

150

Wissenschaft mit
Wirkung

JAHRE BAM



Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

BAM Report
2020/21

150 Jahre
Wissenschaft mit Wirkung
150 Years
Science with impact

BAM Report
2020/21

Liebe Leserin, lieber Leser, Dear Readers,

die Explosion war bis an den Stadtrand von Berlin zu hören, als am 25. Mai 1894 auf dem Tempelhofer Feld etwa 70 mit Wasserstoff gefüllte Gasflaschen der »königlich-preußischen Luftschiffer-Kompagnie« detonierten. Auch wenn zum Glück niemand verletzt wurde: Die Explosion führte schlagartig vor Augen, welche Gefahren eine neue Technologie mit sich bringen kann.

Um weitere Unfälle wie diesen zu vermeiden, beauftragte die Regierung Adolf Martens, den Leiter der »Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt«, mit einem Gutachten.

1871 – vor 150 Jahren – hatte die Einrichtung in Berlin ihre Arbeit aufgenommen. Anfangs war sie nicht mehr als ein bescheidenes Laboratorium zur Prüfung der »Festigkeit von Eisen und Stahl«. Rasch entwickelte sie sich jedoch zu einer unverzichtbaren Begleiterin des Fortschritts.

Heute, anderthalb Jahrhunderte später, bestimmen nicht mehr nur Schadensanalysen, sondern Megatrends wie die Globalisierung, die Digitalisierung oder Nachhaltigkeit viele der Forschungsprojekte und hoheitlichen Aufgaben, mit denen sich die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) beschäftigt, die aus der »Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt« hervorging und 1954 gegründet wurde. Um den globalen, wirtschaftlichen und technischen Herausforderungen unserer Zeit zu begegnen, forscht, prüft, bewertet und berät die BAM heute unter anderem zu nachhaltigen Baustoffen, zur Sicherheit von Lithiumbatterien oder zur effizienten Nutzung

the explosion could be heard as far as the outskirts of Berlin when about 70 gas cylinders filled with hydrogen belonging to the 'Royal Prussian Airship Company' detonated on the Tempelhof Field on 25 May 1894. Even though fortunately nobody was injured, the explosion made it very clear what dangers can accompany any new technology.

In order to prevent further accidents like this, the government commissioned Adolf Martens, head of the 'Mechanical and Technical Research Institute' to prepare an expert report.

The institute started its work in Berlin in 1871 – 150 years ago. At first it was no more than a modest laboratory that tested the 'strength of iron and steel'. However, it quickly developed into an indispensable companion of progress.

Today, one and a half centuries later, the Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) that arose from the 'Mechanical and Technical Research Institute' and was founded in 1954, deals with research projects and statutory tasks many of which are not only characterised by damage analysis but also by megatrends such as globalisation, digitalisation or sustainability. In order to meet the global, economic and technical challenges of our times, BAM performs research, tests and evaluations and among other things, provides advice on sustainable building materials, lithium battery safety or the efficient use of renewable energy. It is no coincidence that we are again devoting ourselves rigorously to the safe use of



erneuerbarer Energien. Und nicht zufällig widmen wir uns wieder intensiv der sicheren Verwendung von Wasserstoff – dem Schlüsselement für eine emissionsfreie Zukunft.

All dies geht heute nur national und international vernetzt, mit Partner*innen in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung, denn unsere Aufgaben überschreiten oft Ländergrenzen und fast immer Fachdisziplinen. Und sie bedürfen der Verständigung mit der Gesellschaft und der Politik über Ziele und Standards.

Lassen Sie uns daher gemeinsam an den globalen Herausforderungen für die Sicherheit in unserer Zeit arbeiten. Lassen Sie uns Potenziale, die in Zukunftstechnologien stecken, gemeinsam heben. Und lassen Sie uns 150 Jahre BAM, also 150 Jahre Wissenschaft mit Wirkung, feiern. Mehr dazu erfahren Sie hier im BAM Report 2020/21 und auf unserer Jubiläums-Website www.150.BAM.de.

Ihr/Yours
Prof. Dr. Ulrich Panne

Präsident/President
Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)

hydrogen – the key element for an emission-free future. Today, all this can only be achieved through national and international networking with partners in science, industry and government because our tasks often transgress national borders and the specialist disciplines, and goals and standards habitually require agreement with society and politicians.

Let us therefore work together on the global challenges for safety in our time. Together we can leverage the potential that future technologies offer. Let us celebrate 150 years of BAM, or 150 years of science with impact. More information can be found in the 2020/21 BAM Report and on our anniversary website at www.150.BAM.de.

gestern yesterday

- 8 Die BAM im Spiegel der Zeit
BAM in the mirror of time

heute today

- 24 Sicherheit macht Märkte
Safety creates markets

Energie

Energy

- 26 Mit Wasserstoff sicher in die Zukunft
Hydrogen: Moving into the future safely
- 34 Lithium-Ionen-Akkus umfassend
untersucht
Extensive tests of lithium-ion batteries

Infrastruktur

Infrastructure

- 42 Neues Netzwerk für bessere
Sicherheitstechnik
New network for better
safety technology
- 50 Digitale Zwillinge machen Brücken
sicherer
Digital twins increase safety of bridges

Umwelt

Environment

- 58 Wie gelangt Mikroplastik in die Umwelt?
How does microplastic enter the
environment?

morgen tomorrow

- 66 Dem Geheimnis der schwarzen Pilze
auf der Spur
On the trail of the secret of black fungi

Material

Materials

- 74 Alles im Blick: Sensoren überwachen
3D-Druck
Everything under control: sensors
monitor 3D printing
- 82 Nanopartikel: die Vermessung
des Unsichtbaren
Nanoparticles: measuring the invisible

Analytical Sciences

Analytical Sciences

- 90 Technologietransfer: ein mobiler Sensor
für Sprengstoffe
Technology transfer: a mobile sensor
for explosives
- 98 Smart und sicher: modulare Systeme
für die Produktion von morgen
Smart and safe: modular systems
for the production of tomorrow

- 109 Was bringt die Zukunft?
What will the future hold?

- 122 Die BAM auf einen Blick
BAM at a glance

- 122 Die Mitglieder des Kuratoriums der BAM
Members of the BAM Advisory Council

- 126 Impressum
Editorial Information





gestern
yesterday



FRIEDRICH WILHELM III
DEM GEWERBFLEISSE

Die BAM im Spiegel der Zeit

BAM in the mirror of time

Angefangen hat alles in einem Keller der Berliner Gewerbeakademie (links) mit einer kleinen Versuchsstation. Seither sind das Materialprüfungsamt und die spätere BAM beständig gewachsen, haben sich mit dem technologischen Wandel immer neuen Aufgaben gestellt. Gleich geblieben über alle Epochen ist der Auftrag: Die BAM begleitet den Fortschritt und sorgt für Sicherheit in Technik und Chemie.

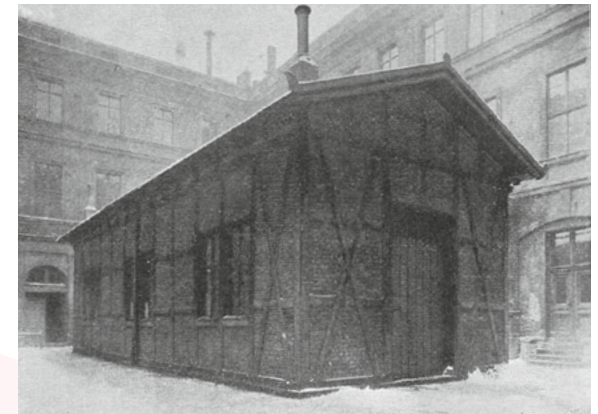
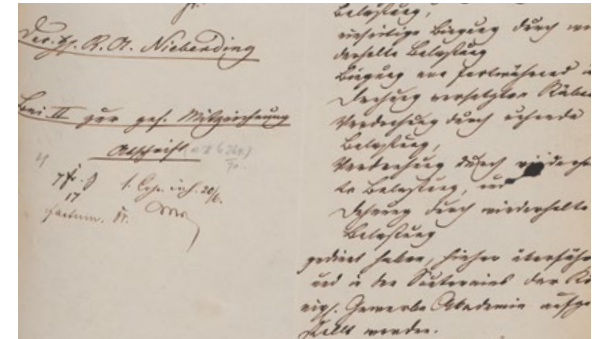
It all started in a cellar of the Berlin Trade Academy (left) with a small test station. Since then, the Materials Testing Office, later renamed BAM, has grown steadily and has always taken on new responsibilities as technology has changed. The mission has remained the same through all epochs: BAM supports progress and ensures safety in technology and chemistry.



Historisches Archiv Krupp, Essen

Start im Hinterhof: Mit diesem Erlass ordnet das preußische Ministerium für Gewerbe und Handel »Festigkeitsversuche« für Eisen und Stahl an. 1871 beginnen die Untersuchungen erst im Keller, dann in einem Schuppen der Berliner Gewerbeakademie.

Backyard start: With this decree, the Prussian Ministry of Trade and Industry ordered 'strength tests' for iron and steel. The tests first started in a cellar, then in a shed of the Berlin Trade Academy in 1871.



Aufbruch: Mitte des 19. Jahrhunderts erfasst die industrielle Revolution Deutschland.

Start: Industrial Revolution gripped Germany in the middle of the 19th century.



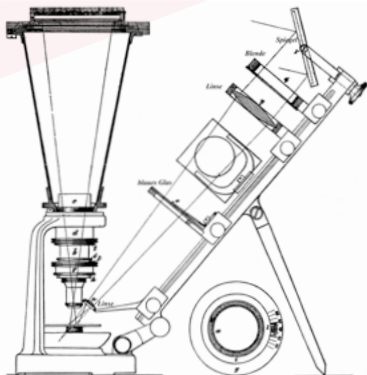
Neuartige Konstruktionen aus Gusseisen und Stahl wie dieses Eisenbahn-Viadukt (1868) in Berlin sind nun möglich. Doch immer wieder stürzen Brücken ein, brechen Radachsen, entgleisen Züge.

New types of structures made of cast iron and steel such as this railway viaduct (1868) in Berlin became feasible. But time and again bridges collapsed, wheel axles broke and trains derailed.



Pionier der Materialforschung: Adolf Martens, seit 1884 Leiter der »Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt«, studiert mit einem Metall-Mikroskop die Bruchflächen von Gusseisen.

Materials research pioneer: Adolf Martens, head of the 'Mechanical and Technical Research Institute' since 1884, studied the fracture surfaces of cast iron using a metal microscope.



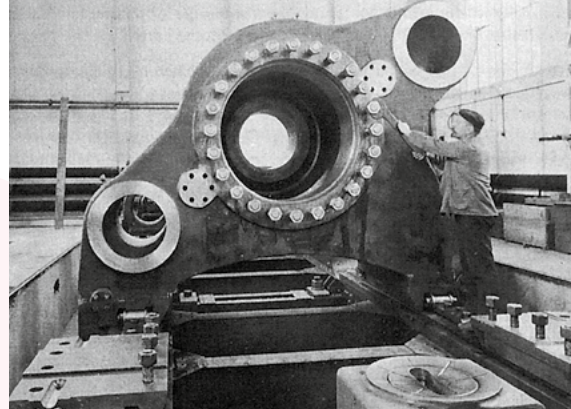
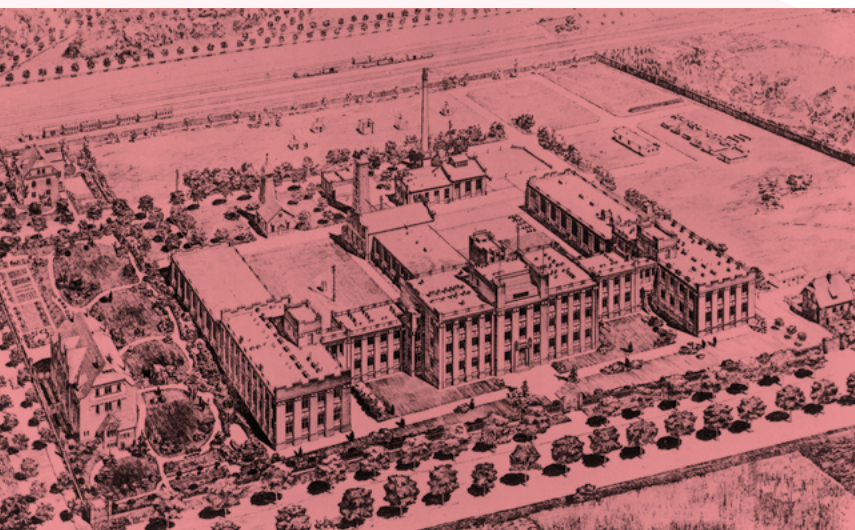
Mit Akribie hält er seine Beobachtungen in Zeichnungen fest. Er konstruiert neue Prüfmaschinen, vereinheitlicht Verfahren und vernetzt das Amt international. Mit seinem »Handbuch der Materialkunde« (1899) begründet er zusammen mit Emil Heyn die Werkstoffprüfung in Deutschland.

He recorded his observations in meticulous drawings. He constructed new test machines, standardised procedures and networked the institute internationally. With his 'Handbuch der Materialkunde' (Manual of materials science, 1899), he and Emil Heyn established materials testing in Germany.

Innovation Wasserstoff: Als 1894 auf dem Tempelhofer Feld 70 mit Wasserstoff gefüllte Gasflaschen der preußischen Luftschiffer-Kompagnie explodieren, untersucht Martens im Auftrag der Regierung die gebrostenen Behälter.

Innovation hydrogen: After 70 gas cylinders filled with hydrogen belonging to the 'Royal Prussian Airship Company' exploded on the Tempelhof Field in 1894, the government commissioned Martens to investigate the burst containers.





Ein Arbeiter montiert eine hydraulische Prüfmaschine für Druckversuche bis 3.000 Tonnen.

A worker assembles a hydraulic testing machine for pressure tests up to 3,000 tons.

Wachstum: 1904 wird die »Versuchsanstalt« zum königlichen »Materialprüfungsamt« (MPA) erweitert und erhält ein modernes Gebäude in Berlin-Dahlem – noch heute der Hauptsitz der BAM.

Growth: The 'Research Institute' was expanded into the 'Royal Materials Testing Office' (MPA) in 1904 and received a modern building in Berlin-Dahlem – still BAM's headquarters today.





Das MPA besitzt Abteilungen für Metalle, Papier, Öle, Baumaterialien sowie ein chemisches Laboratorium. Auf dem weiten Gelände sind auch Tests zum Brandschutz möglich. The MPA had departments for metals, paper, oils, building materials and a chemical laboratory. The large premises also allow for tests on fire protection.

Made in Germany: Immer mehr Fabrikanten wenden sich an das MPA und werben mit den Prüfergebnissen für ihre Produkte. Das MPA berät Ministerien, vermittelt in Zollstreitigkeiten und verbessert die Exportchancen deutscher Waren.

Made in Germany: More and more manufacturers were turning to the MPA and using the test results to advertise their products. The MPA advised ministries, mediated in customs disputes and improved the export chances of German goods.



Unsichtbares sichtbar gemacht: Ab den 1930er-Jahren durchleuchtet das MPA Schweißnähte von S-Bahn- und Autobahnbrücken mit Röntgenstrahlen.

Visualising the invisible: From the 1930s onwards, the MPA used X-rays to investigate weld seams of S-Bahn and motorway bridges.



Das MPA in der NS-Zeit: Das Amt übernimmt zwischen 1933 und 1945 zahlreiche Aufträge für Heer, Marine und Luftwaffe, unterstützt die Aufrüstung und Kriegsführung des Regimes. Ein Geschichtsprojekt erforscht seit 2020 die Verstrickung in die Diktatur.

MPA during the Nazi era: The MPA took on numerous commissions for the army, navy and air force, supporting the regime's armament and warfare between 1933–1945. A history project has been looking into BAM's involvement in the dictatorship since the start of 2020.

Neuanfang im Wirtschaftswunder: Das MPA, im August 1945 mit der ehemaligen Chemisch-Technischen Reichsanstalt vereinigt, wird 1954 zur Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) und ist seitdem eine Ressortforschungseinrichtung des Bundeswirtschaftsministeriums. Links: Ludwig Erhard zu Besuch. 1957 ist Bundespräsident Theodor Heuss zu Gast an der BAM (links unten).



New beginning during the economic miracle: MPA merged with the former State Chemical Technical Institute in August 1945 and became the Federal Institute for Materials Testing (BAM) in 1954. It has been a departmental research institute of the Federal Ministry of Economics ever since. Left: Ludwig Erhard pays a visit. Federal President Theodor Heuss as a guest at BAM in 1957 (bottom left).



Auftrag Wirtschaftsförderung: Die BAM prüft für deutsche Unternehmen, berät Bundesministerien und wirkt in nationalen und internationalen Organisationen bei Normung und Sicherheitsstandards mit. Sie ist auf Industriemessen, wie hier 1968 in Berlin, vertreten.

Mission 'supporting the industry': BAM undertook audits for German companies, advised Federal Ministries and participates in national and international organisations on standards and safety standards. It was present at industrial trade fairs, as seen here in Berlin in 1968.



Erweitertes Aufgabenspektrum: Seit 1969 ist die BAM für die Zulassung explosionsgefährlicher Stoffe und Sprengzubehör im gesamten Bundesgebiet zuständig. Ab den 1970er-Jahren ist sie auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit tätig; prüft und begutachtet später Transport- und Lagerbehälter für radioaktive Stoffe.

Expanded scope of tasks: Since 1969 BAM has been responsible for approving explosive substances and blasting accessories throughout Germany. BAM has been active in the field of reactor safety since the 1970s and later tested and prepared expert reports on transport and storage containers for radioactive materials.



Gewässerprobe: In den 1970er-Jahren werden an der BAM Untersuchungen zum Umweltschutz immer wichtiger.

Watersample: Since the 1970's BAM's investigations on environmental protection have become increasingly important.

Meilenstein der Schadensanalyse: Als 1980 das Vordach der Berliner Kongresshalle einstürzt, untersucht die BAM die Unglücksursache. Unter anderem waren Stahlbewehrungen unter Spannung korrodiert. Die Erkenntnisse der BAM führen dazu, dass weltweit zahlreiche ähnlich konstruierte Gebäude überprüft werden.

Milestone in damage analysis: After the collapse of the Berlin Congress Hall's canopy in 1980, BAM investigated the accident's cause. Steel reinforcements under tension were corroded among other things. BAM's findings have led to the inspection of numerous buildings constructed in this way worldwide.



