Licht absorbieren. Aber es gibt viele Überschneidungen und gegenseitige Beeinflussungen – das kann nur ein Computer mit selbstlernenden Rechenverfahren richtig interpretieren.“ Durchgespielt hat Abad die Methode mit Untersuchungen an Gesteinsarten verschiedener Herkunft. Vergleichsmessungen mit einem Massenspektrometer, dem traditionellen Arbeitsgerät der Lebensmittelanalytik, zeigen, dass die erzielten Ergebnisse zuverlässig sind. Die hochauflösende optische Spektrometrie wird demnächst praxistauglich sein und ist dann auf andere Anwendungsfelder übertragbar. Bald werden Herkunftsanalysen von Lebensmitteln nicht mehr Wochen dauern, sondern nur noch wenige Stunden. Deutlich kostengünstiger sind sie in Zukunft auch. Und vielleicht schrecken sie Fälscher ab und helfen so, den

authentischen Geschmack von hochwertigen Nahrungsmitteln zu bewahren. ◀

The counterfeit food trade is a multimillion-dollar business. Detection of counterfeit products has been expensive and time-consuming. BAM is developing a faster and much more cost-effective method. Wine, cheese or other foods from protected regions of origin can generate particularly high profit margins. They are therefore very popular with counterfeiters who often dilute them with inferior ingredients or falsify their origin. Consumers can hardly protect themselves against fraud because the differences cannot be detected with the naked eye or in many cases cannot be tasted.

Food chemists usually use mass spectrometry to check the authenticity of products. However, the tests take up to two weeks and the required laboratory equipment costs several million euros.

Carlos Abad Andrade, a chemist at BAM, has been looking for a method that can accelerate the analysis and make it less expensive. His idea is to use light waves to take isotope fingerprints from a food product in order to clarify its origin. The distribution of the isotopes of certain chemical elements such as oxygen, hydrogen or nitrogen is characteristic and unique for every region on Earth.

Inspired by astrophysics

Abad drew on astrophysics for a suitable analytical method in his search: star researchers can determine the age of distant celestial bodies using high-resolution optical spectrometry. The Venezuelan-born scientist has adapted the method for food analysis in four years of

intensive research. “Each chemical element contains atoms with different masses or isotopes,” explains Abad. Although the difference between the isotopes is extremely small when expressed in numbers,



Vorbereitung der Probe im Reinraum

Sample preparation in the clean room



he can still use them for his investigations – thanks to optical spectrometry. This is similar to how astrophysicists work. Astronomers use isotope analysis to study distant galaxies. “The method is very accurate,” says Abad. “Although, of course, astrophysicists have no way of taking material samples from the stars.” Instead, they use the light emitted by distant suns. The waves first pass through clouds of isotope mixtures in their own atmosphere.

Die Probe wird in Flüssigkeit aufgelöst, damit sie gemessen werden kann.

The sample is dissolved in liquid to enable measurements to be taken.

The isotopes in turn absorb part of the light energy: the heavier they are, the more they absorb. When the remaining light reaches Earth, astrophysicists break it down into its spectral colours and can detect which isotopes constitute a star. “This is like a fingerprint,” explains Abad. “It is characteristic of every star and allows conclusions to be drawn about its age.”

Analysis at 2,500 degrees Celsius

The ratio in which certain boron isotopes occur on Earth and are deposited in plant and animal tissue can be used for food analysis. Boron-11 accounts for 80 percent and boron-10 for 20 percent of boron isotopes. This ratio is almost identical everywhere around the globe. “There are tiny but characteristic differences from region to region that we know very well,” says Abad. “If one determines the distribution of boron isotopes in a sample, it is possible to get a fingerprint of the product and determine where it comes from.” Other applications are also feasible: the method can also be used to determine the sources of environmental pollutants, such as pesticides or industrial waste. A long-term goal is to determine the origin of chemical warfare agents. Carlos Abad is working on an analytical device that is about twice the size of a microwave. “It is the prototype of a new spectrometer that Analytik Jena hopes to bring to market. We BAM researchers are using

If one determines the distribution of boron isotopes in a sample, it is possible to get a fingerprint of the product.

it in cooperation with the company and the Leibniz Institute for Analytical Sciences (ISAS).”

The spectrometer has a small furnace that can generate temperatures of up to 2,500 degrees Celsius. Samples can be introduced using a finger-long rod, called sample platform boat. The analyser performs all further steps fully automatically: the furnace heats up, gases flow into the combustion chamber and react with the ingredients of the sample. Abad produces certain chemical compounds of elements whose spectral properties he knows and then irradiates them with a light source. The isotope compounds absorb part of the light much like they do in the vicinity of the stars. The resulting spectrum is captured by a high-resolution detector: “Until now, it was technically impossible to record such detailed spectra, and moreover, in a very broad wavelength range from ultraviolet to infrared,” says Abad.

A practical procedure

The BAM researcher uses intelligent software to analyse the large amounts of data generated by the spectrometer: “At first I thought it would be relatively easy to read from the spectra which isotopes absorb light in the furnace. But there are many overlaps and mutual influences – only a computer using self-learning

algorithms can correctly interpret this.” Abad has tested the method by investigating rock types of different origins.

Comparative measurements using a mass spectrometer, the traditional tool of food analysts, show that the results obtained are reliable. The high-resolution optical spectrometry developed will soon be suitable for practical use and can be implemented in other fields as well. It will soon no longer take weeks to analyse the origin of a food product but only a few hours – and it will also be more economical in the future. And maybe it will deter counterfeiters, thus helping to preserve the authentic taste of quality food products. ◀



KONTAKT/CONTACT

Dr. Carlos Enrique Abad Andrade
Carlos.Abad@bam.de

Anorganische Referenzmaterialien
Inorganic Reference Materials



4
Be
Beryllium

12
Mg
Magnesium

20
Ca
Calcium

38
Sr
Strontium

56
Ba
Barium

88
Ra
Radium

21
Sc
Scandium

39
Y
Yttrium

57
La
Lanthan*

89
Ac
Actinium**

22
Ti
Titan

40
Zr
Zirkonium

72
Hf
Hafnium

104
Rf
Rutherfordium

23
V
Vanadium

41
Nb
Niob

73
Ta
Tantal

105
Db
Dubnium

24
Cr
Chrom

42
Mo
Molybdän

74
W
Wolfram

106
Sg
Seaborgium

25
Mn
Mangan

43
Tc
Technetium

75
Re
Rhenium

107
Bh
Bohrium

26
Fe
Eisen

44
Ru
Ruthenium

76
Os
Osmium

108
Hs
Hassium

27
Co
Cobalt

45
Rh
Rhodium

77
Ir
Iridium

109
Mt
Meitnerium

28
Ni
Nickel

46
Pd
Palladium

78
Pt
Platin

110
Ds
Darmstadtium

29
Cu
Kupfer

47
Ag
Silber

79
Au
Gold

111
Rg
Roentgenium

30
Zn
Zink

80
Hg
Quecksilber

5
B
Bor

13
Al
Aluminium

31
Ga
Gallium

49
In
Indium

82
Pb
Blei

113
Nh
Nihonium

7
Li
Lithium

14
Si
Silicium

33
As
Arsen

50
Sn
Zinn

83
Bi
Bismut

116
Lv
Livermorium

68
Er
Erbium

100
Fm
Fermium

*

58
Ce
Cer

59
Pr
Praseodym

60
Nd
Neodym

61
Pm
Promethium

62
Sm
Samarium

63
Eu
Europium

64
Gd
Gadolinium

65
Tb
Terbium

66
Dy
Dysprosium

91
Pa
Protactinium

92
U
Uranium

93
Np
Neptunium

94
Pu
Plutonium

95
Am
Americium

96
Cm
Curium

97
Bk
Berkelium

98
Cf
Californium



DAS BAM-PERIODENSYSTEM

Hier sind wir in unserem Element!

Das Periodensystem der Elemente hatte 2019 seinen 150. Geburtstag. Es ordnet alle Stoffe im Universum nach ihren Atommassen und ihren Eigenschaften.

Zum Jubiläum dieser bedeutenden wissenschaftlichen Errungenschaft stellten BAM-Mitarbeiter*innen auf Twitter unter [@BAMResearch](#) ihr Lieblingselement vor. Wir zeigen einige ausgewählte Porträts.

BAM'S PERIODIC TABLE

Here we are in our element!

The Periodic Table of Chemical Elements marked its 150th anniversary in 2019. It arranges the elements of the universe according to their atomic mass and properties.

To commemorate the anniversary of this important scientific achievement, BAM employees presented their favorite element on Twitter under the handle [@BAMResearch](#). The following is a selection of these portraits.



Karin Pachaly @Gleichstellung

Mit [#Meitnerium](#) verbinde ich die Stärke der Frauen in den Naturwissenschaften: Lise [#Meitner](#) wurde 1906 als zweite Frau im Hauptfach Physik an der Wiener Universität promoviert und erhielt 21 wissenschaftliche und öffentliche Auszeichnungen für ihr Werk und ihr Leben.

With [#Meitnerium](#) I associate the strength of women in science. Lise [#Meitner](#) was the second female to receive a doctorate degree in Physics at Vienna University in 1906. She received 21 scientific and public awards for her work and life.



Mt

Marcel Pauer @Ausbildung

Schon gewusst? [#Brom](#) ist neben Quecksilber das einzige natürliche Element, das unter Normalbedingungen flüssig ist.

Did you know? [#Brom](#), like mercury, is the only naturally occurring element that is liquid under normal conditions.