Labor unter freiem Himmel: Seit den 1990er-Jahren nutzt die BAM ein großes Areal in Brandenburg. Auf dem Testgelände Technische Sicherheit gibt es Prüfstände u. a. für Gase, Pyrotechnik, Sprengstoffe und explosionsfähige Stoffe, eine Fallversuchsanlage sowie ein Drohnentestgelände.

Open-air laboratory: Since the 1990s BAM has used a large area in Brandenburg. The Test Site for Technical Safety includes test benches for gases, pyrotechnics, explosives and explosive substances, a drop test facility and a drone test site.



Kunst unter freiem Himmel: Als Expertin für Materialsicherheit erhält die BAM 1995 einen besonderen Auftrag. Sie testet das Material, mit dem das Künstlerpaar Christo und Jeanne-Claude den Berliner Reichstag verhüllt.

Art in the open air: As an expert for materials safety, BAM received a special commission to test the material used by the artist couple Christo and Jeanne-Claude to wrap the Berlin Reichstag in 1995.





Neue Energie: Seit der Jahrtausendwende forscht die BAM zu den Gründungspfählen, Tragstrukturen und Rotorblättern von Offshore-Windkraftanlagen und sorgt so dafür, dass die Nutzung erneuerbarer Energie sicher ist.

New energy: BAM has been researching the foundation piles, support structures and rotor blades of offshore wind turbines since the turn of the millennium, thus ensuring safety for the use of renewable energy.



Zukunftsort Adlershof: 2015 erhält die BAM an dem Wissenschaftsstandort im Südosten Berlins einen Neubau und bündelt dort vor allem ihre Forschungen im Bereich Chemie und Referenzmaterialien. In dem metallfreien Reinraum, bei seiner Einweihung der größte seiner Art in Europa, können die Wissenschaftler*innen Billionstel Gramm einer Substanz aufspüren und analysieren.

Adlershof – location of the future: In 2015 BAM received a new building at the science park in the south-east of Berlin and concentrated its research in chemistry and reference materials. At the inauguration of a metal-free clean room, the largest of its kind in Europe, scientists were able to detect and analyse trillionths of a gram of a substance.





Schwerelos: 2017 testet die BAM den 3D-Druck während eines Parabelflugs – künftige Welt- raummissionen sollen sich so Werkzeuge und Ersatzteile selbst ausdrucken können.

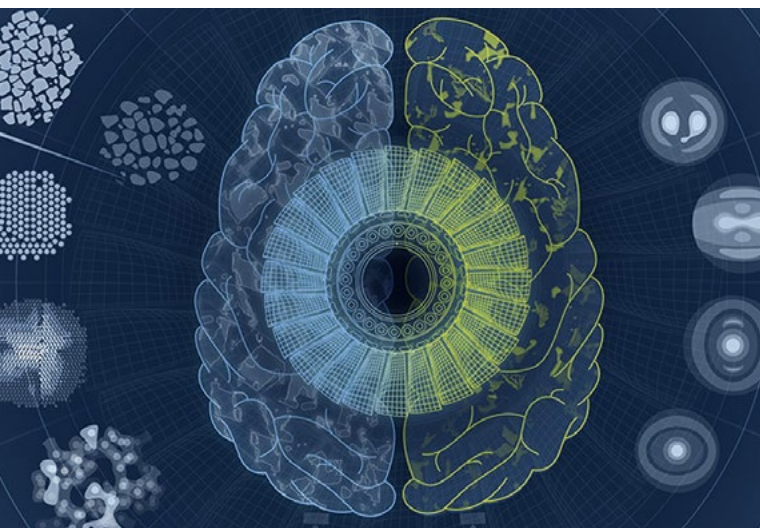
Weightlessness: BAM tested 3D printing during a parabolic flight in 2017 – future space mis- sions themselves will be able to print tools and spare parts.



Beschleunigungsmanöver: 2018 startet das Pro- gramm BAMStartup Slingshot, mit dem die BAM die Ausgründung von Start-ups aktiv un- terstützt. Gefördert wurden z. B. Unternehmen zum Druck von 3D-Keramiken, zur Bauwerks- überwachung mit Sensorik oder zur Reinigung von Peptiden in der Pharmabranche.

Acceleration manoeuvre: The BAMStartup Sling- shot programme was launched in 2018, where BAM actively supports the spin-off of start-ups. For instance, funding has been provided to companies for printing 3D ceramics, for moni- toring buildings using sensor technology or for cleaning peptides in the pharmaceutical indus- try.





Digitalisierung: 2019 zählt die BAM zu den Gründungsmitgliedern des Verbundprojektes MaterialDigital, das eine virtuelle Plattform für Werkstoffdaten etabliert.

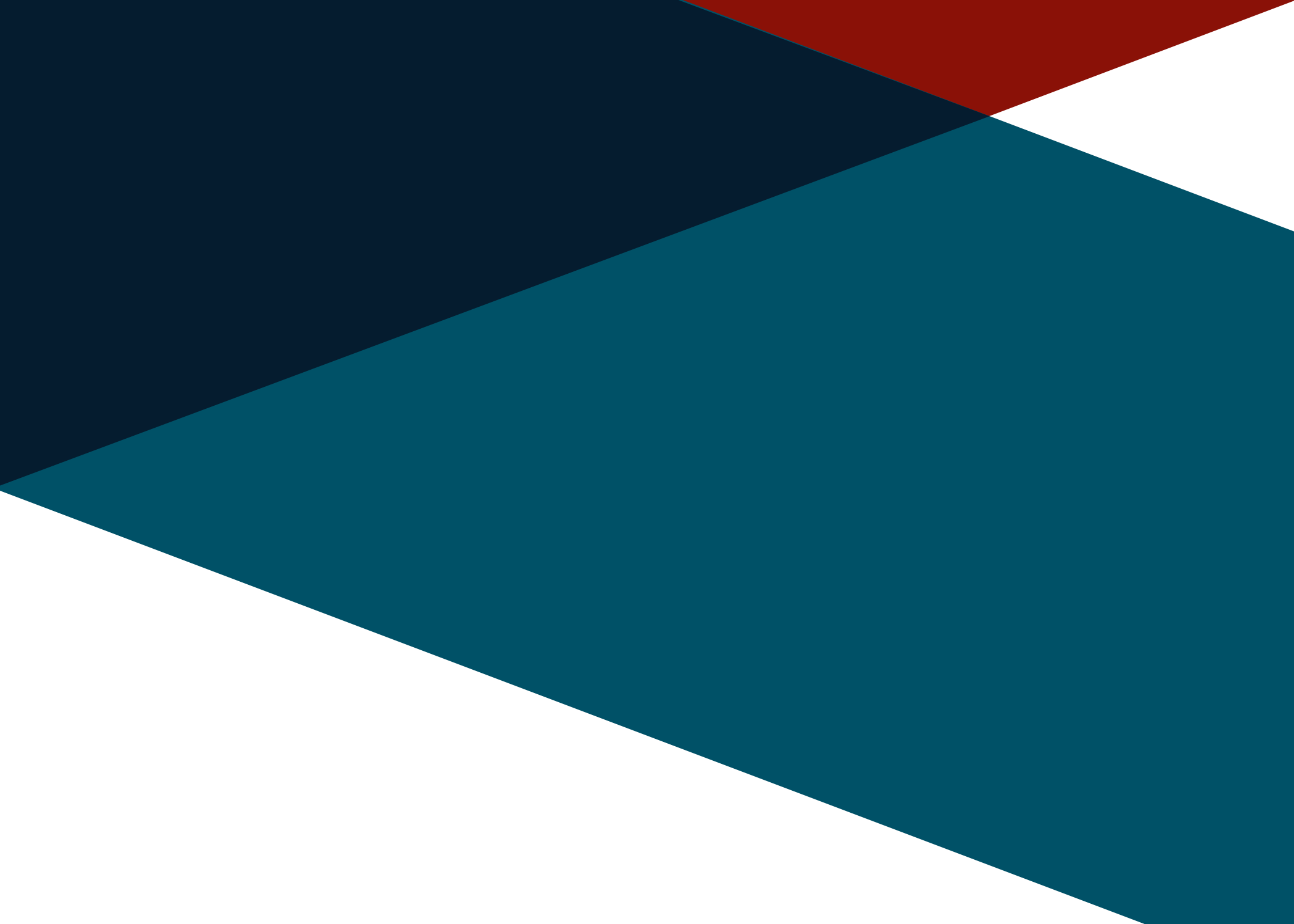
Digitalisation: In 2019, BAM was one of the founding members of the integrated project MaterialDigital establishing a virtual platform for materials data.



Energiewende: 2020 gründet die BAM das Kompetenzzentrum H2Safety@BAM und unterstützt damit die Wasserstoffstrategien der Bundesregierung und der EU. Unten: Ein Wasserstoffspeicher im Test.

Energy turnaround: In 2020 BAM founded the competence centre H2Safety@BAM and now supports the hydrogen strategies of the German Federal Government and the EU. Below: Testing a hydrogen storage.





heute
today





Sicherheit macht Märkte

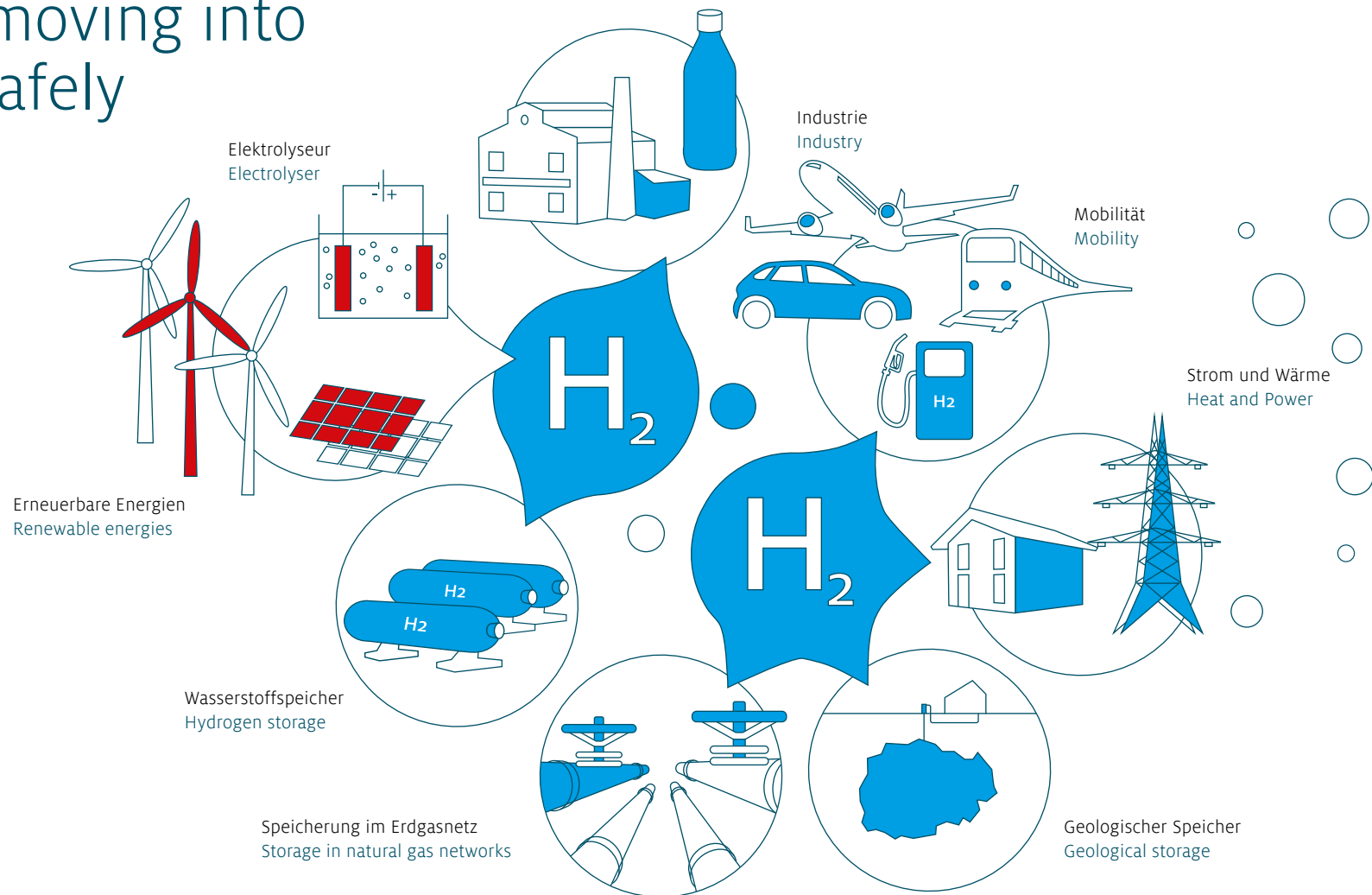
Safety creates markets

Die BAM integriert Forschung, Bewertung und Beratung für die Sicherheit in Technik und Chemie unter einem Dach. Im Rahmen unserer gesetzlichen und gesellschaftspolitischen Aufgaben identifizieren wir Anforderungen an die Sicherheit in Technik und Chemie für die Gesellschaft von morgen. Der Fokus unserer Arbeit liegt auf den fünf abteilungsübergreifenden Themenfeldern Energie, Infrastruktur, Umwelt, Material und Analytical Sciences.

The Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) integrates research, assessment and consultation in technology and chemistry under one umbrella. Within the context of our legal and socio-political responsibilities, we identify needs that will shape safety requirements in technology and chemistry in the future. Our work is focussed on the five interdepartmental focus areas of Energy, Infrastructure, Environment, Materials and Analytical sciences.

Mit Wasserstoff sicher in die Zukunft

Hydrogen: moving into
the future safely





Links: Die Elemente einer Wasserstoffwirtschaft.
 Rechts: Die BAM hält die Primärnormale, die
 Urmeter, für viele Gasgemische.
 Left: Elements of a hydrogen economy.
 Right: BAM holds the primary standards, the
 original measures, for many gas mixtures.



Wasserstoff ist ein Schlüsselement in den Zukunftsstrategien Deutschlands und der EU. Mit ihm soll der Weg in eine emissionsfreie Wirtschaft gelingen. Die BAM koordiniert ein großes EU-Projekt, das messtechnische Fragen rund um die Sicherheit von Wasserstoff als Speichermedium erforscht.

Hydrogen is a key element in the future strategies of Germany and the EU. It is intended to pave the way for an emission-free economy. BAM is coordinating a large EU project which investigates metrological questions relating to the safety of hydrogen as a storage medium.

Mit Wasserstoff lassen sich schon heute Autos und eines Tages vielleicht auch Züge, Containerschiffe, Flugzeuge und großtechnische Anlagen wie Hochöfen emissionsfrei antreiben.

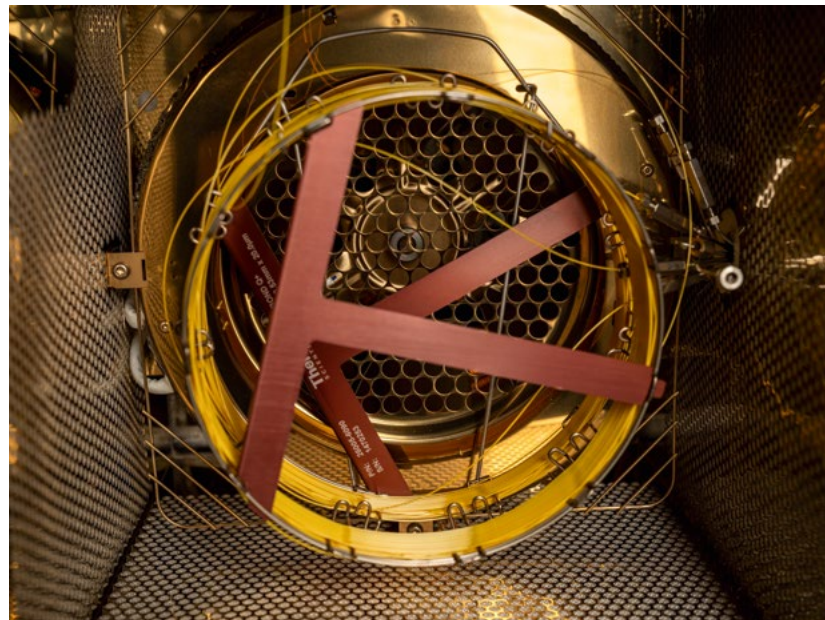
Neben der Nutzung als Treibstoff kommt Wasserstoff in Zukunft auch eine zweite Schlüsselrolle zu: Er soll als Zwischenspeicher für erneuerbare Energie dienen. Windräder und Solaranlagen liefern ihren Strom nicht gleichmäßig; bei Flaute oder bewölktem Himmel springen bislang konventionelle Kraftwerke ein. Starkwind oder Sommerhochs produzieren Überlasten. Um in der Energiewende die kontinuierliche Versorgung der Industrie und privater Haushalte sicherzustellen, ist die Speicherung des überschüssigen Stroms unerlässlich, der in Spitzenzeiten erzeugt wird. Wasserstoff eignet sich aufgrund seiner hohen Energiedichte hervorragend dazu. Power-to-Gas nennt sich das Verfahren: Durch Elektrolyse von Wasser wird mithilfe erneuerbarer Energie Wasserstoff gewonnen, der sich später rückverstromen lässt.

»Wir wollen dazu beitragen, dass die technologischen Standortvorteile, die Europa bei Wasserstoff besitzt, gesichert und ausgebaut werden.«

“We want to contribute to securing and expanding the advantages of location that Europe possesses in the field of hydrogen technology.”

Even today hydrogen can be used to power cars and perhaps one day trains, container ships, aircraft and large-scale facilities such as blast furnaces, with no emissions.

In addition to its use as a fuel, hydrogen will also play another key role in the future: it will serve as an intermediate storage medium for renewable energy. Wind turbines and solar farms do not supply their electricity evenly. Conventional power plants have so far been able to step in when the sky is cloudy or when there is no wind, while in strong winds or summer highs they produce excess energy. It is essential to store the excess electricity generated at peak times in order to ensure a continuous supply to industry and private households during the energy transition. Hydrogen is ideally suited for this purpose due to its high energy density: the method used is called Power-to-Gas. Electrolysis produces hydrogen from renewable energy that can later be re-converted into electricity.



Links unten: Blick ins Innere eines Gaschromatografen, mit dem sich Wasserstoff untersuchen lässt.

Rechts: Wasserstoff besitzt besondere physikalisch-chemische Eigenschaften. Die BAM ist auf die Analyse spezialisiert.

Left below: A view into a gas chromatograph's interior. This can be used to analyse hydrogen.

Right: Hydrogen has special physico-chemical properties. BAM specialises in analysis.