Br

Özlem Özcan @Grenzflächenprozesse und Korrosion

[#Zink](#) ist überall, aber leicht zu übersehen. In Korrosion Opfer und Held zugleich, entscheidend, aber bescheiden. In Parität mit [#Sauerstoff](#) bildet es [#ZnO](#), Zaubermittel in der Hausapotheke und ein [#advancedmaterial](#) als Halbleiter, Pigment und Katalysator.

[#Zinc](#) is everywhere, but easy to miss. It is the victim and hero of corrosion – determined but modest. In combination with oxygen it makes [#ZnO](#), a magic potion in your medicine cabinet and an [#advancedmaterial](#) as semiconductor, pigment and catalyst.



Zn

Rudolf Schneider @Umweltanalytik

Darf ich vorstellen: [#Beryllium](#). Als Kind hatte ich einen Lesestein aus dem Mineral Beryll. Später gab's 'ne Brille, für deren Name der Beryll Pate stand. Gerade aktuell ist die Datierung des Rückzugs der Gletscher über die Berylliumkonzentration in Eisbohrkernen.

May I introduce, [#Beryllium](#). As a child, I had a reading stone made of beryl. Later I had eyeglasses (Brille), which in German were named after beryl. Today, the concentration of beryl in iron cores can help date the shrinking of the glaciers.



Be

Priyanka Srivastava @Biophotonik

[#Dysprosium](#) schwer zu verstehen und reagiert schnell mit Wasser und Luft, resistent vor Demagnetisierung, sogar bei hohen Temperaturen. Meist genutzt als Steuerungselement in Nuklearreaktoren zusammen mit anderen Metallen. Es nimmt während des Neutronenbeschusses keine Neutronen auf, schwillt nicht an oder fällt zusammen.

[#Dysprosium](#) 'hard to get', rapidly reacts with water and air, resistant to demagnetization even at high temperature. Mainly used as control rods in nuclear reactors mixed with other metals, doesn't absorb neutrons, swell or contract during the neutron bombardment.



Dy

Kai Hilgenberg @Schweißtechnische Fertigungsverfahren

[#Ytterbium](#) ist ein Seltenerdmetall mit wenigen technischen Anwendungen. In unseren Lasern für [#AdditiveFertigung](#) & Schweißen kommt es aber voll zur Geltung: Es hilft als Dotierungselement, dass hochenergetische Laserstrahlung der geeigneten Wellenlänge entstehen kann.

[#Ytterbium](#) is a rare earth metal with few technical uses. It is a central component in our lasers for [#AdditiveFertigung](#) & welding. As a doping element it ensures that high-energy, laser beams are created at the right wavelength.



Yb

Eileen Nienke @Radiologische Verfahren

[#MarieCurie](#) hatte ihre Heimat [#Polen](#) im Sinn, als sie dem von ihr entdeckten radioaktiven Element [#Polonium](#) den Namen gab. Polonium entsteht zum Beispiel, wenn das Edelgas [#Radon](#) zerfällt. Da es stark krebserregend ist, gilt: In der Nähe von [#Po](#) nicht einatmen!

[#MarieCurie](#) was thinking of her homeland [#Poland](#) when she named the radioactive element [#Polonium](#), which she discovered. Polonium occurs when the noble gas [#Radon](#) decomposes. Because it is highly carcinogenic, don't breathe in near [#Po](#)!



Po

Andreas Teßmann @Innerer Dienst

[#Ruthenium](#) – silberweißes Edelmetall mit vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten. Steckt in so viel Elektronik drin – z.B. in Festplatten; dient aber auch als Katalysator für chemische Verfahren und wird sogar als Wirkstoff zur Therapie von Krebs erforscht.

[#Ruthenium](#) – silvery-white precious metal that serves a variety of purposes. Part of many electronics, such as hard drives, but also a catalyst for chemical processes. It is also being studied as a medical compound for cancer treatment.



Ru

Nsesheye Susan Msinjili @Baustofftechnologie

[#Rhodium](#) - Ich bin vielleicht ein seltenes Metall, aber ich bringe andere Elemente um mich herum zum Scheinern!

[#Rhodium](#) I might be a rare metal but I make other elements around me look their best!



Rh

A man with short brown hair and glasses, wearing a grey blazer over a light blue shirt and dark jeans, stands with his arms crossed in front of a modern, multi-story building with a grid-like facade. The building has many windows and a clean, architectural style. The ground is paved with light-colored tiles, and there are some green plants and a street lamp visible in the background.

Die BAM besetzt in Kooperation mit mehreren Universitäten Juniorprofessuren, um gezielt neue Ideen aus der akademischen Welt zu erhalten. Bis Ende 2018 hatte der bereits mit mehreren Preisen ausgezeichnete Chemiker Ilko Bald eine der Stellen inne. Im Gespräch berichtet der BAM-Alumnus über seine Erfahrungen während dieser Zeit. ►

BAM supports junior professorships through a cooperation with several universities in order to obtain new ideas from the academic world. The chemist Ilko Bald, who received several awards, held one of these positions until the end of 2018. The BAM alumnus talks about his experiences during this time. ►

DIE FREIHEIT, SICH ZU ENTWICKELN – ein Alumnus über seine Zeit als Juniorprofessor an der BAM

THE FREEDOM OF PERSONAL DEVELOPMENT – *an alumnus reports about his time as a junior professor at BAM*

Woran haben Sie in den sechs Jahren, in denen Sie zugleich Juniorprofessor an der BAM und an der Universität Potsdam waren, gearbeitet?

Ich habe in Berlin und in Potsdam ein neues Forschungsfeld etabliert, das ich zuvor als Postdoc in Dänemark kennengelernt hatte: DNA-Origami-Strukturen. Dabei geht es darum, wie man die DNA von Viren zu Nanostrukturen faltet – ähnlich einem Origami aus Papier, nur sehr viel kleiner. Man kann diese Nanostrukturen einsetzen, um im menschlichen Körper medizinische Wirkstoffe zu transportieren. Mein Team und ich haben sie zu einer Art Sensor umgebaut, um mit ihnen einzelne Moleküle nachzuweisen. Wir hoffen, daraus eine Technik zu entwickeln, mit der man chemische Reaktionen in Echtzeit verfolgen kann – in einer Präzision, die

bisher nicht möglich ist. Eines Tages wird man mit diesen Nanostrukturen aus DNA vielleicht auch Krebszellen in Gewebeproben nachweisen können.

Warum haben Sie sich 2013 auf die Juniorprofessur an der BAM beworben?

Ich fand die Ausschreibung damals interessant, muss aber zugeben, dass die BAM für mich – obwohl ich Berliner bin – Neuland war. Ich war fasziniert davon, wie aktiv die BAM sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der anwendungsorientierten Wissenschaft ist. Man bewegt sich ja als Akademiker an der Universität gewissermaßen in einer Blase. Die Juniorprofessur hat mir einen intensiven Einblick in die außeruniversitäre Forschung ermöglicht. Das hat mir sehr geholfen.

Inwiefern?

Ich habe mich vorher für einen reinen Grundlagenforscher gehalten. Die BAM, die ja die Aufgabe hat, die Wirtschaft in Deutschland zu unterstützen, war eine völlig neue Welt für mich – eine sehr spannende Welt. Für mich war es hilfreich zu sehen, wie man Forschung so betreibt, dass sie direkt in die Wirtschaft getragen werden kann. Das hatte ich vorher für mich gar nicht in Erwägung gezogen. Ich habe dann selbst begonnen, in ganz neue Richtungen zu denken, und meinen Fokus mehr auf die Anwendung gerichtet. Etwa auf die Frage: Wie kann man die DNA-Origami-Strukturen für analytische Zwecke, also etwa als Sensor, nutzen? Gerade die Sensorik ist ja ein Thema, das an der BAM sehr präsent ist.

Sie haben während Ihrer Zeit an der BAM einen „Consolidator Grant“ des Europäischen Forschungsrates in Höhe von zwei Millionen Euro erhalten. Inwieweit hat die Auszeichnung Ihre Forschungen begünstigt und wie sah die Arbeit an zwei Institutionen konkret im Alltag aus?

Der Preis war eine großartige Bestätigung unserer bisherigen Arbeit und zugleich ein Ansporn für die Zukunft. Mit dem Fördergeld konnte ich meine eigene Forschungsgruppe ausbauen. Mein Team und ich, wir haben die Kooperation zwischen BAM und Universität Potsdam wirklich gelebt. Wir sind viel hin und her gefahren, hatten an beiden Orten Zugang zu Laboren und Büroplätzen und konnten auf die gesamte Infrastruktur zugreifen. Das war schon ein Privileg. Wir haben uns dann meistens dafür entschieden, den Tag entweder an der BAM oder in Potsdam zu verbringen, je nachdem, welche Experimente gerade geplant waren.

Ist die Arbeit an einer außeruniversitären Forschungseinrichtung ein Karriereweg, den Sie Nachwuchswissenschaftler*innen empfehlen würden?

Absolut. In meinem Fall war dieser Weg ein Erfolgsmodell und ich würde diesen Weg auch jedem empfehlen. Ein ganz entscheidender Faktor war, dass beide Institutionen mir die Freiheit gegeben haben, sehr selbstständig zu arbeiten. Ich konnte mich ganz darauf fokussieren, meine eigenen Forschungsgebiete

und meine eigene Gruppe aufzubauen. So hatte ich die Möglichkeit, mich weiterzuentwickeln – und dann wird die eigene Forschung auch von außen als eigenständige Leistung wahrgenommen. Zudem kann man als BAM-Mitarbeiter sehr gut Kontakte knüpfen, da ergibt sich ganz schnell ein größeres Netzwerk, als man es allein an der Universität hätte.

Anfang 2019 wurden Sie als Ordinarius an die Universität Potsdam berufen. Was ist von der Kooperation geblieben?

Der anwendungsorientierte Ansatz der BAM ist in meine Forschung und Lehre eingeflossen. Wir halten das Modell der Juniorprofessur in gewisser Weise weiter aufrecht und benutzen immer noch Geräte an der BAM. Ich unterhalte mehrere Kooperationen mit Kolleg*innen an der BAM und wir planen gemeinsame Projektanträge. Ich betreue zudem mehrere Doktorarbeiten, die gerade an der BAM entstehen. Es gibt also nach wie vor viel Austausch. Und das soll auch so bleiben. ◀

What did you conduct research on during the six years you were a junior professor at BAM and Potsdam University?

I established a new field of research in Berlin and

Potsdam based on what I had previously learned as a postdoc in Denmark: DNA origami structures. The focus is on how to fold viral DNA into nanostructures – similar to paper origami, but much smaller. Nanostructures can transport medicinal substances inside the human body. My team and I have converted these structures into a kind of sensor that can be used to detect single molecules. We hope to develop a technology that will enable us to track chemical reactions in real time – with a precision that has not been possible until now. One day, these nanostructures from DNA may be able to detect cancer cells in tissue samples.

Why did you apply for a BAM junior professorship in 2013?

I found the job offering interesting, but I wasn't familiar with BAM – even though I am from Berlin. I was fascinated by how active BAM is in both basic research and applied science. As an academic at a university, one is in a kind of bubble. The junior professorship gave me extensive insight into non-academic research which helped me a lot.

To what extent?

I previously thought of myself solely as a basic researcher. BAM, whose task it is to support industry in Germany, was a completely new world for me and a very interesting one. It was helpful to see how research can be pursued in such a way that it can be

directly implemented by the industry. I had not even considered that before. I then started to think in completely new directions and focused more on application. For example, with regard to the question: How can DNA origami structures be used for analytical purposes, for example as sensors? Sensor technology is a topic of focus for BAM.



Ilko Bald lehrt an der Universität Potsdam. Davor war er Juniorprofessor an der BAM.

Ilko Bald teaches at the University of Potsdam. Previously, he was a junior professor at BAM.

During your time at BAM you received the prestigious Consolidator Grant worth 2 million Euro from the European Research Council. How did this award impact your

research and how did your day-to-day work-life look like at the two institutions?

The grant was a great confirmation of our work to date as well as a motivation for the future. As a result of the funds, I was able to expand my research group. My team and I were very dedicated to the cooperation between BAM and Potsdam University.

We drove back and forth a lot, had access to laboratories and office space at both locations and were able to take advantage of the entire infrastructure. That was quite a privilege. We often decided to

spend the day either at BAM or in Potsdam, depending on which experiments were currently running.

Is working at a non-academic research institute a career path that you would recommend to young scientists?

Absolutely. In my case it was a success story, and I would recommend this path to everyone. Both institutions gave me the freedom to work very independently which was a great benefit. I was able to focus entirely on building my own research areas and my own group. This gave me the opportunity to develop personally – and then one's own research is perceived as an independent achievement from the outside. As a BAM employee, it is easy to establish new contacts, which quickly results in a larger network than you would have at the university alone.

At the beginning of 2019 you were appointed full professor at Potsdam University. What has remained of the cooperation?

BAM's application-oriented approach has been incorporated into my research and teaching. We continue to maintain the junior professorship model in a way and still use equipment at BAM. I have several collaborations with colleagues at BAM and we are planning joint research proposals. I am also supervising some PhD students who are currently writing their thesis at BAM. So, there is still a lot of exchange and that is what I'm striving for. ◀

Video 1

Fe

Ca

Täuschend echt – das Aquarell „Mann in grünem Gewand“.
Mit der Röntgenfluoreszenzanalyse lassen sich Kunstwerke zerstörungsfrei auf ihre chemischen Elemente untersuchen.

Deceptively real – the watercolour painting “Man in a green garment.”
Works of art can be non-destructively tested for their chemical elements using X-ray fluorescence analysis.

K

Mn

Cr



Mn

Ba

Pb

Cu

PRÜFEN, BEWAHREN, SCHÜTZEN – ALS KUNSTDETEKTIV AN DER BAM

ART DETECTIVE AT BAM: TESTING, PRESERVING, PROTECTING

Mann in grünem Gewand“, so lautet der Titel des mit leuchtenden Farben aufs Papier geworfenen Aquarells. Angeblich stammte es von der Künstlerin Natalija Gontscharowa, die in den 1920er-Jahren Mitglied der russischen Avantgarde war. Ein Wiesbadener Kunsthändler hatte die Zeichnung in Umlauf gebracht. Es bestanden jedoch Zweifel an der Echtheit. Das Bundeskriminalamt beauftragte die BAM mit der Untersuchung des Bildes. Zusammen mit seinem Team konnte Oliver Hahn Heliogenblau nachweisen. Der synthetische Farbstoff ist erst 1935 in den Handel gekommen. Das Aquarell konnte also nicht authentisch sein. Es ist nur einer von vielen spektakulären Fällen, in

denen die BAM zurate gezogen wurde. Materialforscher*innen haben die angeblichen Hitler-Tagebücher entlarvt, ein gefälschtes Selbstbildnis Rembrandts oder die Kopie einer vermeintlichen Schubert-Partitur.

Die materielle Seite der Kunst

„An der BAM besitzen wir eine große Expertise in der Prüfung von Materialien. Und jedes Kunstwerk oder Zeugnis der historischen Überlieferung ist aus Materialien gefertigt“, so Oliver Hahn, der seit 2012 den Fachbereich Kunst- und Kulturgutanalyse leitet. „So bestehen Gemälde aus einem Bildträger aus Leinwand, Holz oder Metall. Dieser wird

Kunstwerke und Kulturobjekte haben immer auch eine materielle Seite. Das macht es bei Zweifeln möglich, sie als Fälschungen zu entlarven. Viel lieber ist es Oliver Hahn, sie mit den Mitteln der Materialforschung zu ergründen und dabei zu helfen, sie für die Nachwelt zu bewahren.

Works of art and cultural objects always have a material aspect. This makes it possible to expose them as forgeries in the event of doubt. Oliver Hahn, however, prefers to study them, using materials research tools, and to help preserve them for posterity.

bemalt mit Farben aus unterschiedlichen Bindemitteln und Pigmenten, etwa dem blauen Lapislazuli, dem silbrigen Pyrit oder anderen Farbstoffen. Und Manuskripte können aus Papier, Pergament, Papyrus oder Palmblättern bestehen, die mit Tinten oder Tuschen beschrieben werden.“ Es ist ein nüchterner Blick auf Kunst- oder Kulturobjekte – unabhängig von ihrer künstlerischen Qualität oder Aussage. Fälschungen lassen sich immer dann sicher nachweisen, wenn Teile der verwendeten Materialien zur angeblichen Entstehungszeit noch nicht verfügbar waren. Oliver Hahn und seine Kolleg*innen verwenden dazu fast ausschließlich zerstörungsfreie Methoden: Sie untersuchen die Objekte etwa mit

dem Röntgenfluoreszenzspektrometer; die Spektren des emittierten Lichts geben ihnen Aufschluss über die verwendeten Substanzen. Sie arbeiten mit Infrarot- und Raman-Spektroskopie oder mit dem Rasterelektronenmikroskop.

Die „Kunstdetektive*innen“ der BAM arbeiten mit Museen, Bibliotheken und Sammlungen auf der ganzen Welt zusammen: vom Londoner British Museum über das Kunstmuseum Albertina in Wien und die Bibliothèque Nationale in Paris bis zur Sankt Petersburger Eremitage und den Vatikanischen Museen.

Eintauchen in eine vergangene Zeit

Das Entlarven von Fälschungen macht dabei nur den geringeren Teil ihrer täglichen Arbeit aus – eine andere Art der Spurensuche ist ihnen viel lieber: „Spannender ist es, mit den Mitteln der Materialforschung Erkenntnisse über die Entstehung oder Herkunft eines Werkes zu gewinnen“, erklärt Oliver Hahn. „So lässt sich mit der Infrarotreflektografie erkennen, dass Leonardo da Vinci für seine anatomischen Studien mal mit Vorzeichnungen gearbeitet hat, sie dann wieder genialisch aufs Blatt wirft, ähnlich wie es auch Albrecht Dürer gemacht hat. Solche Entdeckungen geben einem das Gefühl, in eine weit entfernte Zeit einzutauchen und dem Künstler bei der Arbeit zuzuschauen.“

Ein anderes Beispiel: Im Pergament der berühmten Qumran-Rollen, die biblische Texte und Quellen der

jüdischen Geschichte aufbewahren, spiegelt sich die mineralogische Zusammensetzung des Toten Meeres wider. Denn das Wasser wurde bei der Bearbeitung der Tierhäute verwendet.

Weltweit führend sind die BAM-Forscher*innen bei



gerbstoffhaltigen Galläpfeln mit Eisensalzen hergestellt.

An der Universität Hamburg, wo Hahn neben seiner Tätigkeit an der BAM als Professor lehrt, baut das Exzellenzcluster „Understanding Written Artefacts“ ganze Datenbanken mit Informationen zu den von einzelnen Autor*innen verwendeten Tinten auf. Charakteristische Verunreinigungen erlauben es unter bestimmten Umständen, Manuskripte oder Zeichnungen zu datieren.

So weiß man etwa, dass Johann Wolfgang von Goethe Teile seines „Faust II“ um 1800, andere Partien seines Hauptwerks um 1825 verfasst hat. „Allein aufgrund des Schriftbildes lassen sich die Textpassagen nicht zuordnen“, so Oliver Hahn. „Für Goethes

Oliver Hahn forscht zum Schutz von Kunst- und Kulturgütern.