Standortvorteile sichern und ausbauen

»Wir werden in Zukunft große Mengen Wasserstoff benötigen; als Antriebsquelle, aber eben auch als Speichermedium für Energie aus regenerativen Quellen«, sagt Michael Maiwald. »Rund um seinen großtechnischen Einsatz sind jedoch noch viele Fragen offen.« Der Chemiker koordiniert mit seinem Team seit September 2020 für die BAM ein großes EU-Projekt, zu dem sich metrologische Institute sowie Partner aus Wissenschaft und Industrie zusammengeschlossen haben. Die 14 Mitglieder des Konsortiums stammen u. a. aus Frankreich, Spanien, Tschechien und Deutschland. »Schon heute ist zu beobachten, dass die Wasserstoffstrategien der Bundesregierung und der EU einen internationalen Wettbewerb ausgelöst haben: Auch China und die USA verstärken jetzt ihre Anstrengungen auf diesem Gebiet. Mit unserem Projekt wollen wir dazu beitragen, dass die technologischen Standortvorteile, die Europa besitzt, gesichert und ausgebaut werden.«

Securing and expanding locational advantages

“In the future we will need large quantities of hydrogen not only as a power source but also as a storage medium for energy from renewable sources,” says Michael Maiwald. “However, there are still many unanswered questions regarding its large-scale use.” Maiwald is a chemist and has been coordinating together with his team a major EU project for BAM since September 2020, which brings together metrological institutes and partners from across science and industry. The 14 members of the consortium come from France, Spain, the Czech Republic and Germany. “It can be seen even today that the Federal Government and the EU’s hydrogen strategies have triggered international competition: China and the USA are now also intensifying their efforts in this field. We want to use our project to contribute to securing and expanding the advantages of location that Europe possesses in the field of technology.”



Betrachtet wird die gesamte Kette von der Erzeugung des Wasserstoffs bis hin zu seiner Rückverwandlung in Strom. Im Fokus aber stehen die Speicherung und ihre metrologischen Aspekte.

Denn noch ungelöst ist die Frage, wie Wasserstoff, der künftig in großen Mengen erzeugt werden soll, sicher gelagert werden kann. »Bislang presst man Wasserstoff unter sehr hohem Druck in dickwandige Flaschen oder kühlt ihn, bis er sich verflüssigt. Beide Methoden sind in puncto Energieaufwand mit erheblichen Nachteilen verbunden«, sagt Michael Maiwald.

Riesige unterirdische Speicher

Als Übergangslösung könnten bereits vorhandene riesige Speicher dienen: unterirdische Erdgaskavernen. »Wasserstoff lässt sich in die existierenden Erdgasnetze und -speicher einspeisen und zu einem Anteil von zehn Prozent oder mehr dem Methan zumischen. Die erzeugte Energie kann man thermisch nutzen – also verfeuern – oder in Gaskraftwerken rückverstromen«, so Maiwald.

Allerdings erhöht Wasserstoff nicht nur den Brennwert des Gasgemisches, sondern verändert auch seine physikalisch-chemischen Eigenschaften. Um die angemessene Funktion von Messeinrichtungen und die Verlässlichkeit von Qualitätskontrollen sicherzustellen, bedarf es weiterer Untersuchungen. »Die BAM besitzt eine langjährige Expertise auf diesem Gebiet«, erklärt Michael Maiwald. »Wir halten die sogenannten nationalen Primärnormale – quasi die Urmeter – für viele Gasgemische. Und wir werden sehr genaue Wasserstoff-Erdgas-Gemische herstellen und sie unseren Partnern in dem

The entire chain from the production of hydrogen to its conversion into electricity is being considered. The focus, however, is on storage and its metrological features.

The question of how hydrogen can be produced in large quantities and stored safely in the future is as yet still unsolved. "The method used so far involves pumping hydrogen into thick-walled bottles under very high pressure or cooling it until it liquefies. Both procedures have considerable disadvantages in terms of energy consumption," says Michael Maiwald.

Huge underground reservoirs

Huge storage facilities that already exist, underground gas networks for instance, can provide an interim solution. "Hydrogen can be fed into the existing pipelines and gas storage facilities and mixed with methane at a rate of ten percent or more. The energy contained can be used thermally – i.e. burned – or converted back into electricity in gas-fired power plants," says Maiwald.

However, not only does hydrogen increase the calorific value of the gas mixture but also changes its physical-chemical properties, and further investigations are needed to ensure that measuring equipment and quality controls function properly. "BAM has many years of expertise in this field," explains Michael Maiwald. "We maintain the 'national primary standards' – the original metrics – for many gas mixtures. We will produce specified hydrogen-natural gas mixtures very accurately and make them available to our partners in the EU project for the analyses required."

Die BAM forscht an neuartigen Füllstoffen für Tanks, die es ermöglichen sollen, Wasserstoff unter geringerem Druck zu speichern als bisher.
BAM is researching novel tank fillers which should enable hydrogen storage at a lower pressure than before.

EU-Konsortium für die notwendigen Analysen zur Verfügung stellen.«

Um Wasserstoff und wasserstoffreiches Erdgas zu lagern, sollen künftig auch Kavernen, ausgediente Öl- und Erdgaslagerstätten, verwendet werden. Geologische Hohlräume dieser Art, die Tausende Kubikmeter aufnehmen könnten, gibt es an vielen Orten in Deutschland und Europa. Das Projekt untersucht, wie sich das Gas verändert, wenn man es in die Hohlräume presst, oder ob ihm Bakterien von den Felswänden zusetzen.

Neuartige Tanks aus porösen Materialien

Die BAM forscht innerhalb des Konsortiums zudem an neuartigen Tanks, die in Zukunft reinen Wasserstoff aufnehmen könnten. Sie sollen aus sogenannten metallorganischen Gerüstverbindungen gefertigt sein. Das sind sehr poröse Materialien, die eine besonders große Oberfläche besitzen. »An diese Oberflächen können sich Wasserstoffmoleküle quasi anheften und das erlaubt es, sie in größeren Mengen und unter geringerem Druck als bisher zu speichern«, so Maiwald. Zum Einsatz kommen könnten solche Speicher etwa an Wasserstofftankstellen. »Bislang ist das Verfahren noch nicht praxisreif. Wir werden an der BAM mithilfe von Datenbanken systematisch zahlreiche metallorganische Verbindungen durchgehen und die interessantesten Kandidaten genauer erforschen.«

Neben der Speicherung widmet sich das EU-Projekt auch der Rückverwandlung von Wasserstoff in Strom durch Brennstoffzellen. Die Aggregate sind sehr empfindlich – und zugleich teuer. »Schwefelverbindungen etwa, die beim Transport und bei der Lagerung das Gas verunreinigt haben könnten, greifen die Membranen der Zellen an und zerstören sie nach und nach«, erklärt Maiwald.

Caverns and disused oil and natural gas reservoirs could also be used in the future to store hydrogen and hydrogen-rich natural gas. Geological storage spaces of this type, which could hold thousands of cubic metres, can be found in many places in Germany and Europe. The project investigates how the gas changes when it is pumped into these cavities or whether bacteria from the rock faces may attack it.

Novel tanks made of porous materials

Within the project consortium, BAM is also researching new types of hydrogen tanks which can absorb pure hydrogen in the future. They will be made of “organic metal framework compounds”. These are very porous materials with a particularly large surface area. “Hydrogen molecules can essentially attach themselves to these surfaces allowing them to be stored in larger quantities and at lower pressures than before,” says Maiwald. Such storage systems could be used at hydrogen filling stations for example, “however, the process is not yet ready for practical use. At BAM we will systematically go through numerous organometallic compounds using of databases and investigate the most interesting candidates in more detail”.

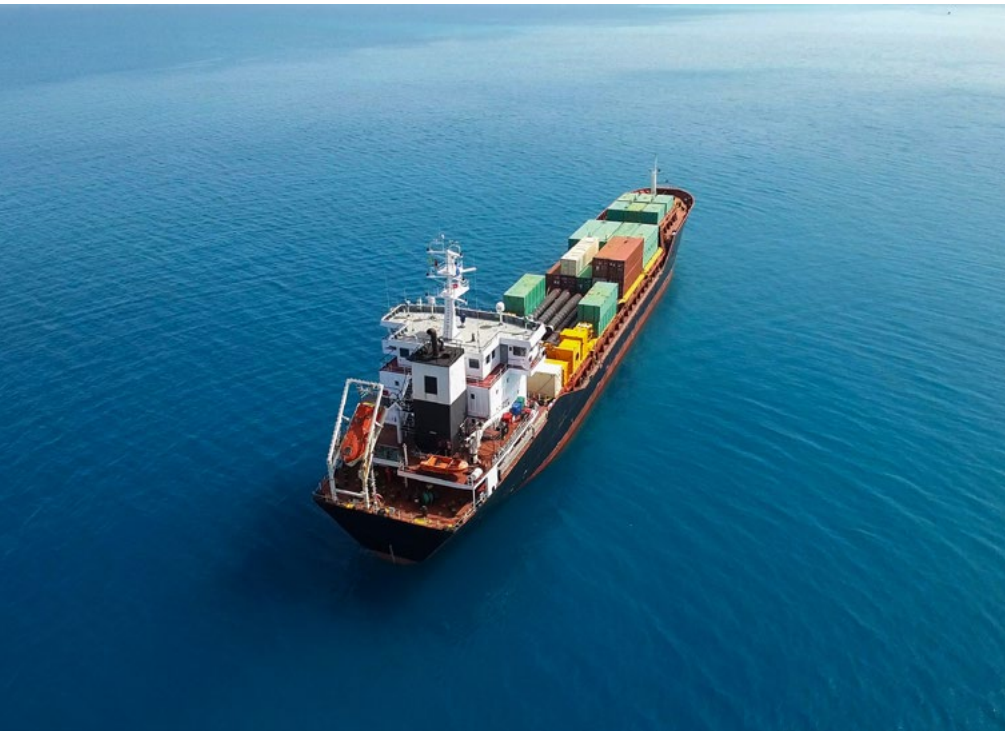
In addition to storage, the EU project is dedicated to the re-conversion of hydrogen into electricity using fuel cells. The facilities are very sensitive – and expensive. “Sulphur compounds, for example, which may contaminate the gas during transport and storage, can attack the membranes of the cells and gradually destroy them,” explains Maiwald.

Um sicherzustellen, dass auch beim Tankvorgang keine Verunreinigungen in den Speicher eines Wasserstoffautos gelangen, sollen Sensoren getestet werden, die die Reinheit des getankten Wasserstoffs vor Ort gewährleisten.

Schon jetzt ist sicher: Metrologische Standards, Referenz- und Messverfahren werden auf dem Weg zu einer Wasserstoffwirtschaft eine entscheidende Rolle spielen. »Wir wollen mit unserem Konsortium dazu beitragen, dass Europa auf diesem Gebiet seine Standortvorteile behält, und Vertrauen in die Zukunftstechnologie schaffen«, so Michael Maiwald. —

Sensors that can guarantee the purity of the refuelled hydrogen on site, should be tested to ensure that no impurities enter the storage tank of a hydrogen car while being refuelled.

One thing is certain: metrological standards, reference and measurement methods will play a crucial role on the route leading to a hydrogen economy. "The project consortium and ourselves want to contribute to ensuring that Europe retains its locational advantage in this field and create confidence in the technology of the future," says Michael Maiwald. —



Wasserstoff könnte Containerschiffe CO₂-neutral antreiben und die Hochöfen von Stahlwerken revolutionieren.

Hydrogen could power container ships in a CO₂ neutral way and revolutionise blast furnaces in steel works.

Energie Energy

Lithium-Ionen-Akkus umfassend untersucht

Extensive tests of
lithium-ion batteries



Ein ausgebranntes elektrisches Skateboard,
das spontan Feuer gefangen hat.
A burnt-out electric skateboard that
spontaneously caught fire.



Lithium-Ionen-Akkus sind ein wichtiger Bestandteil der Energiewende. Aufgrund ihrer hohen Energiedichte können sie sich jedoch entzünden und lassen sich dann nur schwer löschen. Um diese und andere Gefahren genauer einzuschätzen, erforscht die BAM erstmals systematisch die Energiespeicher.

Lithium-ion batteries are an important component of energy transition. Due to their high energy density, however, they can ignite and are then difficult to extinguish. In order to assess these and other dangers more precisely, BAM is systematically researching energy storage systems for the first time.

Die Bundesregierung hat die Batterietechnologie zum Schlüsselement der Energiewende erklärt. Nicht nur in elektrisch betriebenen Autos, auch in Eigenheimen und Industriebetrieben werden Lithium-Ionen-Akkus bereits als dezentrale Puffer genutzt, um die Energie von Wind- oder Solaranlagen zu speichern. Zur Stabilisierung des Stromnetzes wird es zukünftig einen verstärkten Bedarf an solchen stationären Großspeichern geben.

Risiken beim thermischen Durchgehen

»Lithium-Ionen-Akkus sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken«, sagt Rico Tschirschwitz. »Aber nur wenn die Technologie von der breiten Öffentlichkeit als sicher wahrgenommen wird, ist ihr weiterer Ausbau auch von gesellschaftlicher Akzeptanz begleitet.« Der Ingenieur koordiniert an der BAM ein neues Forschungsprojekt, das die Gefahren von Lithium-Ionen-Akkus genauer untersuchen will.

Grundsätzlich gilt die Technik als zuverlässig; bereits für den Transport einer Batterie müssen strenge UN-Normen erfüllt werden. Wenn allerdings ein Akku im Betrieb zu heiß wird oder von außen einer mechanischen Beschädigung ausgesetzt ist, kann es zu einem Kurzschluss kommen. Der wiederum vermag ein sogenanntes thermisches Durchgehen auszulösen: einen sich selbst verstärkenden Prozess, bei dem immer mehr Wärme produziert wird. Dabei kann der Akku toxische und brennbare Gase freisetzen – z. B. Kohlenmonoxid, verschiedene Kohlenwasserstoffe oder Fluorwasserstoff – und schließlich anfangen zu brennen.

The German Federal Government has declared battery technology a key element of energy transition. Lithium-ion batteries are already being used as decentralised buffers not only in electrically powered cars, but also in homes and industrial sites, to store energy from wind or solar power plants. Such stationary large-scale energy storage systems will experience an increased demand for ensuring stability of power grids in the future.

Thermal runaway risks

“Lithium-ion batteries have become an indispensable part of our everyday lives,” says Rico Tschirschwitz. “However, the general public will only accept its further expansion if the technology is perceived as safe. Tschirschwitz is coordinating a new research project in BAM which aims to investigate the dangers of lithium-ion batteries more closely.

In principle, the technology is considered reliable; but strict UN standards must be observed even for the transport of batteries. However, if a battery becomes too hot during operation or is exposed to mechanical damage from the outside, a short circuit can occur. This, in turn, can trigger a “thermal runaway” which is a self-enhancing process with more and more heat produced. The battery can release toxic and flammable gases – e.g. carbon monoxide, various hydrocarbons or hydrogen fluoride – and in a worst case scenario it can start to burn.

Prüfstand auf dem Testgelände Technische Sicherheit
der BAM in Brandenburg
Test stand on the BAM Test Site for Technical Safety
in Brandenburg





Rico Tschirschwitz untersucht, ob toxische oder brennbare Gase freigesetzt werden.
Rico Tschirschwitz investigates whether toxic or flammable gases are released.



Zahlreiche Zelltypen und komplexe Chemie

Bisher gibt es zahlreiche Einzeluntersuchungen zu dem Thema. Sie beruhen jedoch auf verschiedenen Messmethoden und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar. Systematisch ist das Gefährdungspotenzial von Lithium-Ionen-Akkus bislang noch nicht klassifiziert worden.

»Das liegt auch daran, dass es sehr viele unterschiedliche Batterietypen gibt«, erklärt Rico Tschirschwitz. »Eine Lithiumbatterie für Elektroautos etwa besteht aus vielen Modulen und die wiederum aus zahlreichen einzelnen Zellen, mit teils über 20 Komponenten. Zudem unterscheiden sich Zellen hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und Anordnung, der sogenannten Geometrie. In ihnen sind seltene Erden und Metalle, Kunststoffe, Graphit oder Silizium verbaut. All das hat Einfluss auf mögliche Gefahrenszenarien. Schließlich entscheiden auch Größe und Alter eines Akkus darüber, wie leicht er thermisch durchgehen kann, sowie die Frage, wie viele Ladezyklen er bereits durchlaufen hat.«

Die Vielzahl dieser Faktoren macht eine genaue Aussage über das konkrete Gefährdungspotenzial einer Batterie sehr komplex. Die BAM besitzt jedoch die technische Ausstattung und die wissenschaftliche Expertise, um Akkus umfassend zu testen. Sie prüft bereits jetzt als Bundesoberbehörde die Behälter, in denen defekte Batterien transportiert werden dürfen, und entscheidet über ihre Zulassung.

Auf dem Testgelände Technische Sicherheit der BAM in Brandenburg wollen Tschirschwitz und seine Kolleg*innen Lithium-Ionen-Akkus jetzt systematisch untersuchen. Sie testen alle Typen, von der Knopfzelle bis zur Autobatterie, die durchaus 800 Kilo wiegen kann.

Numerous cell types and complex chemistry

So far, there have been numerous individual studies on this topic. However, they use different measurement methods and their comparability is therefore limited. The hazard potential of lithium-ion batteries has not yet been systematically classified either.

“This is also due to the fact that there are many different types of batteries,” explains Rico Tschirschwitz. “A lithium battery for electric cars, for example, consists of many modules, which in turn consist of numerous individual cells, some with more than 20 components. Cells also differ in terms of their chemical composition and arrangement, i.e. their geometry. They contain rare earths and metals, plastics, graphite or silicon. All this has an influence on potential hazard scenarios. After all, the size and age of a battery and the fact how many charge cycles it has already undergone also affect how easily a thermal runaway can occur.”

The aggregate of these factors makes a precise supposition about the actual risk potential of a battery a rather complex task. However, BAM has the technical infrastructure and scientific expertise to test batteries comprehensively. As a senior federal authority, it has already tested packagings in which defective batteries are transported and BAM makes the decisions as to whether they can be approved.

Tschirschwitz and his colleagues now intend to systematically investigate lithium-ion batteries at the BAM Test Site for Technical Safety in Brandenburg. They will test all types from button cells to car batteries, which can weigh up to 800 kilograms.

In einem tonnenschweren Autoklav, einem gasdicht verschließbaren Druckbehälter, bringen sie die Akkus durch Zuführung von Wärme oder mittels Überladung gezielt zum thermischen Durchgehen. Anschließend bestimmen und quantifizieren sie die frei werdenden Gase. Im Fokus steht dabei unter anderem Fluorwasserstoff, aus dem sich Flusssäure bilden kann. In einem realen Unfallgeschehen kann die extrem ätzende Substanz vor allem für Rettungskräfte zur Gefahr werden.