Oliver Hahn's research protects artefacts and cultural assets.

der Analyse der schwarzen Eisengallustinte, mit der in Europa und im Vorderen Orient von der Spätantike bis ins 19. Jahrhundert geschrieben und gezeichnet wurde. Die Tinte wird durch das Mischen von

ehemaliges Wohnhaus am Weimarer Frauenplan besitzen wir jedoch inzwischen ebenfalls Referenzdaten. Wenn wir die Tinte, die Goethe und seine Schreiber im Lauf der Jahrzehnte verwendet haben,

mit solchen Referenzen vergleichen – etwa datierten Briefen –, lassen sich viele Textpartien zeitlich genauer verorten.“

Tintenfraß und herausbrechende Notenköpfe

Allerdings besitzt Eisengallustinte auch eine zerstörerische Seite: Sie trägt Säure in Manuskripte ein. Die frisst sich durch das Papier, lässt Notenköpfe in Bach-Partituren herausbrechen oder zerstört ganze Zeichnungen.

Man in a green garment“ is the title of the watercolour painting daubed onto paper using bright paints. It was supposedly created by the artist Nataliya Goncharova, who was a member of the Russian avant-garde in the 1920s. A Wiesbaden art dealer had circulated the artwork. There were, however, doubts about its authenticity. The Federal Criminal Police Office commissioned BAM to investigate the painting. Oliver Hahn and his team proved that heliogen blue was used in the painting. Since this synthetic dye did not appear on the market before 1935, the watercolour painting could not be authentic.

Die BAM berät Restaurator*innen in Archiven und Museen bei der Entwicklung schützender Verfahren: Wie geht man mit durch Tintenfraß geschädigten Manuskripten um? Wie kann man angegriffenes Papier dauerhaft stabilisieren?

Sie forscht auch dazu, wie man mittelalterliche Glasmalereien gegen Korrosion und sogenannte Verbräunung schützen kann.

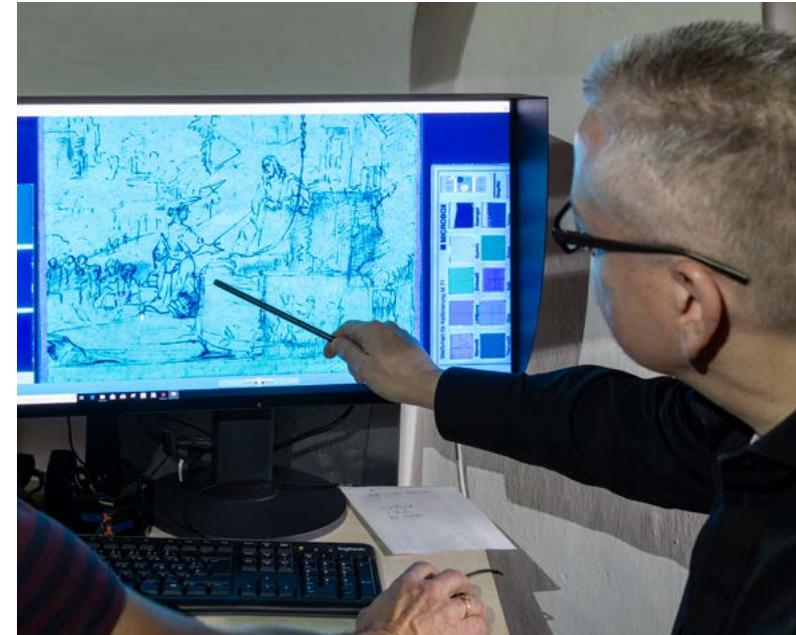
Kunst- und Kulturgut auf diese Weise vor dem Verfall zu bewahren, das ist für Oliver Hahn ein

This is only one of many spectacular cases in which BAM's expertise has been consulted. Materials scientists have exposed the alleged Hitler diaries, a fake Rembrandt self-portrait and a copy of a supposed Schubert score.

The material aspect of art

“At BAM we have great expertise in materials testing. And every piece of art or certificate of historical tradition was made with materials,” says Oliver Hahn, who has headed the Analysis of Artefacts and Cultural Assets division since 2012. “Paintings, for example, consist of a canvas, wood or metal medium painted with various paints. These paints contain

wesentlicher Antrieb seiner detektivischen Arbeit. „In diesen Werken drücken sich Künstler*innen aus. Sie dokumentieren das Wissen und die Ästhetik ihrer Zeit. Mir persönlich ist es wichtig, dass dieses Wissen erhalten bleibt und jeder daran Anteil nehmen kann.“ ◀



Die Infrarotreflektografie macht Vorzeichnungen sichtbar.

Infrared reflectography uncovers underdrawings



*Rembrandt-Zeichnung
unter dem Röntgenflu-
oreszenzspektrometer*

*A Rembrandt drawing
under the X-ray fluores-
cence spectrometer*

different binders and pigments, such as blue lapis lazuli or silvery pyrite and other dyes. Manuscripts can be made of paper, parchment, papyrus or palm leaves that are written on using iron-gall ink or

carbon ink.” This is a rational view of art or cultural assets, regardless of their artistic quality or significance. Forgeries can always be reliably detected if parts of

the materials used were not available at the alleged time of origin. Oliver Hahn and his colleagues use almost exclusively non-destructive methods for this purpose. They examine the objects using X-ray fluorescence analysis; and the spectra of the emitted light provide information about the substances used. In addition, they use Infrared- or Raman spectroscopy and scanning electron microscopy. BAM’s “art detectives” collaborate with museums, libraries and collections around the world: from the British Museum in London to the Albertina Museum of Art in Vienna and the Bibliothèque Nationale in Paris to the Saint Petersburg Hermitage Museum and the Vatican Museums.

Immersion in a bygone time

Exposing forgeries is only a minor part of their daily work. They prefer a different way of searching for clues: “It is more exciting to use materials research to gain knowledge about the origin of a work,” explains Oliver Hahn. “Infrared reflectography shows that Leonardo da Vinci sometimes used preliminary drawings for his anatomical studies, then ingeniously put them onto a piece of paper, the same as Albrecht Dürer did. Such discoveries give one the feeling of immersing oneself in a distant time and watching the artist at work.”

Another example is the parchment of the famous Dead Sea Scrolls, which preserve biblical texts and sources of Jewish history. The parchment reflects the

mineralogical composition of the Dead Sea water because this water was used in processing the animal skins.

BAM scientists are world leaders in the analysis of black iron-gall ink which was used in Europe and the Middle East to write and draw from late antiquity to the 19th century. The ink is produced by mixing oak galls containing tanning agents with iron salts.

At the University of Hamburg, where Hahn teaches as a professor alongside his work at BAM, the Cluster of Excellence “Understanding Written Artefacts” is building up entire databases of information on the inks used by individual writers and scribes. Under certain circumstances characteristic impurities make it possible to date manuscripts or drawings.

It is known, for example, that Johann Wolfgang von Goethe wrote parts of his Faust II around 1800 and other parts of his main work around 1825. “The text passages cannot be assigned solely based on the typeface,” says Oliver Hahn. “However, we now also have reference data for Goethe’s household at the Weimar Frauenplan. If we compare the ink that Goethe and his scribes used over the decades with such references as dated letters, we can locate many parts of the text more precisely in time.”

Ink erosion and erupting noteheads

However, iron-gall ink also has a destructive effect: it adds acid into manuscripts which eats its way through the paper causing noteheads in Bach scores to break out or destroying entire drawings.

BAM advises restorers in archives and museums on the development of protective processes. How do you deal with manuscripts damaged by ink erosion? How can damaged paper be permanently stabilised? BAM is currently researching how to protect medieval glass paintings against corrosion and browning. For Oliver Hahn, protecting artefacts and cultural assets from decay in this way is an essential driving force behind his detective work. “Artists express themselves in these works. They document the knowledge and aesthetics of their time. It is important to me personally that this knowledge is preserved and can be shared with everyone.” ◀



KONTAKT/CONTACT

Prof. Dr. Oliver Hahn
Oliver.Hahn@bam.de

Kunst- und Kulturgutanalyse
Analysis of Artefacts and Cultural Assets



„DER DEMOGRAFISCHE WANDEL UND DIE DIGITALISIERUNG SIND UNSERE GRÖSSTEN HERAUSFORDERUNGEN“

“DEMOGRAPHIC CHANGE AND DIGITISATION ARE OUR GREATEST CHALLENGES”

Mit wem konkurriert die BAM in Zeiten des demografischen Wandels besonders um qualifiziertes Personal?

Wir stehen in Konkurrenz mit anderen Ressortforschungseinrichtungen, mit den Ministerien von Bund und Land, mit Helmholtz-Zentren und Fraunhofer-Instituten – und natürlich mit der freien Wirtschaft.

Womit kann die BAM da punkten?

Wir bieten flexible Arbeitszeiten und familienfreundliche Teilzeitmodelle, wie sie so in der freien Wirtschaft oft nicht zu realisieren sind. Daneben punkten wir mit hoher Jobsicherheit und einem sehr guten Arbeitsklima. Zudem ermöglichen wir unseren Mitarbeiter*innen, wenn es sich mit den Erforder-

nissen des Arbeitsplatzes vereinbaren lässt, nicht nur Home-Office, sondern erproben gerade in einem Pilotmodell auch das mobile Arbeiten. Theoretisch können Sie also an fast jedem Ort außerhalb der BAM arbeiten – sofern Sie alle datenschutzrechtlichen Vorgaben einhalten und Ihren Aufgaben nachkommen. Zudem bieten wir unseren Wissenschaftler*innen eine hervorragende Ausstattung und die Möglichkeit zur interdisziplinären Zusammenarbeit über die Abteilungen hinweg.