Mit drei unterschiedlichen Verfahren messen sie die freigesetzte Wärmeenergie. Die Tests an kleineren Akkus sollen in den Aufbau eines Großversuchsstands einfließen, an dem auch große Autobatterien untersucht werden können.

In Reihenuntersuchungen sollen schließlich sämtliche Batterietypen in unterschiedlichen Ladezuständen getestet werden. In Zusammenarbeit mit MEET (Münster Electrochemical Energy Technology), dem Batterieforschungszentrum der Universität Münster, werden die Forschungen bis auf die Nano-Ebene eines Akkus vorangetrieben.

Hinweise für Brandschutz und Recycling

Aus all diesen Tests sollen schließlich Parameter zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials eines Akkus abgeleitet werden. »Wir wollen Hinweise geben für den baulichen Brandschutz in Eigenheimen, in denen dezentrale Energiespeicher stehen«, sagt Rico Tschirschwitz. »Den herstellenden Unternehmen wollen wir Empfehlungen geben, wie Akkus durch konstruktive Maßnahmen zu ertüchtigen sind. So können wir als BAM dazu beitragen, dass Unfälle mit Batterien möglichst vermieden werden oder ihre Auswirkungen auf ein unbedenkliches Maß reduziert werden können. Feuerwehren und Rettungs-

They bring the batteries to a state of thermal runaway by supplying heat or by overcharging them in an autoclave, a gas-tight sealable pressure vessel weighing tons. They then determine and quantify the gases released. Their attention will be focussed on hydrogen fluoride from which hydrofluoric acid can be formed. This extremely corrosive substance may become a danger in a real accident, especially to rescue forces.

They use three different methods to measure heat release. Tests on smaller batteries are to be incorporated into the construction of a large-scale test stand which will also be used to test large car batteries.

Finally, all types of batteries are to be tested at different states of charge in serial tests. The research will be taken down to the nano level of batteries in cooperation with MEET (Münster Electrochemical Energy Technology), the university's battery research centre.

Notes on fire protection and recycling

The tests should enable the establishment of parameters for assessing the hazard potential of a battery. "We want to give hints for designing fire protection in homes with decentralised energy storage systems," says Rico Tschirschwitz. "We want to provide the manufacturing companies with recommendations on how changes in design can be used to upgrade batteries. In this way, we as BAM can contribute to preventing accidents with batteries as far as possible, or at least, to reducing their effects to a harmless level. We would like to show fire brigades and rescue services what to do if an electric car catches fire on a motorway or in an underground car park. We would also like to advise recycling companies on the safe handling of old batteries."

kräften möchten wir Handlungsoptionen aufzeigen, was zu tun ist, wenn ein Elektroauto auf der Autobahn oder in einer Tiefgarage in Brand gerät. Recycling-Unternehmen wollen wir beraten beim sicheren Umgang mit alten Akkus.«

Und schließlich werden die Ergebnisse auch über die nationalen und internationalen Gremien, an denen die BAM beteiligt ist, in Normen und Regelsetzungen einfließen – damit Lithium-Ionen-Akkus in Zukunft noch sicherer sind. —

And finally, national and international committees where BAM is also involved will help integrate the results into standards and regulations which will make lithium-ion batteries even safer in the future. —

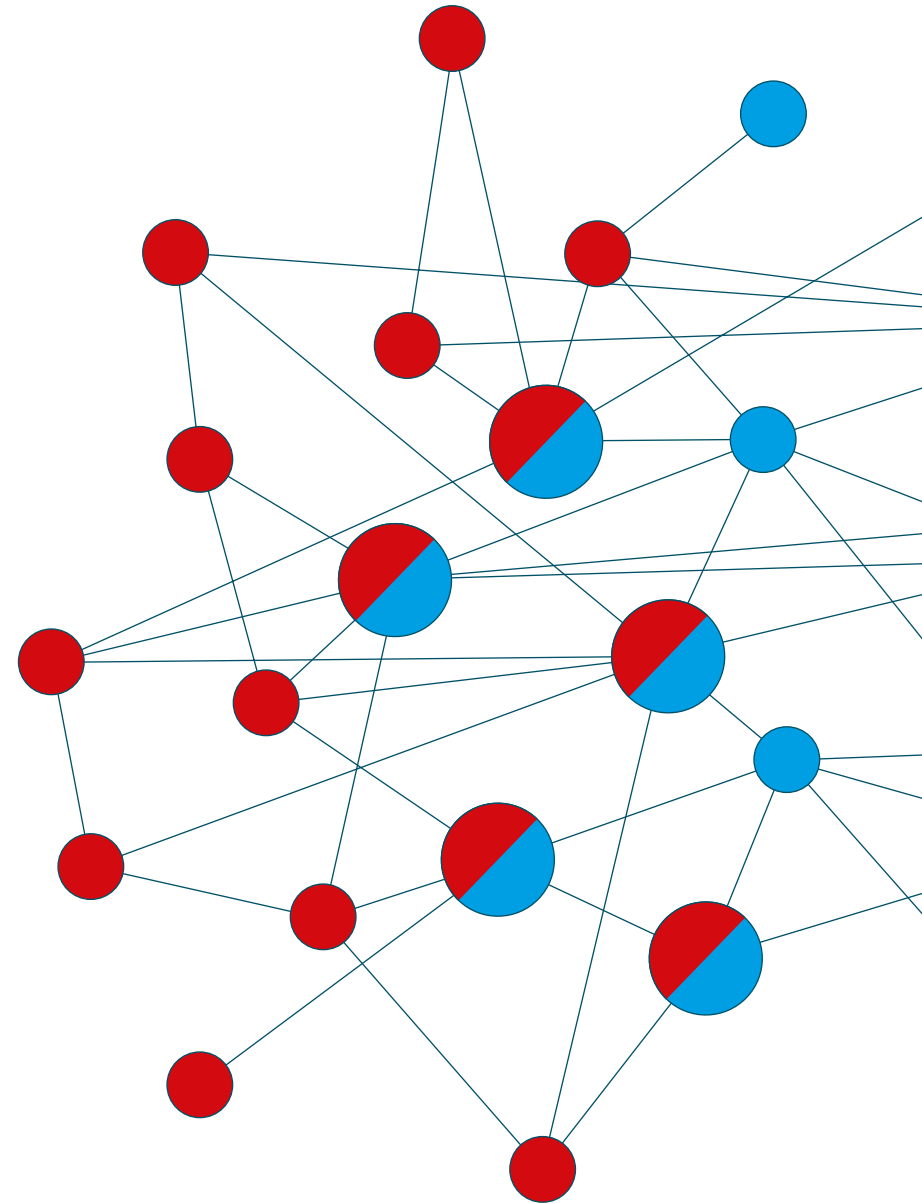


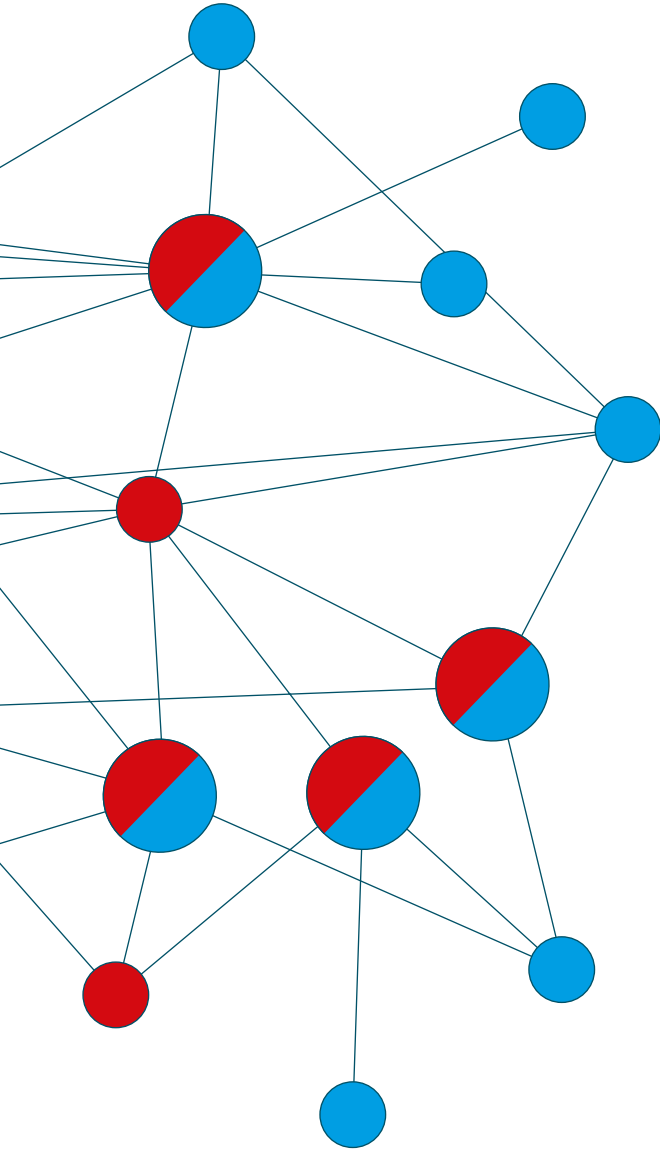
Die Sicherheit der E-Mobilität steht im Mittelpunkt der BAM-Forschungen.
BAM's research is highly focused on the safety of e-mobility.

Neues Netzwerk für bessere Sicherheitstechnik

New network for better safety technology

-  BOS (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben)
BOS (authorities and organizations with safety and security tasks)
-  KMU (kleinere und mittlere Unternehmen)
KMU (small and medium-sized enterprises)
-  BAM





Die BAM vernetzt Unternehmen mit Behörden und Organisationen im Bereich der zivilen Gefahrenabwehr. BAM establishes contacts for companies with authorities and organisations in civil emergency response.



In Deutschland sind zahlreiche Behörden und Organisationen in der zivilen Gefahrenabwehr tätig. Die Geräte und Ausstattungen, die sie verwenden, werden meist von kleinen und mittleren Unternehmen entwickelt. Nicht immer entsprechen deren Lösungen jedoch den Bedürfnissen der Endanwender. Das Innovationsforum InnoBOSK der BAM will das ändern. Ein Gespräch mit dem Projektleiter Daniel Krentel.

Numerous authorities and organisations are active in civil emergency response in Germany. The devices and equipment they use are mostly developed by small and medium-sized companies. However, their solutions do not always meet the needs of end users. BAM's innovation forum InnoBOSK intends to change this. We have talked with project manager Daniel Krentel.

Was war der Anlass für die Gründung des Innovationsforums?

In Deutschland gibt es viele Behörden und Organisationen (BOS), die in der zivilen Gefahrenabwehr tätig sind. Dazu zählen Feuerwehren, Rettungsdienste, die Polizei der Länder und des Bundes, das Technische Hilfswerk, Hilfsorganisationen wie das Deutsche Rote Kreuz oder die Johanniter Unfallhilfe. Sie verwenden Sicherheitstechnik, die zumeist von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) entwickelt wird. Oft aber sehen sich die BOS vor dem Problem, dass von den KMU technische Lösungen erarbeitet werden, die gar nicht ihrem Bedarf entsprechen. Umgekehrt werden ihre eigentlichen Bedürfnisse nicht immer bedient. Unser Innovationsforum, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird, soll die Zusammenarbeit zwischen beiden Seiten verbessern, um bedarfsorientierte Lösungen zu schaffen.

Wer sind diese KMU – und um welche Arten von Sicherheitstechnik geht es?

Zu den KMU zählen Firmen, die Sensortechnik, Robotik oder Drohnensysteme entwickeln. Sie stehen für Innovationskraft, sind letztlich das Rückgrat der deutschen Wirtschaft. Die Sicherheitstechnik, die sie entwickeln, umfasst ein sehr großes Spektrum und reicht von Schutzausrüstung über Löschtechnik sowie Warn- und Messtechnik, mit der man z. B. Gefahr- und Explosivstoffe detektieren kann, bis hin zu Drohnen.

Warum arbeiten beide Seiten bisher oft aneinander vorbei?

Die BOS, zu denen ja viele ehrenamtliche Organisationen zählen, sind bisher nicht ausreichend vernetzt mit den Unternehmen, die Sicherheitstechnik entwickeln, sowie mit Wissenschaft und

Why was the Innovation Forum established?

In Germany there are many authorities and organisations (BOS) that are active in civil emergency response. These include fire brigades, rescue services, state and federal police forces, the German Federal Agency for Technical Relief (THW), aid organisations such as the German Red Cross or Johanniter Unfallhilfe (first aid organisation). The safety technology they use is mostly developed by small and medium-sized enterprises (SMEs). Often, however, BOS face the problem that SMEs develop technical solutions that do not meet their needs at all. Conversely, their actual requirements are not always provided for. Our Innovation Forum, funded by the Federal Ministry of Education and Research, aims to improve cooperation between the two sides in order to create needs-oriented solutions.

Who are these SMEs – and what types of safety technology are involved?

SMEs include companies that develop sensor technology, robotics or drone systems. They stand for innovative strength and are ultimately the backbone of the German economy. The safety technology they develop covers a very broad spectrum ranging from protective equipment, extinguishing technology, warning and measuring technology, which can be used to detect hazardous and explosive materials, to drones.

Why have the two sides often worked past each other so far?

BOS, which include many voluntary organisations, have not yet been suitably networked with safety technology developers or with science and research. They therefore find it difficult to address their needs. SMEs, on the other hand, do not find it easy to gain an overview of

Die Erkundung ist oft die schwierigste Phase eines Einsatzes, da die Gefahren noch nicht genau bekannt sind.
Reconnaissance is often the most difficult phase of an operation as the occurring dangers are not yet fully understood.





»Oft werden technische Lösungen erarbeitet, die nicht den Bedürfnissen entsprechen. Das wollen wir ändern.«

“Often technical solutions are being developed that do not meet the needs. We want to change that.”

Forschung. Ihnen fällt es daher schwer, ihre Bedürfnisse zu adressieren. Für die KMU wiederum ist es nicht leicht, einen Marktüberblick zu gewinnen, weil es sehr viele BOS gibt. Sie haben teils gar nicht die Ressourcen für eine aufwendige Marktanalyse. So versuchen sie beispielsweise, eine neue Anwendung für ein bereits vorhandenes System, etwa eine Drohne, zu entwickeln und zu verkaufen. Es kann aber sein, dass es für diese Anwendung bei den BOS gar keinen Bedarf gibt.

Was war der konkrete Anlass, auf diesem Gebiet tätig zu werden?

Das Innovationsforum ist hervorgegangen aus einem Cluster zur zivilen Sicherheitsforschung, dessen Gründungsmitglied die BAM ist. In diesem Cluster war das unzureichende Verständnis zwischen KMU und denjenigen, die ihre Produkte in der Praxis anwenden, bereits oft Thema. Aber auch aus eigener Erfahrung als Ehrenamtlicher beim Technischen Hilfswerk kenne ich Systeme, die entweder

the market because there are so many BOS. Some of them do not have the resources for complex market analysis. For example, they try to develop and sell a new application for a system already developed such as a drone. It is possible, however, that BOS do not need this application at all.

What was the specific reason for activity in this field?

The Innovation Forum emerged from a cluster on civil safety research, of which BAM is a founding member. In this cluster the inadequate understanding between SMEs and end users has often been a topic of discussion. But from my own experience as a German Federal Agency for Technical Relief volunteer, I also know of systems that are either too complicated or too large for the staff from the emergency services, or which cannot be operated well under the difficult conditions of a mission, in darkness, soaking wet or other adversities.

für die Einsatzkraft als technischen Allrounder zu kompliziert oder zu umfangreich sind oder sich unter den erschwerten Bedingungen eines Einsatzes, bei Dunkelheit, Nässe oder anderen Widrigkeiten, nicht gut bedienen lassen.

Wo liegen die tatsächlichen Bedürfnisse der BOS?

Neue Techniken in der Mobilität bringen neue Gefahren hervor; damit müssen Feuerwehren und Rettungsdienste in ihrem Alltag ganz konkret umgehen. Zum Beispiel: Wie lösche ich ein brennendes Fahrzeug mit einer Lithiumbatterie? Oder Teams, die in einen Unfallbereich vordringen, müssen Gefahrstoffe möglichst schnell identifizieren können. Sie benötigen also ein Gerät, mit dem sie verschiedene Substanzen sicher detektieren können. Zugleich könnte der Einsatz von fliegender oder landgebundener Robotik in Zukunft dabei helfen, dass Einsatzkräfte nicht mehr selbst zur Erkundung in Gefahrenbereiche vordringen müssen. Wie ersetze ich das, was ein Mensch leisten kann, durch automatische oder teilautonome Systeme? Das sind Fragen, die von den BOS immer wieder gestellt werden. Auch bei der persönlichen Schutzausrüstung – der unmittelbaren und letzten Barriere für die Einsatzkraft – gibt es eine Vielzahl neuer Anforderungen und Entwicklungen.

Daniel Krentel arbeitet seit vielen Jahren ehrenamtlich beim Technischen Hilfswerk und kennt Einsätze in Gefahrensituationen. Daniel Krentel has been a volunteer with the German Federal Agency for Technical Relief for many years and is familiar with operations in dangerous situations.

Where are the actual needs of the BOS?

New technologies in mobility create new dangers which fire brigades and rescue services have to deal with in a very special way in their everyday life. For example, how do I extinguish a burning vehicle with a lithium battery? Or teams entering an accident area must be able to identify hazardous substances as quickly as possible. They need a device which can reliably detect various substances. Also, the use of flying or land-based robotics could in future help to ensure that emergency services no longer have to enter hazardous zones themselves to survey it. How can automatic or semi-autonomous systems replace what a human being can do? These are questions that are asked again and again by the BOS. There is also a multitude of new requirements and developments in the field of personal protective equipment – the immediate and final barrier for the staff of emergency services.





Innovationen bringen auch neue Risiken mit sich: Wie löscht man ein brennendes Fahrzeug mit Lithiumbatterie?
Innovations also entail new risks: how can fire fighters safely extinguish a burning vehicle equipped with a lithium battery?

Was planen Sie konkret, um den Austausch zwischen beiden Seiten zu verbessern?

Wir wollen zunächst systematisch die Forschungsbedarfe und Fähigkeitslücken zu übergeordneten Themen bei den BOS erheben und mit ihnen gemeinsam priorisieren. Auf einem digitalen Kick-off-Workshop wollen wir die BOS und die KMU zusammenbringen, sodass sie sich direkt miteinander austauschen und ihre jeweiligen Erwartungen formulieren können. Im Sommer 2021 planen wir – wenn die Umstände es zulassen – eine große Konferenz als Höhepunkt des Projektes. Eine digitale Plattform, über die sich beide Seiten dauerhaft austauschen können, verstetigt das Projekt und wird von der BAM dauerhaft betreut.

Was prädestiniert die BAM für diese Aufgabe?

Wir können beide Welten wirklich zusammenbringen, sind einerseits mit den BOS gut vernetzt und werden von ihnen als unabhängige Partnerin mit umfangreicher wissenschaftlich-technischer Kompetenz geschätzt. Aber auch zu den KMU bestehen enge Verbindungen und Netzwerke, z. B. über die vielen Prüfungen von Geräten und Zertifizierungen, die die BAM erbringt, aber auch über Beratungen und Gremienarbeit.

Gibt es eine technische Anwendung, die Sie bei Ihren Einsätzen beim THW bisher besonders vermissen?

Die erste Phase eines Einsatzes, die Erkundung, ist oftmals eine der schwierigsten Situationen, da die Gefahren noch nicht oder nur sehr ungenau bekannt sind. Daher sind alle Techniken und Hilfsmittel, die bei der Ermittlung eines umfassenden Lageüberblicks unterstützen, sehr hilfreich. Vor allem, wenn sich dadurch Einsatzkräfte nur kurz oder vorerst gar nicht in den Gefahrenbereich begeben müssen. —

What are your concrete plans to improve the exchange between the two sides?

First of all, we want to systematically raise the research needs and capability gaps to top-level topics at the BOS and prioritise them together. We want to bring BOS and SMEs together at a digital kick-off workshop, so that they can exchange information directly and formulate their respective expectations. We are planning planing – if circumstances permit – a major conference next summer as the highlight of the project. A digital platform, where the two sides can permanently exchange information, will stabilise the project and will be permanently supported by BAM.

What predestines BAM for this task?

We can really bring the two worlds together as we are well networked with the BOS on the one hand and they appreciate us as an independent partner with extensive scientific and technical expertise. But on the other hand, we have close links and networks with SMEs, through the large number of equipment tests and certifications which BAM provides and also through consultancy and participation in committees.

Is there a technical application that you have particularly missed in your work with THW?

Surveying, the first phase of any operation, is often one of the most difficult stages as the hazards are not yet or only very vaguely known. Therefore, all techniques and tools that help to get a comprehensive overview of the situation are very helpful. Especially if they facilitate emergency services only entering hazard zones for a short period or not at all. —

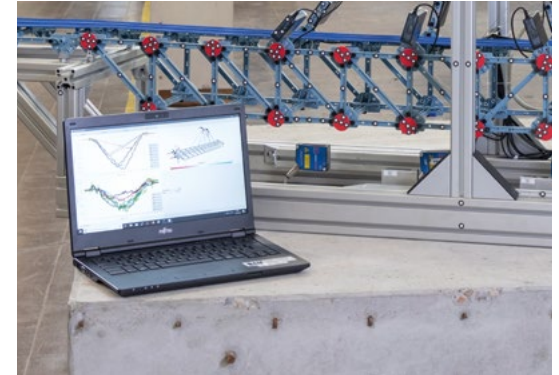
Infrastruktur Infrastructure

Digitale Zwillinge machen Brücken sicherer

Digital twins increase
safety of bridges



Der Ingenieur Jörg F. Unger ist Experte für die Modellierung digitaler Zwillinge.
Engineer Jörg F. Unger is an expert in modelling digital twins.



Über 5.500 Fernverkehrsbrücken hat die Bundesanstalt für Straßenwesen in einer Analyse jüngst als nicht ausreichend oder schlechter bewertet. Bislang werden die Bauwerke bei jährlichen Begehungen begutachtet. Die BAM will es ermöglichen, sie mithilfe digitaler Zwillinge kontinuierlich zu überwachen, um Schwachstellen frühzeitig zu erkennen.

In a recent analysis, the Federal Highway Research Institute (Bundesanstalt für Straßenwesen) rated over 5,500 bridges for long-distance transport as insufficient or worse. So far, the structures have been inspected during annual on-site inspections. BAM wants to enable continuous monitoring for them using digital twins to achieve early detection of weak points.

Digitale Zwillinge kommen heute in vielen technischen Bereichen zum Einsatz. Wenn etwa ein Flugzeug in der Luft unterwegs ist, funken seine Triebwerke unablässig Daten zu den Bodenstationen. Anhand der Informationen lässt sich einschätzen, wann die nächste Wartung fällig ist. Früher haben die Piloten nach der Landung die Turbinen in Augenschein genommen und ihre Beobachtungen per Hand in Logbücher eingetragen. Ingenieure mussten die Bücher auswerten und festlegen, wann die nächste Wartung durchzuführen war – heute können sie es anhand der in Echtzeit übermittelten Daten entscheiden.

»Ein digitaler Zwilling ist ein computergestütztes Modell, mit dem das Verhalten eines physischen Objektes überwacht und gesteuert werden kann«, erklärt Jörg F. Unger. Der Ingenieur ist an der BAM Experte für die Modellierung digitaler Zwillinge. Die virtuellen Doppelgänger kommen in der Industrie 4.0 bereits zum Einsatz, um Prozesse und große Produktionsanlagen zu simulieren, zu steuern und zu optimieren.

Infrastrukturen, wie etwa Brücken, werden mit dieser Technik bislang noch nicht überwacht, denn hier erweist sich insbesondere die Modellierung in Echtzeit als besonders aufwendig.

Digital twins are used in many technical fields today. When an aircraft is in the air, its engines constantly transmit data to ground stations. This information can be used to estimate when the next maintenance is due. In the past, pilots used to inspect the turbines after landing and enter their observations manually in logbooks. Engineers had to evaluate the logs and determine when the next maintenance was due – today, they can decide based on the data transmitted in real time.

“A digital twin is a computer-based model that can be used to monitor and control the behaviour of a real object,” explains Jörg F. Unger. The engineer is an expert at BAM working on modelling digital twins. Virtual twins have already been used in Industry 4.0 to simulate, control and optimise processes and large production plants. This technology has not yet been used to monitor infrastructure such as bridges because real-time modelling in particular proves to be highly complex.



Links: Sechs Laser- und acht Kraftsensoren liefern die Daten.

Rechts: Neubau der Brücke von Genua nach dem verheerenden Unglück. Digitale Zwillinge sollen mithelfen, solche Katastrophen in Zukunft zu verhindern.

Left: Six laser and eight force sensors provide data.
Right: Building the Genoa bridge anew after the devastating collapse. Digital twins should help to prevent such catastrophes in the future.

»Sogar Schäden, die für das menschliche Auge unsichtbar und nicht direkt mit Sensoren erfasst werden können, lassen sich mit einem digitalen Zwilling erkennen.«

“Even damage invisible to the human eye and not directly accessible to sensors can be detected by a digital twin.”

Virtuelle Doppelgänger in der Industrie 4.0

Das Team um Unger will das ändern. Zusammen mit der niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO) haben die Wissenschaftler*innen aus Kunststoffstäben und Metallverbindungen eine zwei Meter lange Brücke im Labor gebaut. Sie soll ihnen als Vorbild für eine digitale Kopie dienen. Denn noch wäre es zu aufwendig, einen digitalen Brückenzwilling nach einem realen Bauwerk zu modellieren. »Eine echte Brücke ist einfach noch zu komplex. Um alle relevanten Daten aufzunehmen, müssten wir sie lange Zeit für den Verkehr sperren und viele relevante Bauteile wie Pfeiler, Verstrebungen, Drahtseile und Auflager messtechnisch erfassen«, so Unger.



Virtual twins in Industry 4.0

Unger's team wants to change that. Together with the Dutch Organisation for Applied Scientific Research (TNO), the scientists have built a two-metre long bridge in the laboratory using plastic rods and metal connections. It is intended to serve as a model for a digital copy because it would still be too complicated to model a digital bridge twin based on a real structure. “A real-life bridge is simply far too complex. We would have to close it for traffic for a long time and measure many relevant components such as pillars, struts, wire ropes and supports if we wanted to record all relevant data,” says Unger.

Von seiner Zweimeter-Brücke konnte das Team jedoch einen digitalen Zwilling am Computer entwickeln. Dabei fließen Berechnungen zu möglichen Verformungen, Beschreibungen des Materialverhaltens sowie Daten zu Belastungen und Auflagerbedingungen in das Modell ein. Ziel ist es, die Leistungsfähigkeit des digitalen Zwillings für den Einsatz in der Praxis zu erproben.

Ihre Laborbrücke haben die Wissenschaftler*innen mit sechs Laser- und acht Kraftsensoren bestückt, die jede kleinste Veränderung – einwirkende Kräfte und Verformungen – aufnehmen und den digitalen Zwilling im Computer kontinuierlich mit Messdaten speisen. Die Platzierung der Sensoren an aussagekräftigen Stellen ist dabei besonders wichtig. Sie liefert den entscheidenden Vorteil der Technologie gegenüber der bisherigen Brückenüberwachung: »Selbst Schäden, die für das menschliche Auge unsichtbar und nicht direkt mit Sensoren zugänglich sind, lassen sich so erkennen. Wird die Brücke etwa durch ein Fahrzeug belastet, lässt sich anhand der Durchbiegung die Spannung auch an Stellen abschätzen, die wir gar nicht mit Sensoren erfasst haben«, erklärt Unger. »So hat man das gesamte Bauwerk im Blick. Bei den heute üblichen Begehungen werden dagegen nur optisch sichtbare Schäden festgestellt und bei Bedarf mit einem Sensor versehen. Damit werden ausschließlich bereits bekannte Mängel kontrolliert.«

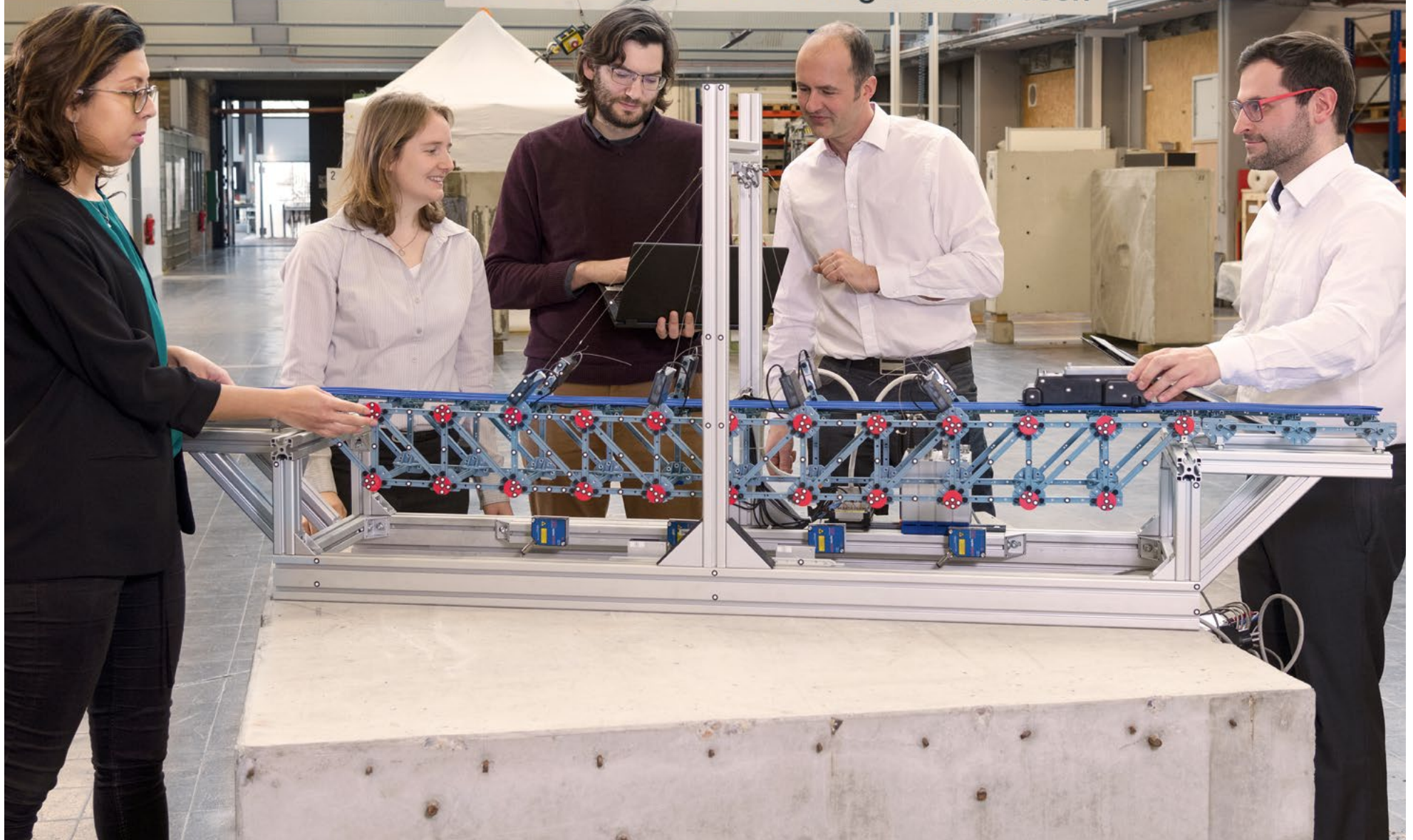
Their two-metre bridge, however, enabled the team to create a digital twin on the computer. Calculations of potential deformations, descriptions of material behaviour and data on loads and support conditions are incorporated in the model. The aim is to test the performance of the digital twin for practical use.

The scientists have equipped their laboratory bridge with six laser and eight force sensors which record every minor change – acting forces and deformations – and continuously feed the digital twin in the computer with measured data. The position of the sensors in specific locations is particularly important. It provides the key advantage of the technology compared to the previous bridge monitoring: “Even damage invisible to the human eye and not directly accessible to sensors can be detected in this way. If the bridge is loaded by a vehicle, for example, the deflection allows the stress to be estimated, even at points where we have not located sensors”, explains Unger. “In this way, one has an overview across the entire structure. In contrast, site inspections that are common practice today can only detect visible damage and, if necessary, arrange sensors in specific points of the bridge. This means that only defects already known can be checked.”

Um das Verhalten von Brücken genau zu untersuchen, hat das Team eine Modellbrücke gebaut und davon am Computer einen digitalen Zwilling entwickelt.

The team built a model bridge and developed a digital twin on the computer to investigate the performance of bridges in detail.

Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen





In einen digitalen Zwilling fließen Berechnungen zu Verformungen, zum Materialverhalten sowie Daten zu Belastungen und den Auflagern ein. Deformation and materials performance calculations and data about loads and supports are incorporated into a digital twin.

Sensoren liefern kontinuierlich Daten

Ein zweiter Vorteil: Der stetige Fluss an Messwerten, der das Modell mit dem realen Objekt verbindet, erlaubt die kontinuierliche Nachkalibrierung des digitalen Zwillings. So wie die echte Brücke mit der Zeit Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen unterliegt, wird die Alterung auch am Computer simuliert. Beginnt beispielsweise die Brücke zehn Jahre nach ihrer Errichtung, sich um fünf Zentimeter durchzubiegen, wird dies auch im digitalen Zwilling registriert und eingerechnet. »Die Software prognostiziert zugleich, welche negativen Folgen sich zukünftig durch die Alterung für die gesamte Brücke ergeben können«, erklärt Thomas Titscher aus dem Team. Ebenso kann das System anhand der Messdaten ermitteln, welche Veränderungen an anderer Stelle für die Durchbiegung verantwortlich waren.

Es ist sogar möglich, virtuelle Sensoren – also digitale Zwillinge von Messfühlern – im Computermodell zu installieren, welche die Brücke dort überwachen, wo gar keine realen Sensoren installiert sind. »Die Prognosefähigkeit eines Modells ist der entscheidende Qualitätsmaßstab«, so Unger. Ihr digitales Modell verifizieren die Forscher*innen, indem sie ihre Laborbrücke gezielt bestimmten Belastungen aussetzen und überprüfen, ob die Reaktionen in der Realität und am Computermodell übereinstimmen.

Überschaubarer Aufwand, geringe Kosten

»Im Labor funktioniert die Technik bereits sehr gut«, sagt Unger. »Jetzt müssen wir sie noch praxistauglich machen.« Sie soll die Begehungen vor Ort nicht vollständig ersetzen, sie aber weniger häufig erforderlich machen.

Der Aufwand für die Programmierung des virtuellen Modells und die Installation der Sensoren wäre dann bei einem marktreif entwickelten System überschaubar, die Technik insgesamt kostengünstig. Per Computer könnten Brückenbetreiber im Fall der Fälle eine elektronische Warnung erhalten. Gute Voraussetzungen also für mehr Sicherheit in der Überwachung baulicher Infrastrukturen. —

Sensors provide continuous data

Another advantage is that the constant flow of measured data, which connects the model with the real object, allows the digital twin to be continuously recalibrated. Just as the real bridge is subject to wear and fatigue over time, the ageing process is also simulated by the computer. If, for example, the bridge begins to sag by five centimetres ten years after it was built, this is recorded and included in the digital twin. “At the same time, software predicts the negative consequences ageing may have for the entire bridge in the future”, explains Thomas Titscher from the team. The system can also use measurement data to determine which changes elsewhere were responsible for a deflection.

It is even possible to install virtual sensors, i.e. digital twins of sensors, in the computer model that monitor the bridge in places where no actual sensors are installed. “The predictive power of a model is the key quality benchmark”, says Unger. The researchers verify their digital model by exposing their laboratory bridge to specific loads and check whether the reactions match reality in the computer model.

Manageable effort, low cost

“The technology already works very well in the laboratory”, says Unger. “Now we have to apply it to real life.” It should not completely replace on-site inspections but should make them less frequent.

The effort involved in programming the virtual model and installing the sensors would then be manageable for a system developed to market maturity, and the technology as a whole would be cost-effective. Bridge operators can then receive an electronic warning via computer if necessary. These are good prerequisites for more safety in the monitoring of building infrastructure. —

Umwelt Environment

Wie gelangt Mikroplastik in die Umwelt?

How does microplastic enter
the environment?



Millionen Tonnen an Plastikmüll gelangen jedes Jahr in die Umwelt, wo Sonne, Wind und Gezeiten sie zu Mikroplastik zersetzen.

Millions of tons of plastic waste end up in the environment where sun, wind and tides decompose them into microplastics every year.