Was sehen Sie als die wichtigste Aufgabe des Personalreferats der BAM?

Wir haben eine der Kernaufgaben der Zukunft, denn unser wichtigstes Gut sind die Menschen, die hier

Boris Gregorius ist seit Januar 2018 Leiter des Personalreferats an der BAM. Zuvor war der studierte Jurist in ähnlicher Funktion an der Technischen Universität Berlin tätig. Ein Gespräch über die Herausforderungen an das Personalmanagement in Zeiten der Veränderung.

Boris Gregorius has been head of Human Resources at BAM since January 2018. Prior to this, the law graduate held a similar position at the Technische Universität Berlin. He talks about the challenges personnel management faces in times of change.

arbeiten. Daher kommt der Personalauswahl und -entwicklung eine so entscheidende Rolle zu. Auch mit Blick auf den Nachwuchs: Die Industrie- und Handelskammer Berlin hat uns wiederholt eine „exzellente Ausbildungsqualität“ bescheinigt. Wir sind zudem sehr engagiert im Bereich Gleichstellung und beim Thema Diversität. Die BAM hat sich das Ziel gesetzt, bis 2021 den Frauenanteil in vielen Führungspositionen zu verdoppeln. Das ist ein erstes wichtiges Etappenziel; perspektivisch wollen wir auf allen Hierarchieebenen die Gleichstellung umsetzen. Um im Recruiting einen unbewussten Gender-Bias, also einen geschlechterbezogenen Verzerrungseffekt, zu vermeiden, werden wir demnächst anonymisierte Auswahlverfahren testen.



*Das Welcome Center erleichtert internationalen Mitarbeiter*innen den Einstieg.*

The Welcome Centre helps international employees settle in.

Wo sehen Sie weitere Zukunftsfelder?

Wir möchten, dass sich auch Kolleg*innen aus dem Ausland hier wohlfühlen. Deshalb haben wir 2019 ein Welcome Center eingerichtet, das internationale Mitarbeiter*innen, die neu bei uns sind, individuell betreut und ihnen den Einstieg und das Ankommen erleichtert. So beraten wir beispielsweise bei Fragen rund ums Visum und zur Ausländerbehörde, helfen bei alltagspraktischen Dingen wie der Kontoeröffnung und geben Tipps zur Wohnungssuche. Der Service wird sehr gut angenommen.

Parallel dazu bieten wir einen Dual Career Service an, wie er in der amerikanischen Hochschulwelt schon lange üblich ist. Wenn wir Wissenschaftler*innen aus dem Ausland gewinnen, versuchen wir, auf Wunsch auch dem*der Lebenspartner*in eine Stelle zu vermitteln. Wir sind im Dual Career Netzwerk Berlin aktiv, um Kontakte zu den Universitäten in Berlin oder einer anderen Ressortforschungseinrichtung herzustellen, und machen auf Stellenausschreibungen aufmerksam. Natürlich muss der*die Lebenspartner*in dann das ganz normale Bewerbungsverfahren durchlaufen.

Welche Entwicklungsangebote gibt es für das bestehende Personal?

Wir bieten unseren Mitarbeiter*innen umfangreiche Fortbildungsmaßnahmen. Mit Beginn dieses Jahres haben wir zusätzlich einen Coachingpool eingerichtet. Externe Coaches können nun Unterstützung geben, wenn z. B. Kolleg*innen in Führungs-

positionen aufsteigen. Dieser Rollenwechsel ist nicht immer einfach.

Wo sehen Sie im Bereich Recruiting die größten Herausforderungen?

Neben dem demografischen Wandel ist das vor allem die Digitalisierung. Unsere gesamte Arbeitswelt ist davon betroffen. Seit Januar haben wir ein Online-Bewerber*innen-Managementsystem eingeführt: Wer Interesse an einer Stellenausschreibung der BAM hat, kann sich innerhalb von wenigen Minuten über eine Maske bei uns bewerben. Das Tool ist auch auf allen mobilen Endgeräten verfügbar.

Insgesamt wird sich der gesellschaftliche Wandel weiter beschleunigen. Wir müssen Schritt halten bei dieser Entwicklung und zugleich unsere Beschäftigten mitnehmen. Ich bin jedoch sicher, dass die BAM auch in Zukunft eine attraktive Arbeitgeberin sein wird. ◀

With whom does BAM compete for qualified personnel during these times of demographic change?

We compete with other departmental research institutions, with the German federal and state ministries, with Helmholtz Centres and Fraunhofer Institutes – and, of course, with the private sector.

What does BAM have to offer?

We offer flexible working hours and family-friendly part-time schedules, which are often not available in the private sector. In addition, we provide a high level of job security and a very good working atmosphere. If it is compatible with the requirements of the workplace, we allow our employees not only to have a home office, but also to test mobile working in a pilot model. In theory, one can work from almost anywhere outside BAM – provided one complies with all data protection regulations and fulfils one's tasks.

What do you consider the most important task of BAM's Human Resources department?

We fulfil one of BAM's core tasks by selecting and developing people because our most important asset is the people who work here. Therefore, personnel selection and development play such a key role. With regard to our vocational training programme, we have been repeatedly awarded a certification for "excellent training quality" by the Berlin Chamber of Industry and Commerce. We are also very much committed to gender equality and diversity. BAM has set itself the goal of doubling the number of females in many management positions by 2021. This is an important milestone in achieving gender equality at all hierarchical levels in the future. We will soon be testing anonymous selection procedures in order to avoid unconscious gender bias in recruiting.

Where do you see further areas of development?

We want colleagues from abroad to feel at home here. This is why we set up a Welcome Centre in 2019. The centre provides individual support to our international employees who are new at BAM and supports them during their first weeks in Germany. For example, we provide advice on visa and immigration issues, help with everyday practical matters such as opening a bank account and we give tips on finding housing. So far, this service has been very well received.

At the same time, we offer a dual career service, as it has long been the case in American academia. If we recruit scientists from abroad, we try to find a job for their spouse or partner if they wish so. We are active in the Berlin Dual Career Network and establish contacts to the universities in Berlin or other departmental research institutions and inform them about job opportunities. Of course, the spouse then has to go through the normal application procedure.

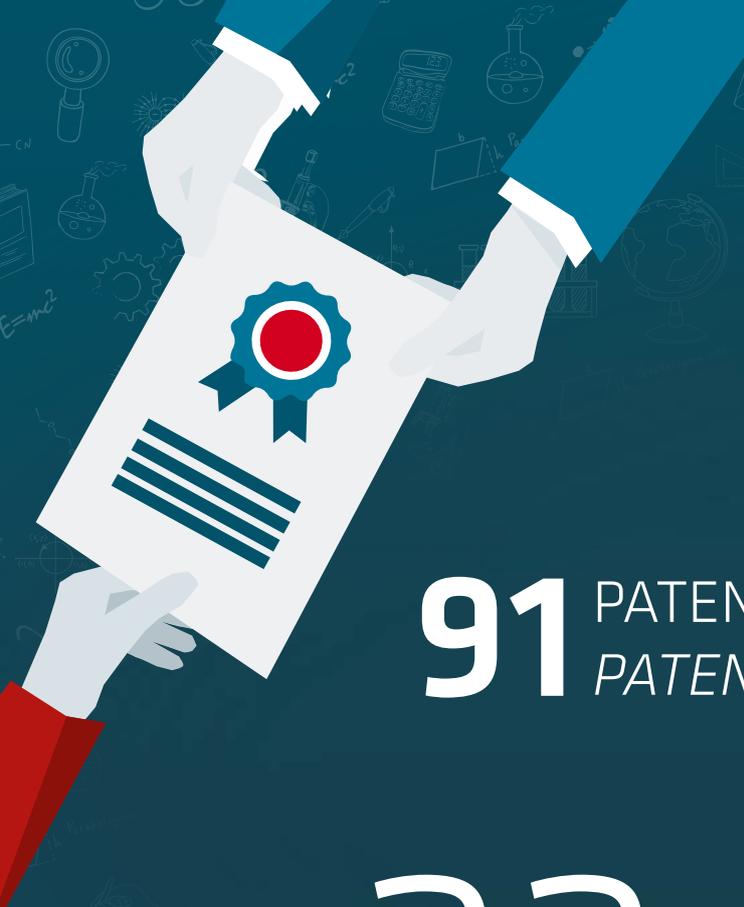
What development opportunities are there for existing staff?

We offer our employees extensive training opportunities. At the beginning of this year we also set up a coaching pool. External coaches can now provide support when, for example, colleagues are promoted to management positions. This change of role is not always easy.

Where do you see the biggest challenges in recruiting?

In addition to demographic change, it is above all digitisation which affects our entire working world. We established an online application management system in January: if someone is interested in a position at BAM, they can use an online form to apply within a few minutes. The tool is also available on all mobile devices.