Mikroplastik ist überall, im Wasser, in der Luft und im Boden. Zu den genauen Eintragspfaden gibt es jedoch nur Schätzungen. Eine neue Messmethode der BAM liefert zusammen mit den weltweit ersten Referenzmaterialien für Mikroplastik verlässliche Daten.

Microplastic is everywhere, in water, in the air and in the soil. However, the precise entry pathways are only estimated. A new measuring method developed by BAM provides reliable data together with the world's first reference materials for microplastic.



Mikroplastik treibt in Ozeanen, Seen, Flüssen und Bächen. Es lässt sich in Böden, der Luft und tierischen Organismen nachweisen. Schätzungen besagen, dass jedes Jahr viele Millionen Tonnen weltweit in die Umwelt gelangen. Die gesundheitlichen Folgen sind noch ungeklärt.

Die winzigen Partikel entstehen, wenn Kunststoffprodukte achtlos weggeworfen und von Sonne, Wind oder Gezeiten zersetzt werden. Sie sind aber auch als Produktzusätze in Zahnpasta und Kosmetika enthalten. Zum Großteil werden diese zwar von Kläranlagen herausgefiltert, können aber in geringen Mengen ebenfalls in die Umwelt gelangen. Auch der Abrieb von Autoreifen und synthetische Fasern, die sich beim Tragen von Textilien lösen, zählen zu Mikroplastik.

Ein schnellerer Nachweis

»Es besteht in Deutschland ein gesellschaftlicher Konsens darüber, das Aufkommen von Mikroplastik in der Umwelt zu verringern«, sagt Ulrike Braun. »Allerdings wissen wir noch immer sehr wenig darüber, welche Eintragspfade besonders relevant sind. Vorhandene Studien beruhen auf Schätzungen oder Hochrechnungen, die sich wiederum auf sehr wenige exakte Messungen stützen.«

Die Chemikerin hat mit ihrem Team an der BAM ein neuartiges Nachweisverfahren für Mikroplastik entwickelt.

Dass die Kunststoffpartikel überhaupt so schwer zu erfassen sind, liegt nicht nur an ihrer geringen Größe – sie messen einen Tausendstel bis maximal einen Millimeter. Sie sind auch schwer aufzufahren.

Microplastic is drifting in oceans, lakes, rivers and streams. The particles can be found in soil, air and animal organisms. It is estimated that many millions of tonnes are released into the global environment every year. The health consequences are still unclear.

The tiny particles are created when plastic products are carelessly thrown away and degraded by sun, wind or tides. They are also contained in toothpaste and cosmetics as product additives. Although most of them are filtered out by wastewater treatment plants, small amounts can be released into the environment. Microplastics also include scuff off car tyres and synthetic fibres that abrade from textiles being worn.

Faster detection

“There is a social consensus about reducing the occurrence of microplastics in the environment”, says Ulrike Braun. “However, we still know very little about which entry pathways are particularly relevant. Existing studies are based on estimates or projections, which in turn are based on a very few exact measurements.”

The chemist Braun and her team at BAM have developed a novel detection method for microplastics.

The fact that plastic particles are so difficult to detect is not only due to their small size – they range from a thousandth to a maximum of one millimetre. They are also difficult to detect. “A few particles can float in water or be hidden among the millions of natural particles in a soil sample”, explains Braun.

Ulrike Braun (links) und Korinna Altmann haben eine Messmethode entwickelt, mit der sich erstmals auch Mikroplastik, das durch den Abrieb von Autoreifen entsteht, erfassen lässt.

Ulrike Braun (left) and Korinna Altmann have developed a measuring method that can detect microplastics resulting from scuff from car tyres for the first time.

»Einige wenige Partikel können in 1.000 Litern Wasser schweben oder unter den Millionen natürlichen Partikeln einer Bodenprobe versteckt sein«, erläutert Braun.

Bisherige Verfahren arbeiten überwiegend mit Spektrometern und sind sehr aufwendig: Die entnommenen Wasser- oder Bodenproben müssen in chemischen Verfahren oder mit Enzymen ein bis vier Wochen aufbereitet werden; dabei können Kontaminationen oder Verluste entstehen. Überhaupt nicht erfasst werden Partikel, die kleiner als ein Hundertstel Millimeter sind – also gerade jenes Mikroplastik, das im Verdacht steht, schädlich für Organismen zu sein.

Beim neuen Messverfahren der BAM hingegen entfällt die aufwendige Präparation. Die Proben können gleich untersucht werden: Sie werden erhitzt, die entstehenden Gase mittels eines zusätzlichen Extraktionsschrittes in einen Gaschromatografen überführt und anschließend in einem Massenspektrometer auf ihre Bestandteile analysiert. Eine Messung dauert höchstens drei Stunden und sie kann auch aller kleinste Mikroplastikpartikel auffinden.

Erstmals ist es mit der Methode möglich, auch den Abrieb von Autoreifen zu erfassen. Schätzungen besagen, dass gerade diese Form von Mikroplastik etwa die Hälfte des gesamten Vorkommens in der Umwelt ausmacht. »Entscheidend ist, dass wir mit der Methode viel schneller und umfangreicher Daten erheben können, um so Aufschluss über die tatsächlichen Eintragspfade zu erhalten«, so Ulrike Braun.

Weltweit die ersten Referenzmaterialien für Mikroplastik: unverzichtbar für exakte Messwerte.

Rechts oben: Kunststoffe bestehen aus Polymeren, langen, sich wiederholenden Molekülketten.

The world's first reference materials for microplastics – they are indispensable for accurate measurements.

Top right: Plastics consist of polymers with long, repeating chain molecules.

Previous methods mainly use spectrometers and are rather time-consuming. Water or soil samples have to be prepared in chemical processes or using enzymes for one to four weeks, which can lead to contamination or losses. Particles smaller than a hundredth of a millimetre cannot be detected at all, and it is these microplastics that are suspected of being harmful to organisms.

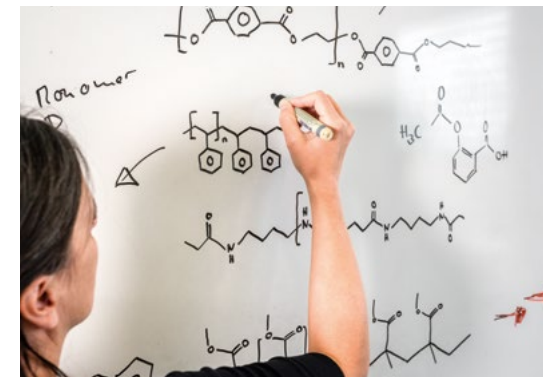
BAM's new measurement method, however, eliminates the need for expensive preparation. The samples can be examined immediately: they are heated, the resulting gases are transferred to a gas chromatograph by an additional extraction step and are then analysed for their components in a mass spectrometer. A measurement takes a maximum of three hours and can detect even the tiniest microplastic particles.

This method enables the chemists to record the abrasion of car tyres for the first time. It is estimated that just this form of microplastics accounts for about half of the total occurrence in the environment. "The key factor is that the method enables us to collect data much more quickly and comprehensively to obtain information about the actual entry pathways", says Ulrike Braun.



»Wir können mit unserer Methode viel schneller und umfangreicher Daten erheben, um so Aufschluss über die tatsächlichen Eintragspfade zu erhalten.«

“Our method enables us to collect data much more quickly and comprehensively to obtain information about the actual entry pathways.”



Die Firma Gerstel hat aus dem patentierten Verfahren der BAM ein Messgerät entwickelt, das inzwischen in mehreren deutschen und europäischen Labors und sogar in Südkorea zum Einsatz kommt.

Unscheinbares weißes Pulver

Ergänzt wird die Messtechnik durch eine Entwicklung der BAM, die auf den ersten Blick viel unscheinbarer wirkt als das hochmoderne Messinstrument, aber ebenso unverzichtbar ist, um aussagekräftige Daten zu gewinnen: weißes Pulver in kleinen, braunen Glasflaschen. Es sind die weltweit ersten Referenzmaterialien für Mikroplastik.

Hergestellt hat sie Brauns Kollegin Korinna Altmann. »Referenzmaterialien sind unerlässlich, damit Labore ihre Messgeräte kalibrieren und die unterschiedlichen Methoden validieren können. Erst so lässt sich einschätzen, ob die Instrumente präzise arbeiten, und die gelieferten Daten lassen sich zueinander in Beziehung setzen, um daraus später Bewertungen abzuleiten«, so die Chemikerin.

Referenzmaterialien für Mikroplastik herzustellen, ist sehr komplex. »Man benötigt dafür materialwissenschaftliche Expertise und sehr spezielle Geräte, wie sie so nur an sehr wenigen Instituten

The Gerstel company has developed a measuring instrument from BAM's patented method which is now used in several German and European laboratories and even in South Korea.

Inconspicuous white powder

The measuring technology is supplemented by a BAM development which at first glance appears much less inconspicuous than the ultra-modern measuring instrument but is just as indispensable for obtaining meaningful data: white powder in small, brown glass bottles. These are the world's first reference materials for microplastics.

It was produced by Braun's colleague Korinna Altmann. "Reference materials are essential for laboratories to calibrate their measuring instruments and validate the different methods. This is the only way to assess whether the instruments work precisely and the data supplied can be correlated with each other and be evaluated later", says the chemist.

Producing reference materials for microplastics is a very complex procedure. "It requires expertise in materials science and very special

vorhanden sind«, erklärt Korinna Altmann. »Um etwa ein Referenzmaterial für Polyethylen herzustellen, genügt es keineswegs, eine beliebige Plastiktüte zu zerkleinern. Denn unklar ist, woraus genau die Tüte bestand, in welchem Alterungszustand sie sich befand.« Referenzmaterialien aber müssen exakt definierte Substanzen, homogen und stabil sein und von einer ganz bestimmten Größenverteilung.

Als Ausgangsmaterialien verwendet Korinna Altmann größere Pellets aus Kunststoff, deren Zusammensetzung genau bekannt ist.

Da Polymere bei Raumtemperatur gewöhnlich weich und biegsam sind, lassen sie sich jedoch nicht einfach zermahlen. »Wir kühlen sie unter Zugabe von flüssigem Stickstoff auf minus 196 Grad Celsius herab, dann werden sie steif und brüchig. Anschließend zerkleinern wir sie in mehreren Arbeitsschritten in einer Kugelmühle«, so Altmann.

Die so erhaltenen »Fraktionen« werden dann sorgfältig gemischt und in kleine Glasflaschen abgefüllt. Die Wissenschaftlerin prüft mit einem Partikelmessgerät, dass sich in jedem Gefäß eine genau definierte Menge der Substanz mit einem ganz bestimmten Größenspektrum befindet. Die Zusammensetzung muss zudem chemisch stabil sein, auch über längere Zeiträume, damit das Referenzmaterial sinnvoll zum Kalibrieren von Messgeräten verwendet werden kann.

Mikroplastik, künstlich gealtert

Inzwischen bietet die BAM als einziges Institut Referenzmaterialien zu den fünf häufigsten Mikroplastikarten an. Dazu gehören Polyethylen und Polypropylen, aus denen Tüten und Lebensmittelverpackungen bestehen, sowie Polystyrol, aus dem etwa transparente Obstschalen gemacht sind. Außerdem Polyethylenterephthalat, das

equipment that is available at only a very few institutes”, explains Korinna Altmann. “It is by no means enough to shred any plastic bag to produce a reference material for polyethylene for example because it is not clear exactly what the bag consisted of or what state of ageing it was in.

Reference materials, however, must be precisely defined substances, be homogeneous and stable and of a very specific size distribution.

Korinna Altmann uses larger plastic pellets as starting materials, the composition of which is accurately known.

Since polymers are usually soft and flexible at room temperature, they cannot be easily ground. “We cool them down to minus 196 degrees Celsius by adding liquid nitrogen, then they become stiff and brittle. Then we grind them in several steps in a ball mill”, says Altmann.

The »fractions« thus obtained are then carefully mixed and filled into small glass bottles. The scientist uses a particle size measuring device to check if there is a precisely defined amount of the substance with a very specific size spectrum in each vessel. The composition must also be chemically stable, even over long periods of time, so that the reference material can be used for calibrating measuring instruments.

Microplastic, artificially aged

BAM is now the only institute to offer reference materials for the five most common types of microplastics. These include polyethylene and polypropylene, which are used to make bags and food packaging, and polystyrene, which is employed to make transparent fruit bowls, for example. Also polyethylene terephthalate, which is used for beverage bottles, and finally polyamide, a plastic typical for mechani-

für Getränkeflaschen verwendet wird, und schließlich Polyamid, ein Kunststoff, der bei mechanisch stark belasteten Materialien wie Fischernetzen und Angelschnüren zum Einsatz kommt.

Diese fünf Referenzmaterialien bietet die BAM auch in gealtertem Zustand an: Dazu werden die Polymere vor dem Zermahlen in einem Bewitterungsschrank einer erhöhten Temperatur sowie starkem UV-Licht ausgesetzt. Sie altern so künstlich in kurzer Zeit, wie sie es sonst in der Natur unter dem Einfluss von Sonne und Wetter tun würden.

Die neue Messmethode und die Referenzmaterialien der BAM sind unverzichtbare Ergänzungen, betont Ulrike Braun. »Beides gehört zusammen: Erst die Referenzmaterialien erlauben es uns, die in Laboren gewonnenen Daten einzuordnen, zu vergleichen und zu bewerten. Das wiederum ist die Voraussetzung dafür, dass die Wissenschaft der Gesellschaft und der Politik die Grundlage liefern kann, auf der wirksame Vermeidungsstrategien und Grenzwerte diskutiert werden können.« —

cally highly stressed materials such as fishing nets and fishing lines. BAM also offers these five reference materials in an aged condition. For this purpose, the polymers are exposed to an elevated temperature and strong UV light in a weathering device before being ground. They age artificially in a much shorter time than they would otherwise do in nature under the influence of sun and weather.

The new measuring method and BAM's reference materials are indispensable additions, emphasises Ulrike Braun. "They belong together. Only the reference materials allow us to classify, compare and evaluate the data obtained in laboratories. This in turn is the prerequisite for science to provide society and politicians with the basis on which effective avoidance strategies and limiting values can be discussed." —

Das nach dem patentierten Verfahren der BAM von der Firma Gerstel entwickelte Messgerät ist inzwischen in zahlreiche Länder verkauft. Rechts: Das besonders feine Sieb.
The measuring instrument developed by Gerstel Company according to BAM's patented method has now been sold in numerous countries. Right: The extra fine sieve.



Umwelt Environment

Dem Geheimnis der schwarzen Pilze auf der Spur

On the trail of the secret of black fungi



Links: Bearbeitet mit einer Genschere entwickeln schwarze Pilze pinke, orange oder weiße Mutanten.

Rechts: Die Mikroorganismen können Solaranlagen besiedeln und deren Lichtausbeute beeinträchtigen.

Left: Processed with genetic scissors, black fungi develop pink, orange or white mutants.

Right: The microorganisms can colonise solar systems and impair their light yield.



Schwarze Pilze schädigen wertvolle Baudenkmäler, besiedeln Photovoltaikanlagen und können Infektionen auslösen. Biozide erweisen sich nicht selten als wirkungslos. Ein BAM-Team erforscht die Genetik der Mikroben, um neue Gegenstrategien zu entwickeln.

Black fungi damage valuable architectural monuments, colonise photovoltaic systems and can cause infections. Biocides often prove to be ineffective. A BAM team investigates the genetics of the microbes in order to develop new counterstrategies.



Sie sind bewundernswerte Überlebenskünstler: Schwarze Pilze gedeihen auf nackten Oberflächen aus Glas, Marmor und Beton. Sie überdauern in der Sahara und im Sediment der Antarktis. Selbst auf den radioaktiv verseuchten Wänden des Unglücksreaktors von Tschernobyl sind sie zu finden.

Doch die Mikroorganismen haben auch eine sehr schädliche Seite: Sie zersetzen und verfärben die Oberflächen, auf denen sie anhaften. Sie dringen in den Stein kostbarer und kunsthistorisch bedeutsamer Bauwerke ein und bringen ihn von innen zum Bersten. Neuerdings besiedeln sie auch Photovoltaikanlagen und reduzieren deren Lichtausbeute. Und manche Arten können Tiere und Menschen infizieren.

Künstliche Wüsten als ideale Habitate

»Einerseits fasziniert es mich, zu sehen, wie sich das Leben auch unter widrigsten Bedingungen einen Weg bahnt«, sagt Julia Schumacher, Molekularbiologin der BAM. »Andererseits möchte ich dazu beitragen, dass die Schädigungen, die von diesen Organismen ausgehen, eingegrenzt werden.«

Schwarze Pilze gelten in der Sprache der Biologie als »extremotolerant«: Sie halten längere Zeit fast ganz ohne Nährstoffe und Wasser durch, selbst in Lebensräumen mit hoher Sonneneinstrahlung. »Ihre Strategie besteht in Zeiten der Knappheit darin, das Leben herunterzudimmen«, erklärt Schumacher. »Wenn es die Umweltbedingungen dann erlauben, werden sie wieder aktiv und beginnen mit der Zellteilung.«

They are admirable survivors. Black fungi thrive on bare surfaces of glass, marble and concrete. They survive in the Sahara and in Antarctic sediments. They can even be found on the radioactively contaminated walls of the disaster reactor in Chernobyl.

But these microorganisms also have a very harmful feature: they decompose and discolour the surfaces to which they adhere. They penetrate the stone of precious and architectural historically significant buildings and cause them to burst from the inside. Recently they have also started to colonise photovoltaic systems and reduce their light yield and some species can infect animals and humans.

Artificial deserts as ideal habitats

“It fascinates me to see how life finds its way even under the most adverse conditions on the one hand,” says Julia Schumacher, a molecular biologist at BAM. “However, I would like to contribute to limiting the damage caused by these organisms on the other.”

Black fungi are considered to be “extremotolerant” in the language of biology: they can survive almost completely without nutrients and water, even in habitats with high solar radiation for long periods of time. “Their strategy in times of scarcity is to ‘dim down’ their lives,” explains Schumacher. “If environmental conditions allow, they become active again and start cell division.”

Julia Schumacher faszinieren die Überlebenstechniken von schwarzen Pilzen – und sie sucht nach Lösungen, um das schädliche Potenzial der Mikroben einzugrenzen.
Julia Schumacher is fascinated by the survival techniques of black fungi – and she is looking for solutions to limit the microbes' harmful potential.



Das Team hat Gene für rot oder grün fluoreszierende Proteine in den Zellkern von *Knufia petricola* eingeschleust. Unter dem Mikroskop beginnen die Eiweißmoleküle zu leuchten.
The team has inserted genes for red or green fluorescent proteins into the nucleus of *Knufia petricola*. The protein molecules begin to glow under the microscope.