Overall, societal transition processes will continue to accelerate. We must keep pace with this development and bring our employees on board. But I am sure BAM will continue to be an attractive employer in the future. ◀



61 AUSZUBILDENDE
TRAINEES



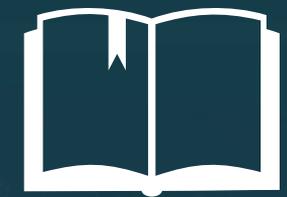
91 PATENTE
PATENTS

67 
LEHRAUFTRÄGE
TEACHING POSITIONS

2265
PUBLIKATIONEN
UND VORTRÄGE
*PUBLICATIONS AND
PRESENTATIONS*

22 
PROFESSUREN UND
JUNIORPROFESSUREN
*PROFESSORSHIPS AND
JUNIOR PROFESSORSHIPS*

PROMOVIERENDE
PH.D. STUDENTS
142 



14 Mio.
UMGESETZTE DRITTMITTEL
THIRD-PARTY FUNDS



1601 
BESCHÄFTIGTE
STAFF

 **144** Mio. GRUNDFINANZIERUNG
BASIC FINANCING

DIE BAM IN ZAHLEN *BAM IN FIGURES*



Stand 31.12.2019

AUFGABEN | STRUKTUR | ANSPRECHPERSONEN

GLEICHSTELLUNGS- BEAUFTRAGTE	INTERNE REVISION	PRÄSIDENT Prof. Dr. U. Panne	Referat PST. PRÄSIDIALE STABSSTELLE	Referat KM. KOMMUNIKATION, MARKETING	VORSITZENDER DES KURATORIUMS
K. Pachaly	K. Simon*	VICEPRÄSIDENT Prof. Dr. A. Gorbushina*	Dr. M. Buurman	Dr. C. Eggert	S. Schnorr Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
		MITGLIED DES PRÄSIDIUMS Dr. C. Eggert			

ABTEILUNG 1 ANALYTISCHE CHEMIE; REFERENZMATERIALIEN

Dr. F. Emmerling*

Fachbereich 1.1
**ANORGANISCHE
SPURENANALYTIK**
Dr. B. Meermann

Fachbereich 1.2
BIOPHOTONIK
Dr. U. Resch-Genger

Fachbereich 1.3
**INSTRUMENTELLE
ANALYTIK**
Dr. F. Emmerling*

Fachbereich 1.4
PROZESSANALYTIK
Dr. M. Maiwald

Fachbereich 1.5
PROTEINANALYTIK
Dr. M. G. Weller

Fachbereich 1.6
**ANORGANISCHE
REFERENZMATERIALIEN**
Dr. S. Recknagel

Fachbereich 1.7
**ORGANISCHE SPUREN- UND
LEBENSMITTELANALYTIK**
Dr. M. Koch

Fachbereich 1.8
UMWELTANALYTIK
Dr. R. Schneider

Fachbereich 1.9
**CHEMISCHE UND OPTISCHE
SENSORIK**
Dr. K. Rurack

ABTEILUNG 2 CHEMISCHE SICHERHEITSTECHNIK

Prof. Dr. Th. Schendler

Fachbereich 2.1
**EXPLOSIONSSCHUTZ
GASE, STÄUBE**
Dr. V. Schröder

Fachbereich 2.2
**REAKTIONSFÄHIGE STOFFE
UND STOFFSYSTEME**
Dr. H. Michael-Schulz*

Fachbereich 2.3
**DRUCKGERÄTE,
AUSRÜSTUNGSTEILE,
GASWARNGERÄTE**
Prof. Dr. Th. Schendler*

Fachbereich 2.4
**KONSTRUKTIVER BRAND-
UND EXPLOSIONSSCHUTZ
GASE**
Dr. K. Holtappels

Fachbereich 2.5
**KONFORMITÄTSBEWER-
TUNG EXPLOSIVSTOFFE/
PYROTECHNIK**
Dr. C. Lohrer

Fachbereich 2.6
**PRÜFUNG UND
BEWERTUNG VON
EXPLOSIVSTOFFEN/
PYROTECHNIK**
Dr. G. Dudek*

ABTEILUNG 3 GEFAHRGUT- UMSCHLISSUNGEN

Dr. Th. Goedecke*

Fachbereich 3.1
GEFAHRGUTVERPACKUNGEN
Dr. Th. Goedecke

Fachbereich 3.2
**GEFAHRGUTTANKS UND
UNFALLMECHANIK**
Prof. Dr. F. Otreмба

Fachbereich 3.3
**SICHERHEIT VON
TRANSPORTBEHÄLTERN**
Dr. F. Wille

Fachbereich 3.4
**SICHERHEIT VON
LAGERBEHÄLTERN**
Dr. H. Völzke

Fachbereich 3.5
**SICHERHEIT VON
GASSPEICHERN**
Dr. Th. Goedecke*

ABTEILUNG 4 MATERIAL UND UMWELT

Prof. Dr. A. Gorbushina

Fachbereich 4.1
**BIOLOGISCHE MATERIAL-
SCHÄDIGUNG UND
REFERENZORGANISMEN**
Dr. H.-J. Kunte

Fachbereich 4.2
**MATERIALIEN UND
LUFTSCHADSTOFFE**
Dr. O. Jann

Fachbereich 4.3
**SCHADSTOFFTRANSFER
UND UMWELT-
TECHNOLOGIEN**
Dr. F.-G. Simon

Fachbereich 4.4
**THERMOCHEMISCHE
RESTSTOFFBEHANDLUNG
UND WERTSTOFFRÜCK-
GEWINNUNG**
Dr. Ch. Adam

Fachbereich 4.5
**KUNST- UND
KULTURGUTANALYSE**
Prof. Dr. O. Hahn

ABTEILUNG 5 WERKSTOFFTECHNIK

Dr. P. D. Portella

Fachbereich 5.1
**MATERIALOGRAPHIE,
FRAKTOGRAPHIE UND
ALTERUNG TECHNISCHER
WERKSTOFFE**
Dr. A. Kranzmann

Fachbereich 5.2
**EXPERIMENTELLE UND
MODELLBASIERTE
WERKSTOFFMECHANIK**
Prof. Dr. B. Skrotzki

Fachbereich 5.3
**MECHANIK DER
POLYMERWERKSTOFFE**
Dr. G. Kalinka*

Fachbereich 5.4
**KERAMISCHE
PROZESSTECHNIK UND
BIOWERKSTOFFE**
Prof. Dr. J. Günster

Fachbereich 5.5
TECHNISCHE KERAMIK
Dr. T. Rabe

Fachbereich 5.6
GLAS
Dr. R. Müller

ABTEILUNG 6 MATERIALCHEMIE

Prof. Dr. H. Sturm*

Fachbereich 6.1
**OBERFLÄCHENANALYTIK
UND
GRENZFLÄCHENCHEMIE**
Dr. V.-D. Hodoroba

Fachbereich 6.2
**GRENZFLÄCHENPROZESSE
UND KORROSION**
Dr. Ö. Özcan Sandikcioglu*

Fachbereich 6.3
STRUKTURANALYTIK
Dr. F. Emmerling

Fachbereich 6.4
MATERIALINFORMATIK
Prof. Dr. H. Sturm*

Fachbereich 6.5
**SYNTHESE UND
STREUVERFAHREN
NANOSTRUKTURIERTER
MATERIALIEN**
Dr. A. Thünemann

Fachbereich 6.6
**PHYSIK UND CHEMISCHE
ANALYTIK DER POLYMERE**
Prof. Dr. H. Sturm

Fachbereich 6.7
**OBERFLÄCHENMODIFIZIE-
RUNG UND -MESSTECHNIK**
Dr. U. Beck

KONTAKT

ARBEITSSCHUTZ
BAM-ZERTIFIZIERUNGSSTELLE
GESCHÄFTSSTELLE DES AKKREDITIERUNGSBEIRATS
PRODUKTINFOSTELLE
BEAUFTRAGTER FÜR KORRUPTIONSPRÄVENTION
DATENSCHUTZBEAUFTRAGTER
GEHEIMSCHUTZBEAUFTRAGTER

N. N.
 Dr. R. Schmidt
 Dr. F. Behrens
 O. Mätzner
 Dr. J. Sunderkötter
 A. Nymtschefsky
 Dr. F. Keidel

IT-SICHERHEITSBEAUFTRAGTE
PERSONALRAT (VORSITZENDER)
SCHWERBEHINDERTENVERTRETUNG
QUALITÄTSMANAGEMENTBEAUFTRAGTER
FORSCHUNGSKOORDINATION
STRAHLENSCHUTZBEVOLLMÄCHTIGTER

R. Rogge
 B. Stoeck
 H. Saul
 S. Hein
 Dr. C. Eggert
 B. Redmer

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM)
 Unter den Eichen 87
 12205 Berlin

Telefon: +49 30 8104-0
 Fax: +49 30 8104-7-2222
 E-Mail: info@bam.de

ABTEILUNG 7 BAUWERKSSICHERHEIT

Dr. A. Rogge

Fachbereich 71
BAUSTOFFE
 Dr. B. Meng

Fachbereich 72
INGENIEURBAU
 Dr. M. Baeßler

Fachbereich 73
BRANDINGENIEURWESEN
 Dr. S. Hothan

Fachbereich 74
BAUSTOFFTECHNOLOGIE
 Dr. H.-C. Kühne

Fachbereich 75
TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN VON POLYMERWERKSTOFFEN
 Dr. B. Schartel

Fachbereich 76
KORROSION UND KORROSIONSSCHUTZ
 Dr. A. Burkert

Fachbereich 77
MODELLIERUNG UND SIMULATION
 Dr. A. Rogge*

ABTEILUNG 8 ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG

Dr. U. Ganesh

Fachbereich 8.1
SENSORIK, MESS- UND PRÜFTECHNISCHE VERFAHREN
 Dr. M. Bartholmai

Fachbereich 8.2
ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFMETHODEN FÜR DAS BAUWESEN
 Dr. E. Niederleithinger

Fachbereich 8.3
RADIOLOGISCHE VERFAHREN
 Dr. A. Waske

Fachbereich 8.4
AKUSTISCHE UND ELEKTROMAGNETISCHE VERFAHREN
 Dr. U. Ganesh*

Fachbereich 8.5
MIKRO-ZFP
 Prof. Dr. G. Bruno

Fachbereich 8.6
FASEROPTISCHE SENSORIK
 Dr. K. Kriebber

Fachbereich 8.7
THERMOGRAFISCHE VERFAHREN
 Dr. M. Ziegler*

ABTEILUNG 9 KOMPONENTEN-SICHERHEIT

Prof. Dr. Th. Böllinghaus

Fachbereich 9.1
BETRIEBSFESTIGKEIT UND BAUTEILSICHERHEIT
 Dr. D. Klingbeil

Fachbereich 9.2
VERSUCHSANLAGEN UND PRÜFTECHNIK
 L. Zimme

Fachbereich 9.3
SCHWEISSTECHNISCHE FERTIGUNGSVERFAHREN
 Prof. Dr. M. Rethmeier

Fachbereich 9.4
INTEGRITÄT VON SCHWEISSVERBINDUNGEN
 Prof. Dr. T. Kannengießer

Fachbereich 9.5
MAKRO-TRIBOLOGIE UND VERSCHLEISSCHUTZ
 Dr. Th. Gradt*

ABTEILUNG 5 QUALITÄTS-INFRASTRUKTUR

Dr. M. Nitsche

Referat 5.1
QUALITÄT IM PRÜFWESEN
 Dr. J. Sunderkötter

Referat 5.2
AKKREDITIERUNG UND KONFORMITÄTS-BEWERTUNG
 Dr. M. Nitsche*

Referat 5.3
eSCIENCE
 Dr. T. Muth

Referat 5.4
ÖKODESIGN UND ENERGIE-VERBRAUCHSKENNZEICHNUNG
 Dr. F. Akkerman

ABTEILUNG Z ZENTRALE DIENSTLEISTUNGEN

H. Morisse

Referat Z.1
ORGANISATION, CONTROLLING
 M. Haas

Referat Z.2
HAUSHALT
 N. Birkholz

Referat Z.3
PERSONAL
 B. Gregorius

Referat Z.4
INFORMATIONSTECHNIK
 Dr. B. Schmitz

Referat Z.5
BESCHAFFUNG, MATERIALWIRTSCHAFT
 V. Bingöl

Referat Z.6
INNERER DIENST
 N. Schnabel

Referat Z.7
BAUTEN
 R. Gravert

Referat Z.8
TECHNIK DER ÖFFENTLICHKEITSARBEIT, FACHINFORMATION
 Th. Meyer

Referat Z.9
SERVICEBEREICH FORSCHUNG
 H. Saxowski

Referat Z.10
AUS- UND FORTBILDUNG, GESUNDHEITSMANAGEMENT
 S. Tschiersich

Referat Z.11
JUSTIZIARIAT
 Ch. Wever

WISSENSCHAFTLICHE BEIRÄTE DER BAM

ENERGIE
 Vorsitzender: Dr. P. Richner

INFRASTRUKTUR
 Vorsitzender: Dr. O. Salvi

UMWELT
 Vorsitzender: Prof. Dr. H. Krug

MATERIAL
 Vorsitzender: Prof. Dr. H.-W. Zoch

ANALYTICAL SCIENCES
 Vorsitzender: Prof. Dr. A. Brückner

* mit der Wahrnehmung der Geschäfte beauftragt

TASKS | STRUCTURE | CONTACTS

EQUAL OPPORTUNITY REPRESENTATIVE K. Pachaly	INTERNAL AUDIT K. Simon*	PRESIDENT Prof. Dr. U. Panne VICE-PRESIDENT Prof. Dr. A. Gorbushina* MEMBER OF THE PRESIDENTIAL BOARD Dr. C. Eggert	Section PST. PRESIDENTIAL STAFF OFFICE Dr. M. Buurman	Section KM. COMMUNICATION, MARKETING Dr. C. Eggert	CHAIRMAN OF THE ADVISORY COUNCIL S. Schnorr Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
---	--	--	---	--	---

DEPARTMENT 1 ANALYTICAL CHEMISTRY; REFERENCE MATERIALS

Dr. F. Emmerling*

Division 1.1
INORGANIC TRACE ANALYSIS
Dr. B. Meermann

Division 1.2
BIOPHOTONICS
Dr. U. Resch-Genger

Division 1.3
INSTRUMENTAL ANALYTICS
Dr. F. Emmerling*

Division 1.4
PROCESS ANALYTICAL TECHNOLOGY
Dr. M. Maiwald

Division 1.5
PROTEIN ANALYSIS
Dr. M. G. Weller

Division 1.6
INORGANIC REFERENCE MATERIALS
Dr. S. Recknagel

Division 1.7
ORGANIC TRACE AND FOOD ANALYSIS
Dr. M. Koch

Division 1.8
ENVIRONMENTAL ANALYSIS
Dr. R. Schneider

Division 1.9
CHEMICAL AND OPTICAL SENSING
Dr. K. Rurack

DEPARTMENT 2 CHEMICAL SAFETY ENGINEERING

Prof. Dr. Th. Schendler

Division 2.1
EXPLOSION PROTECTION GASES AND DUSTS
Dr. V. Schröder

Division 2.2
REACTIVE SUBSTANCES AND SYSTEMS
Dr. H. Michael-Schulz*

Division 2.3
PRESSURE EQUIPMENT, ACCESSORIES, GAS DETECTORS
Prof. Dr. Th. Schendler*

Division 2.4
CONSTRUCTIVE FIRE AND EXPLOSION SAFETY FOR GASES
Dr. K. Holtappels

Division 2.5
CONFORMITY ASSESSMENT EXPLOSIVES AND PYROTECHNICS
Dr. C. Lohrer

Division 2.6
TESTING AND EVALUATION OF EXPLOSIVES AND PYROTECHNICS
Dr. G. Dudek*

DEPARTMENT 3 CONTAINMENT SYSTEMS FOR DANGEROUS GOODS

Dr. Th. Goedecke*

Division 3.1
DANGEROUS GOODS PACKAGINGS
Dr. Th. Goedecke

Division 3.2
TANKS FOR DANGEROUS GOODS AND ACCIDENT MECHANICS
Prof. Dr. F. Otremba

Division 3.3
SAFETY OF TRANSPORT CONTAINERS
Dr. F. Wille

Division 3.4
SAFETY OF STORAGE CONTAINERS
Dr. H. Völzke

Division 3.5
SAFETY OF GAS STORAGE SYSTEMS
Dr. Th. Goedecke*

DEPARTMENT 4 MATERIALS AND THE ENVIRONMENT

Prof. Dr. A. Gorbushina

Division 4.1
BIODETERIORATION AND REFERENCE ORGANISMS
Dr. H.-J. Kunte

Division 4.2
MATERIALS AND AIR POLLUTANTS
Dr. O. Jann

Division 4.3
CONTAMINANT TRANSFER AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES
Dr. F.-G. Simon

Division 4.4
THERMOCHEMICAL RESIDUES TREATMENT AND RESOURCE RECOVERY
Dr. Ch. Adam

Division 4.5
ANALYSIS OF ARTEFACTS AND CULTURAL ASSETS
Prof. Dr. O. Hahn

DEPARTMENT 5 MATERIALS ENGINEERING

Dr. P. D. Portella

Division 5.1
MATERIALOGRAPHY, FRACTOGRAPHY AND AGEING OF ENGINEERED MATERIALS
Dr. A. Kranzmann

Division 5.2
EXPERIMENTAL AND MODEL BASED MECHANICAL BEHAVIOUR OF MATERIALS
Prof. Dr. B. Skrotzki

Division 5.3
MECHANICS OF POLYMERS
Dr. G. Kalinka*

Division 5.4
CERAMIC PROCESSING AND BIOMATERIALS
Prof. Dr. J. Günster

Division 5.5
ADVANCED TECHNICAL CERAMICS
Dr. T. Rabe

Division 5.6
GLASS
Dr. R. Müller

DEPARTMENT 6 MATERIALS CHEMISTRY

Prof. Dr. H. Sturm*

Division 6.1
SURFACE ANALYSIS AND INTERFACIAL CHEMISTRY
Dr. V.-D. Hodoroaba

Division 6.2
INTERFACIAL PROCESSES AND CORROSION
Dr. Ö. Özcan Sandıkcıoglu*

Division 6.3
STRUCTURE ANALYSIS
Dr. F. Emmerling

Division 6.4
MATERIALS INFORMATICS
Prof. Dr. H. Sturm*

Division 6.5
SYNTHESIS AND SCATTERING OF NANOSTRUCTURED MATERIALS
Dr. A. Thünemann

Division 6.6
PHYSICAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF POLYMERS
Prof. Dr. H. Sturm

Division 6.7
SURFACE MODIFICATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY
Dr. U. Beck

CONTACT

**OCCUPATIONAL SAFETY
BAM CERTIFICATION BODY
OFFICE OF THE ACCREDITATION ADVISORY BOARD
PRODUCT CONTACT POINT
PREVENTION OF CORRUPTION REPRESENTATIVE
DATA PROTECTION OFFICER
CONFIDENTIALITY PROTECTION REPRESENTATIVE**

N. N.
Dr. R. Schmidt
Dr. F. Behrens
O. Mätzner
Dr. J. Sunderkötter
A. Nymtschefsky
Dr. F. Keidel

**IT SECURITY REPRESENTATIVE
STAFF COUNCIL (CHAIRMAN)
REPRESENTATIVE FOR DISABLED EMPLOYEES
QUALITY MANAGEMENT REPRESENTATIVE
RESEARCH COORDINATION
RADIATION PROTECTION**