Durch den Klimawandel, die Versiegelung von Landschaften und das Wachstum der Städte erschafft der Mensch immer mehr »künstliche Wüsten«: Umgebungen, in denen es an Wasser und Schutz vor Sonnenlicht mangelt – ideale Habitate für die widerstandsfähigen Pilze, die lange ohne Feuchtigkeit auskommen und weniger tolerante Mikroorganismen verdrängen.

Sie besitzen besonders dicke, mit Melanin verstärkte Zellwände und sind außen von einer Schutzschicht aus Zuckermolekülen umgeben. Das charakteristische schwarze Pigment Melanin absorbiert das UV-Licht, wandelt es in Wärme um und verhindert so, dass die für alle Organismen gefährliche Strahlung in den Zellkern eindringen und dort tödliche Mutationen bewirken kann.

Das Risiko, Supermikroben heranzuzüchten

Auf Oberflächen aus Stein oder Glas gehen die Mikroorganismen häufig Lebensgemeinschaften mit Algen oder Cyanobakterien ein, mit denen sie einen schmierigen Biofilm bilden. Durch ihren Melaninpanzer und ihre äußere Schleimschicht schützen sie nicht nur sich, sondern auch ihre Partner vor UV-Licht und Austrocknung.

Humans are creating more and more »artificial deserts« as a result of climate change, the sealing of landscapes and the growth of cities. These are environments lacking water and protection from sunlight – ideal habitats for the resistant fungi that can survive for long periods without moisture and displace less tolerant microorganisms.

They have particularly thick cell walls reinforced with melanin and are surrounded on the outside by a protective layer of sugar molecules. The characteristic black pigment, melanin, absorbs the UV light, converts it into heat and thus prevents radiation, which is dangerous for all organisms, from entering the cell nucleus where it can cause deadly mutations.

The risk of cultivating super microbes

The microorganisms often form communities on exposed stone or glass surfaces with algae or cyanobacteria with which they form a streaky biofilm. Their melanin armour and outer slime layer protect not only themselves but also their partners from UV light and dehydration.

Bislang gibt es kaum ein wirksames Mittel gegen die schwarzen Pilze. »Wischt man den grünlich-schwarzen Film ab, in dem sie überleben, regt dies rätselhafterweise ihr Wachstum oft sogar noch an«, erklärt Julia Schumacher. So ist es heute noch unumgänglich, sie mit Bioziden und Fungiziden zu bekämpfen.

Jedoch kann der übermäßige Einsatz dieser Chemikalien dazu führen, dass sich Resistenzen gegen bestimmte Stoffklassen ausbilden: »Pilze wie auch andere Mikroorganismen reagieren sehr schnell auf Einflüsse von außen und passen sich an«, sagt Schumacher. »Es ist daher wichtig, die Wirksamkeit der wenigen vorhandenen Fungizide durch ihre sorgfältige Verwendung möglichst lange zu erhalten, um immungeschwächte Menschen bei Infektionen durch die Pilze schützen zu können. Auch gilt es zu vermeiden, dass wir unwillentlich Supermikroben heranzüchten – schwarze Pilze, die gegen alles resistent sind.«

Die BAM-Wissenschaftlerin und ihr Team setzen auf einen modifizierten Ansatz: Sie wollen die Genetik und damit die Biologie der Schädlinge erforschen und so ihre Schwachstellen finden. Lange Zeit galt es als so gut wie ausgeschlossen, genetische Untersuchungen an schwarzen Pilzen durchzuführen: Zu mächtig sind die schützenden Zellwände, zu langsam ist das Wachstum für ertragreiche Beobachtungen.

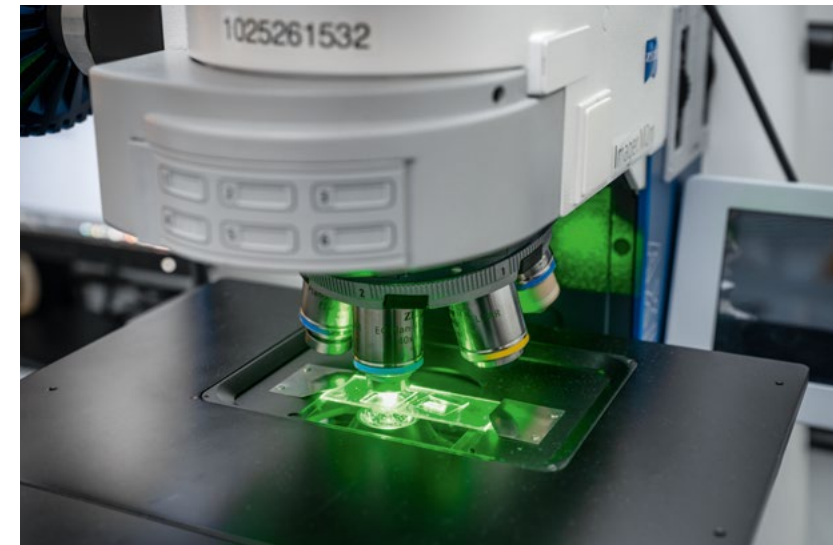
»Unter dem Fluoreszenzmikroskop können wir in Echtzeit beobachten, wie sich Zellen der schwarzen Pilze teilen und auf äußerliche Stressfaktoren reagieren.«

“Under the microscope we are able to observe in real time when cells of black fungi divide and how they react to external stress factors.”

So far there has hardly been any effective remedy against black fungi. “If you wipe off the greenish-black film in which they survive, this mysteriously often stimulates their growth,” explains Julia Schumacher. Thus, it is still essential to combat them using biocides and fungicides.

However, excessive use of these chemicals can lead to the development of resistance against certain substance classes. “Fungi, like other microorganisms, react very quickly to external influences and do adapt,” says Schumacher. “It is therefore important to maintain the efficacy of the few available fungicides for as long as possible by using them carefully in order to be able to protect immunocompromised people against fungal infections. It is also important to avoid unintentionally growing super microbes – black fungi that are resistant to everything.”

The BAM scientist and her team have been using a modified approach: they want to investigate the genetics and thus the biology of these pests and therefore find their weak points. For a long time it was considered almost impossible to carry out genetic investigations on black fungi: the protective cell walls are too powerful and the growth is too slow for high-yield observations.



Pinkfarbene Mutanten und fluoreszierende Proteine

Dem BAM-Team ist es als ersten Forscher*innen weltweit gelungen, Zugang zum Zellkern zu finden; dabei dient ihnen *Knufia petricola*, ein typischer schwarzer Pilz, der im Mittelmeerraum antiken Marmor besiedelt und schädigt, als Modellorganismus.

Mit einer Genschere können sie inzwischen schnell und effizient einzelne DNA-Abschnitte im Genom des Pilzes entfernen oder verändern, so etwa die Sequenz, die für die Synthese des Melanins verantwortlich ist. »Die manipulierten Stämme zeigten sich im Labor orangerot bis pinkfarben, weil sie nur noch Karotinoide bilden können. Als wir auch ein wichtiges Gen für die Synthese dieser Pigmente ausschalteten, entstanden weiße Varianten«, so Schumacher. »Nun können wir gezielt testen, ob die Mutanten empfindlicher gegen Biozide oder UV-Strahlung sind als die unveränderten Exemplare. Falls ja, könnte man etwa die Wirksamkeit von Bioziden durch die gleichzeitige Gabe von Inhibitoren der Melaninsynthese erhöhen, um Materialien besser gegen schwarze Pilze zu schützen. Der Ansatz selbst ist nicht neu, doch bisher fehlte es an Möglichkeiten, die genauen Zusammenhänge im Labor zu untersuchen.«

Auch ist es den BAM-Wissenschaftler*innen gelungen, Gene für rot oder grün fluoreszierende Proteine in den Zellkern von *Knufia petricola* einzuschleusen. Unter einem speziellen Mikroskop beginnen die gebildeten Eiweißmoleküle zu leuchten. »So können wir in Echtzeit beobachten, wann und wie sich die Zellen teilen, wie sie auf äußerliche Stressfaktoren, etwa Temperaturänderungen, UV-Licht oder Biozide, reagieren«, erklärt Schumacher.

Zugleich ist die Forschungsgruppe der BAM an einem internationalen Verbundprojekt beteiligt, das die Genome von 90 schwarzen Pilzen entschlüsseln und in eine gemeinsame Datenbank einspeisen

Pink mutants and fluorescent proteins

The BAM team is the first worldwide to have succeeded in gaining access to the cell nucleus of *Knufia petricola*, a typical black fungus which colonises and damages ancient marble in the Mediterranean region, and it now serves as a model organism.

Using genetic scissors, the researchers can quickly and efficiently remove or modify individual DNA segments in the fungal genome, for example, the sequence that is responsible for melanin synthesis. "The manipulated strains display an orange-red or pink colour in the laboratory because they can only produce carotenoids. When we also switched off an important gene for the synthesis of these pigments, white variants were produced," says Schumacher. "Now we can check whether the mutants are more sensitive to biocides or UV radiation than the unaltered specimens. If so, it might be possible to increase the efficacy of biocides by simultaneously administering melanin synthesis inhibitors in order to better protect materials against black fungi. The approach itself is not new, but so far there has been no possibility of investigating the specific relationships in the laboratory."

BAM scientists have also succeeded in introducing genes for red or green fluorescent proteins into the cell nucleus of *Knufia petricola*. The protein molecules formed begin to glow under a special microscope. "This allows us to observe in real time when and how the cells divide. How they react to external stress factors such as temperature changes, UV light or biocides," explains Schumacher.

The BAM research group also participates in an international integrated research project which aims to decode the genomes of 90 black fungi and feed the results into a joint database. "We are particularly interested in previously unknown genes for protective

will. »Wir sind besonders interessiert an bislang unbekannten Genen für Schutzfunktionen und die Synthese neuer Stoffwechselprodukte«, so Schumacher. Auch diese Kooperation zielt darauf, die »extremotoleranten« schwarzen Pilze besser zu verstehen und daraus eines Tages effektive Gegenstrategien zu entwickeln. Und um so den Gefahren, welche die Mikroorganismen für kunsthistorisch bedeutsame Bauwerke, für die menschliche Gesundheit und die Gewinnung von Solarstrom darstellen, wirksamer begegnen zu können. —



functions and the synthesis of new metabolic products”, says Schumacher. This cooperation also aims to gain a better understanding of the “extremotolerant” black fungi and one day develop effective counterstrategies based on this knowledge to protect buildings of architecturally historical significance, human health and solar power generation. —



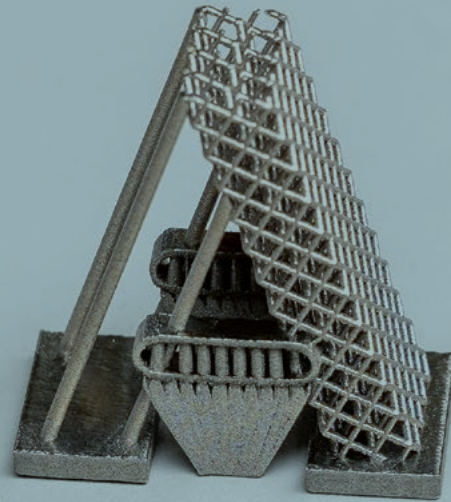
Julia Schumacher und ihre Kolleg*innen suchen gezielt nach Genen für den Stoffwechsel und die Schutzfunktionen der Pilze.

Julia Schumacher and her colleagues are specifically looking for metabolism genes and protective functions of fungi.

Material Materials

Alles im Blick: Sensoren überwachen 3D-Druck

Everything under control:
sensors monitor 3D printing



Links: Im 3D-Drucker lassen sich heute auch komplizierte metallische Strukturen realisieren.
Rechts: Simon Altenburg (links) und sein Kollege überwachen den Prozess mittels Sensorik.
Left: Today, 3D printers can be used to create complicated metallic structures.
Right: Simon Altenburg (left) monitors the process using sensor technology.



Immer mehr metallische Bauteile lassen sich heute im 3D-Druck fertigen. Doch dabei können unbemerkt Risse und Poren entstehen. Die BAM kombiniert mehrere sensorische Verfahren, um Fehler schon während der Fertigung zu erkennen.

More and more metallic components can now be produced using 3D printing. However, cracks and pores can occur unnoticed in this process. BAM combines several sensory methods to detect defects as early as in the production stage.

In der Industrie werden zunehmend auch metallische Bauteile im 3D-Verfahren additiv gefertigt: Gasturbinenschaufeln mit inneren Kühlkanälen, die besonders treibstoffsparend sind, Leichtbaukomponenten für Elektroautos oder Teile von Flugzeugtriebwerken.

So lassen sich räumliche Strukturen realisieren, die mit konventionellen Verfahren bisher nicht möglich sind – ohne dass dadurch die Kosten exponentiell steigen. Zugleich ist das Verfahren materialsparend, da das Werkstück nicht mehr aus einem Block gefräst wird, sondern Schicht um Schicht im 3D-Drucker in die Höhe wächst. Einzelstücke und Ersatzteile lassen sich bei Bedarf produzieren und müssen nicht mehr auf Lager gehalten werden. Bei älteren Maschinen können nicht mehr lieferbare Teile kurzfristig nachgebaut werden.

Lange Expertise bei zerstörungsfreier Prüfung

Gegenüber der traditionellen Serienfertigung ist jedoch besonders die Qualitätssicherung eine Herausforderung: Beim 3D-Druck kann es z. B. zu Porenbildungen und Rissen kommen. Wie lässt sich gewährleisten, dass etwa das Ersatzteil für eine Flugzeugturbine oder Kabinentür sicher ist? Bisher werden die Bauteile durch nachgelagerte zerstörungsfreie Methoden wie etwa die Computertomografie geprüft. Das Verfahren ist besonders für kleine und mittlere Unternehmen sehr kostspielig. Und je nach Metalllegierung lassen sich im CT nur Bauteile von einigen Millimetern Materialdicke wirklich sicher überprüfen.

»Unser Ansatz ist es, den Prozess selbst mit Sensorik zu überwachen. So lässt sich sofort feststellen, ob das Bauteil Defekte aufweist und der Vorgang notfalls abgebrochen werden muss. Bei Fertigungszeiten von teils mehreren Tagen und sehr hohen Betriebskosten des

In industry, metallic components have increasingly been manufactured using additive 3D processes: gas turbine blades with internal cooling ducts that are particularly fuel-efficient, lightweight components for electric cars or parts of aircraft engines.

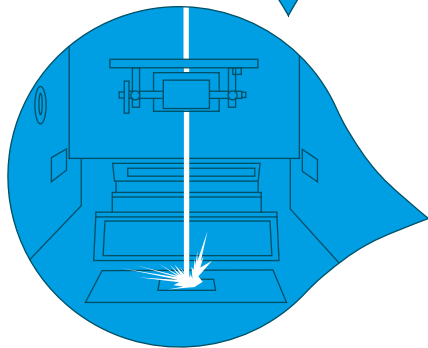
This allows the creation of spatial structures that has not been possible using conventional methods so far – without the simultaneous exponential skyrocketing of costs. At the same time, the process saves material since the workpiece is no longer milled from a block but grows layer by layer in the 3D printer. Individual pieces and spare parts can be produced on demand and no longer need to be kept in stock. Parts for older machines that are now unavailable can be produced at short notice.

Long expertise in non-destructive testing

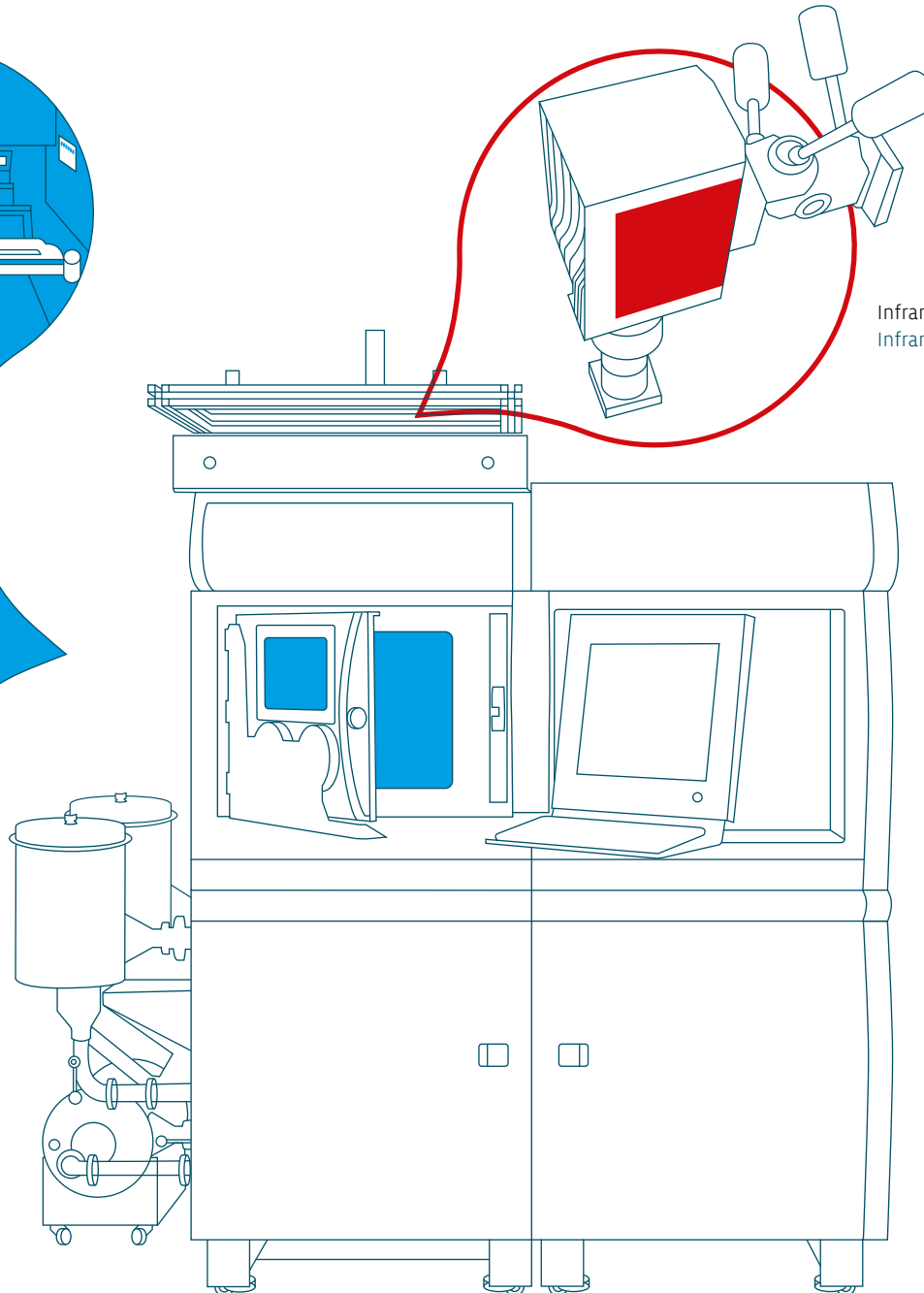
Quality assurance, however, is a particular challenge compared to traditional series production: 3D printing may be accompanied by pores and cracks. How can it be guaranteed that a spare part for an aircraft turbine or cabin door, for example, is safe? Until now, components have been tested using downstream non-destructive methods such as computed tomography. This procedure is rather expensive, especially for small and medium-sized companies, and, depending on the metal alloy, only components with a material thickness of a few millimetres can be reliably tested by CT.