R. Rogge
B. Stoeck
H. Saul
S. Hein
Dr. C. Eggert
B. Redmer

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM)

Headquarters Lichterfelde
Unter den Eichen 87
12205 Berlin, Germany

Phone: +49 30 8104-0
Fax: +49 30 8104-7-2222
E-Mail: info@bam.de

DEPARTMENT 7 SAFETY OF STRUCTURES

Dr. A. Rogge

Division 7.1
BUILDING MATERIALS
Dr. B. Meng

Division 7.2
**BUILDINGS AND
STRUCTURES**
Dr. M. Baeßler

Division 7.3
FIRE ENGINEERING
Dr. S. Hothan

Division 7.4
**TECHNOLOGY OF
CONSTRUCTION MATERIALS**
Dr. H.-C. Kühne

Division 7.5
**TECHNICAL PROPERTIES
OF POLYMERIC MATERIALS**
Dr. B. Schartel

Division 7.6
**CORROSION AND
CORROSION PROTECTION**
Dr. A. Burkert

Division 7.7
**MODELING AND
SIMULATION**
Dr. A. Rogge*

DEPARTMENT 8 NON-DESTRUCTIVE TESTING

Dr. U. Ganesh

Division 8.1
**SENSORS, MEASUREMENT
AND TESTING METHODS**
Dr. M. Bartholmai

Division 8.2
**NON-DESTRUCTIVE
TESTING METHODS FOR
CIVIL ENGINEERING**
Dr. E. Niederleithinger

Division 8.3
RADIOLOGICAL METHODS
Dr. A. Waske

Division 8.4
**ACOUSTIC AND
ELECTROMAGNETIC
METHODS**
Dr. U. Ganesh*

Division 8.5
**MICRO NON-DESTRUCTIVE
TESTING**
Prof. Dr. G. Bruno

Division 8.6
FIBRE OPTIC SENSORS
Dr. K. Krebber

Division 8.7
**THERMOGRAPHIC
METHODS**
Dr. M. Ziegler*

DEPARTMENT 9 COMPONENT SAFETY

Prof. Dr. Th. Böllinghaus

Division 9.1
**SERVICE LOADING FATIGUE
AND STRUCTURAL
INTEGRITY**
Dr. D. Klingbeil

Division 9.2
**TESTING DEVICES AND
EQUIPMENT**
L. Zimne

Division 9.3
WELDING TECHNOLOGY
Prof. Dr. M. Rethmeier

Division 9.4
WELD MECHANICS
Prof. Dr. T. Kannengießer

Division 9.5
**MACROTRIBOLOGY AND
WEAR PROTECTION**
Dr. Th. Gradt*

DEPARTMENT 5 QUALITY INFRASTRUCTURE

Dr. M. Nitsche

Section 5.1
QUALITY IN TESTING
Dr. J. Sunderkötter

Section 5.2
**ACCREDITATION AND
CONFORMITY ASSESSMENT**
Dr. M. Nitsche*

Section 5.3
eSCIENCE
Dr. T. Muth

Section 5.4
**ECODESIGN AND ENERGY
LABELLING**
Dr. F. Akkerman

DEPARTMENT Z CENTRAL SERVICES

H. Morisse

Section Z.1
**ORGANISATION,
CONTROLLING**
M. Haas

Section Z.2
BUDGET
N. Birkholz

Section Z.3
HUMAN RESOURCES
B. Gregorius

Section Z.4
INFORMATION TECHNOLOGY
Dr. B. Schmitz

Section Z.5
PROCUREMENT
V. Bingöl

Section Z.6
INTERNAL SERVICES
N. Schnabel

Section Z.7
BUILDINGS
R. Gravert

Section Z.8
**PUBLIC RELATIONS
TECHNOLOGY,
INFORMATION SERVICES**
Th. Meyer

Section Z.9
RESEARCH SERVICES
H. Saxowski

Section Z.10
**EDUCATION AND TRAINING,
GENDER EQUALITY,
HEALTH MANAGEMENT**
S. Tschiersich

Section Z.11
LEGAL SERVICES OFFICE
Ch. Wever

SCIENTIFIC ADVISORY BOARDS

ENERGY
Chairman: Dr. P. Richner

INFRASTRUCTURE
Chairman: Dr. O. Salvi

ENVIRONMENT
Chairman: Prof. Dr. H. Krug

MATERIALS
Chairman: Prof. Dr. H.-W. Zoch

ANALYTICAL SCIENCES
Chairman: Prof. Dr. A. Brückner

* temporarily in charge

DIE MITGLIEDER DES KURATORIUMS DER BAM
MEMBERS OF THE BAM ADVISORY COUNCIL

Stefan Schnorr (Vorsitzender)

Leiter der Abteilung Digital- und Innovationspolitik,
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin

Prof. Dr. sc. nat. ETH Gian-Luca Bona

Direktor der EMPA, EMPA Materials Science & Technology,
Dübendorf, Schweiz

Prof. Dr.-Ing. Laura De Lorenzis

Leiterin des Instituts für Angewandte Mechanik,
Technische Universität Braunschweig

Dr.-Ing. Matthias Fankhänel

Ehemals Senior Vice President, BASF SE, Ludwigshafen

Prof. Dr. Claudia Felser

Direktorin der Abteilung Festkörperchemie, Geschäftsführende Direktorin
des Max-Planck-Instituts für chemische Physik fester Stoffe, Dresden

Prof. Dr. rer. nat. Detlef Günther

Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen der
ETH Zürich, Schweiz

Prof. Dr. Dr. Rafaela Hillerbrand

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
(ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr. h. c. Reinhard F. Hüttl

Wissenschaftlicher Vorstand des GeoForschungsZentrums Potsdam

Dr.-Ing. Jutta Klöwer

Ehemals Senior Vice President, Research &
Development, VDM Metals GmbH, Altena

Professorin Dr.-Ing. habil. Carolin Körner

Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Technologie der Metalle,
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Alexandra Knauer

Geschäftsführerin, KNAUER Wissenschaftliche Geräte GmbH, Berlin

Dr.-Ing. Sebastian Muschelknautz

CEO and Managing Director, TakeOFF Engineering GmbH, München

Prof. Dr.-Ing. Heinz Neubert

Head of Technology Field Materials Design &
Manufacturing Technologies, Siemens AG, Berlin und München

Dr. Gabriele Pestlin

Head of Strategic Planning and Deployment RDG,
Roche Diagnostics GmbH, Penzberg

Dr. Klaus-Jürgen Richter

Vertriebsvorstand, Saarstahl AG, Völklingen

Prof. Dr. rer. nat. habil. Brigitte Voit

Wissenschaftliche Direktorin und Vorstand, Teilinstitutsleiterin
Makromolekulare Chemie, Leibniz-Institut für Polymerforschung
Dresden e.V.

Dr. Silke Wagener

Head of Technology Innovation Communication,
Freudenberg Technology Innovation SE & Co. KG, Weinheim

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

Vorstand Technologiemarketing und Geschäftsmodelle,
Fraunhofer-Gesellschaft, München

Christoph Winterhalter

Vorsitzender des Vorstandes des DIN,
Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Prof. Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch

Leiter der Hauptabteilung Werkstofftechnik, Geschäftsführender
Direktor des Leibniz-Instituts für Werkstofforientierte
Technologien - IWT, Bremen

Stand: Januar 2020

Impressum/Editorial Information
BAM REPORT 2019

Herausgeber/Publisher:
Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)
Präsident Prof. Dr. Ulrich Panne
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin
Postanschrift: 12200 Berlin
Telefon: +49 30 8104-0
Telefax: +49 30 8112029
E-Mail: presse@bam.de
Internet: www.bam.de

Redaktion/Editing:
Venio Quinque (Leitung), Dr. Ralf Berhorst, Janina Buchholz,
Karina Fast (Layout), Belgin Kasischke, Dora Kolar-Bosnjak
(Fotografie) u. Julia Pöpke (Fotografie)

Externe Autoren/External Authors:
scienceRELATIONS – Wissenschaftskommunikation

Die BAM ist eine wissenschaftlich-technische
Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des
Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

BAM is a senior scientific and technical
federal institute with responsibility to the Federal
Ministry for Economic Affairs and Energy.



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

Übersetzung/English Translation:
Nigel Pye, NP Services

Lektorat/Proofreading:
Dr. Antje Kronenberg, Lektorat Kronenberg

Bildnachweis/Images:
S. 10f. Miguel Navarro/ DigitalVision via Getty Images, S. 13 Ram-
berg/ E+ via Getty Images, S. 46 Ictor/ E+ via Getty Images, S. 52f.
Pavel Balanenko/ E+ via Getty Images, S. 60f. WISTA Management
GmbH, S. 68f. Bim/ E+ via Getty Images. Alle anderen Fotos: BAM.

Druck und Verarbeitung/Print:
DBM Druckhaus Berlin-Mitte GmbH

Dieses Druckprodukt wurde in einer Druckerei hergestellt,
die mit dem Blauen Engel für Druckerzeugnisse (RAL UZ-195)
ausgezeichnet wurde.

Die Fotos auf dem Cover und den Seiten 4f., 8f., 24f., 42f., 58f. und
76f. zeigen 3D-Videoprojektionen an historischen Schauplätzen in Berlin,
realisiert von Kulturprojekte Berlin GmbH und URBANSCREEN anlässlich
des 30. Jahrestages des Mauerfalls.

The photos on the cover and on pages 4f., 8f., 24f., 42f., 58f. and 76f.
show 3D video projections of historical locations in Berlin produced by
Kulturprojekte Berlin GmbH and URBANSCREEN on the occasion of
the 30th anniversary of the fall of the Berlin Wall.

ISSN 0934-9456