“Our approach is to monitor the process itself using sensor technology. This makes it possible to see immediately whether the component has any defects and, if necessary, to stop the process. The potential savings are considerable when production times sometimes take several days and 3D printer operating costs are very high”, explains the physicist Simon Altenburg. BAM has many

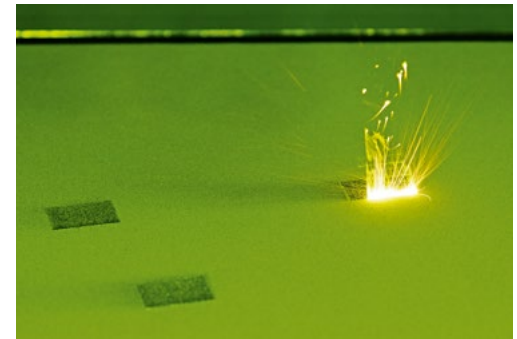
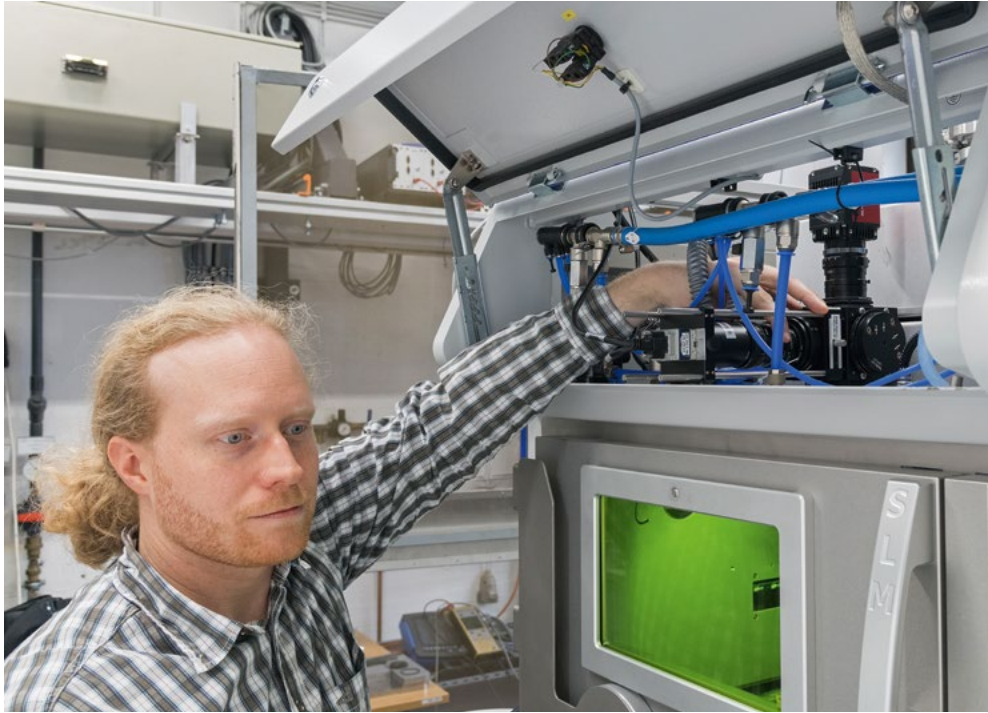
Metallpulver wird vom Beschichter
aufgebracht und glattgezogen.
Metal powder is deposited and
leveled by the recoater.



Laser belichtet selektiv das Pulver,
welches so verschmolzen wird.
Laser illuminates the powder
selectively, thereby fusing it.



Infrarot-Kamera überwacht den Prozess.
Infrared camera monitors the process.



Ein Laserstrahl schweißt bei über 1.000 Grad Celsius Metallpulver zusammen. Die Thermografie-Kamera schießt 3.000 Bilder pro Sekunde. So lassen sich Defekte rechtzeitig erkennen.

A laser beam welds metal powder together at over 1,000 degrees Celsius. The thermographic camera shoots 3,000 images per second allowing early detection of defects.

3D-Druckers sind die möglichen Einsparungen erheblich«, erklärt der Physiker Simon Altenburg. Die BAM besitzt seit vielen Jahrzehnten Erfahrung mit zerstörungsfreien Prüfmethoden. Diese Expertise wollen Altenburg und seine Kolleg*innen bei der additiven Fertigung von Metallteilen zum Einsatz bringen.

Beim sogenannten Pulverbettverfahren etwa tastet ein leistungsstarker und extrem fokussierter Laserstrahl eine dünne Schicht aus Metallpulver ab und folgt dabei der Form des späteren Bauteils. Dabei entstehen Temperaturen von über 1.000 Grad Celsius. Durch die Hitze wird das Metallpulver verflüssigt und zusammengeschweißt. Nach jedem Arbeitsgang kühlt die soeben gefertigte Schicht ab, die Plattform senkt sich um den Bruchteil eines Millimeters ab. Ein Beschichter, eine Art Rakel, trägt eine neue Schicht Metallpulver auf und der Prozess beginnt von vorn. So wächst das Bauteil Lage für Lage im 3D-Drucker in die Höhe.

Hinweise auf Risse und andere Fehlstellen

Das eigentliche Schweißen ist ein hochdynamischer Prozess: Der etwa ein Zehntel Millimeter breite Laserstrahl bewegt sich mit einem Meter pro Sekunde über die Pulverschicht. Das Schmelzbad – der Bereich, an dem sich das Metall unter der Hitze verflüssigt – erstarrt binnen weniger Tausendstel Sekunden.

Um den Prozess sensorisch zu überwachen, setzen Simon Altenburg und seine Kolleg*innen eine Thermografie-Kamera ein. Bis zu 3.000 Bilder kann sie pro Sekunde aufnehmen. »Die hochauflösende Kamera liefert uns wertvolle Informationen darüber, wie groß das Schmelzbad ist und wie schnell es abkühlt. So lassen sich Defekte erkennen. Jede Abweichung von der Norm ist ein Hinweis auf eine mögliche Schadstelle«, erklärt der Physiker. Eine zweite statische

decades of experience with non-destructive testing methods and Altenburg and his colleagues want to implement this expertise in the additive production of metals.

In the “powder bed process”, for example, a powerful and extremely focused laser beam scans a thin layer of metal powder following the shape of the component to be produced. The process generates temperatures of over 1,000 degrees Celsius which causes the metal powder to liquefy and weld together. After each work step, the layer that has just been produced cools down and the platform is lowered by a fraction of a millimetre. A coater applies a new layer of metal powder and the process starts all over again. In this way, the component grows in the 3D printer layer by layer.

Indications of cracks and other defects

The actual welding is an extremely dynamic process: the laser beam, which is about a tenth of a millimetre wide, moves at one metre per second over the powder layer. The molten pool – the area at which the metal liquefies under the heat – solidifies within a few thousandths of a second.

Simon Altenburg and his colleagues use a thermographic camera to monitor the process: it can record up to 3,000 images per second. “The high-resolution camera provides us with valuable information about how large the molten pool is and how quickly it cools down. This allows defects to be detected. Any deviation from the standard is an indication of a potentially defective area”, explains the physicist. Another static camera monitors the entire powder bed. “Here, too, thermal signatures such as cooling rates, give us indications of potential defects, cracks or porous areas.”

Kamera hält das gesamte Pulverbett im Blick. »Auch hier geben uns thermische Signaturen, das sind z. B. Abkühlraten, Hinweise auf mögliche Fehlstellen, auf Risse oder poröse Stellen.«

Das Ziel des Teams ist es, mehrere sensorische Verfahren zu kombinieren, um so in Echtzeit ein möglichst umfassendes Bild des entstehenden Werkstücks zu gewinnen. »Durch Datenfusion erhalten wir deutlich mehr an Information«, so Altenburg, »auch wenn es noch eine Herausforderung ist, die anfallenden Datenmengen im Terabytebereich zu verarbeiten.«

Acht Sensoren pro Millimeter

So soll auch die Wirbelstromprüfung zum Einsatz kommen, im Flugzeug- und Automobilbau ein etabliertes Verfahren, um Defekte oder Risse in metallischen Oberflächen aufzuspüren. Das Team will dazu Sensoren am Beschichter, der nach jedem Schweißvorgang über das gesamte Pulverbett fährt und eine neue Metallpulverschicht aufträgt, anbringen. Acht der winzigen Messeinheiten wollen die BAM-Wissenschaftler*innen pro Millimeter platzieren. Da es so eng liegende Sensoren für die angestrebte Prüfbreite von mehreren Zentimetern noch nicht gibt, müssen sie eigens im Projekt entwickelt werden, ebenso die Technik, mit der sie Daten registrieren. »Das Wirbelstromverfahren ist gerade in der additiven Fertigung sehr vielversprechend, weil man hier während der Fertigung auch das Innere des Bauteils prüfen kann, obwohl sich die Prüftechnik sonst eigentlich nur für Oberflächen eignet«, so Simon Altenburg. Denn dieses Innere wächst ja aus Oberflächen, die nach und nach übereinandergeschichtet werden.

Auf dem Gelände des Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science, einem Industrie- und Wissenschaftscampus im Norden

The goal of the team is to combine several sensory methods to obtain an image as inclusive as possible of the resulting workpiece in real time. "Data fusion provides us with significantly more information", says Altenburg, "even though it is still a challenge to process the data volumes involved in the terabyte range."

Eight sensors per millimetre

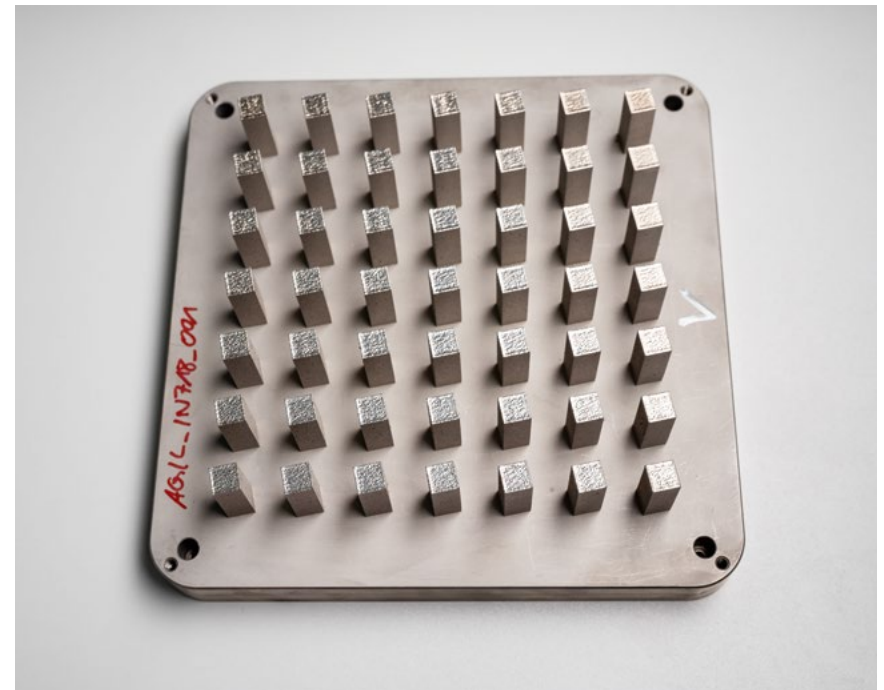
Eddy current testing, an established method in aircraft and automotive engineering, will be also used to detect defects or cracks in metallic units. To this end, the team wants to attach sensors to the coater which travels across the entire powder bed after each welding pass and applies a new layer of metal powder. The BAM scientists want to place eight of the tiny measuring units per millimetre. Since no such tightly positioned sensors are available for the desired testing width of several centimetres, they must be specially developed in the project, as does the technology with which they can record data. "The eddy current method is very promising, especially in additive manufacturing, because it can test the inside of the components during production, although the testing technology is normally only suitable for surfaces", says Simon Altenburg.

BAM is conducting research on the development of a low-cost thermographic camera which can be installed directly in 3D printers together with the company Optris, a manufacturer of thermographic cameras, on the premises of the Werner von Siemens Centre for Industry and Science which is an industry and science campus in northern Berlin and one of Berlin's future locations. "As a result, the innovative sensor technology will become affordable for small and medium-sized companies", explains Simon Altenburg. The knowledge gained in the research laboratory will be transferred to

Berlins und einer der Zukunftsorte der Stadt, forscht die BAM zusammen mit der Firma Optris, einem Hersteller von Thermografie-Kameras, an der Entwicklung einer preisgünstigen Thermografie-Kamera, die direkt in 3D-Druckern verbaut werden kann. »Auf diese Weise wird die innovative Sensortechnik auch für kleinere und mittlere Unternehmen erschwinglich«, erklärt Simon Altenburg. In der interdisziplinären Atmosphäre des Siemens-Campus sollen die im Forschungslabor gewonnenen Erkenntnisse in die industrielle Praxis überführt werden. So lässt sich in Zukunft gewährleisten, dass Einzelstücke und Ersatzteile, die im 3D-Druck aus Metall gefertigt werden und so belastbar sind wie herkömmliche Bauteile, auch sicher sind. —

industrial practice in the interdisciplinary atmosphere of the Siemens campus. In the future, 3D printing will ensure that individual pieces and spare parts made of metal and as resilient as conventional components will be safe. —

Prüfkörper aus dem 3D-Drucker
Test samples from the 3D printer



A microscopic image showing a dense collection of nanoparticles. The particles are primarily rectangular or square in shape, with some appearing as thin, needle-like structures. They are distributed across the field of view, with a higher concentration in the center. The color palette is a range of oranges, from light yellow-orange to deep, dark brown, suggesting different material compositions or perhaps the way light interacts with the particles at this scale.

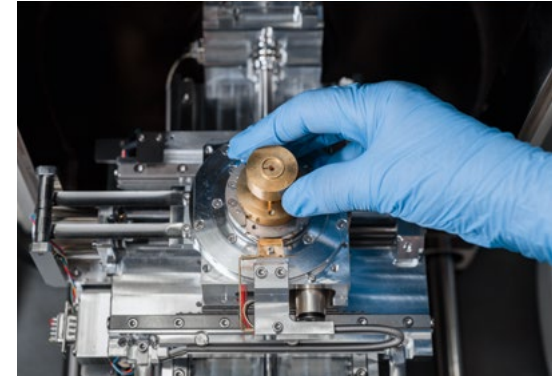
Material Materials

Nanopartikel: die Vermessung des Unsichtbaren

Nanoparticles: measuring the invisible

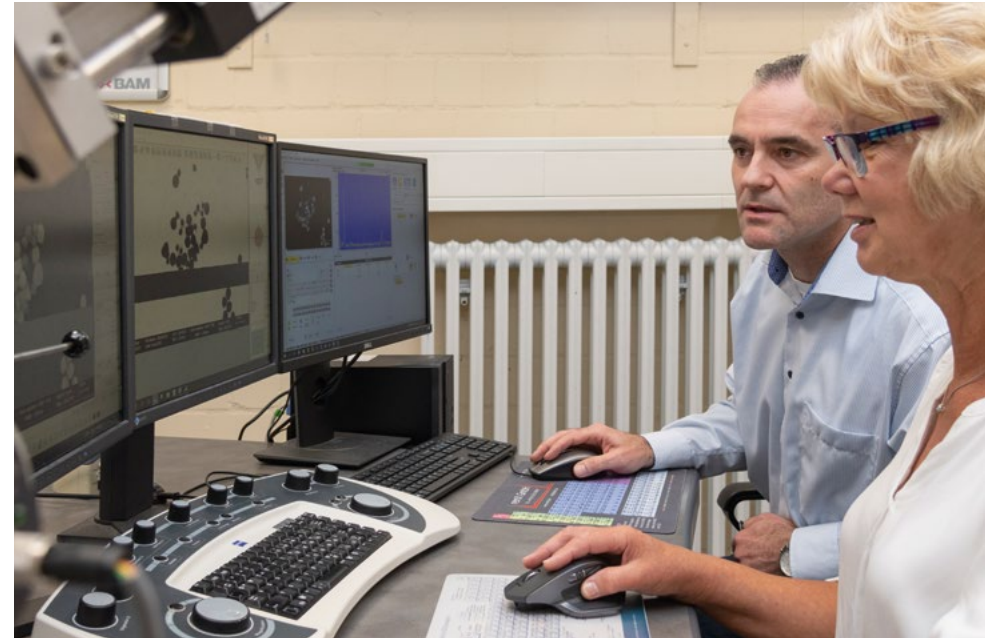
Gestapelt wie Bücher (links): Erst unter dem Elektronenmikroskop (rechts) zeigt sich die erstaunliche Welt der Nanopartikel.

Stacked like books (left): the amazing world of nanoparticles only becomes visible under the electron microscope (right).



Nanopartikel sind in immer mehr Dingen des Alltags enthalten. Noch nicht vollständig bekannt sind jedoch ihre Wirkungen auf Mensch und Umwelt. Die BAM koordiniert ein großes EU-Projekt zu ihrer grundlegenden Charakterisierung.

Nanoparticles can be found in increasing numbers of everyday objects. However, their effects on humans and the environment are not yet fully known. BAM is conducting research into their basic characterisation in a large EU project.



»Die Vermessung von Nanopartikeln ist die Voraussetzung dafür, um ihre toxikologischen Eigenschaften bewerten zu können.«

“The measurement of nanoparticles is a prerequisite for being able to reliably evaluate the toxicological properties of the substances.”

Jeder Tropfen enthält Tausende Partikel. Erst in über hunderttausendfacher Vergrößerung werden sie sichtbar.

Every single drop contains thousands of particles. They only become visible when magnified over a hundred thousand times.



Sie sind heute fast allgegenwärtig: Nanomaterialien kommen in Zahnpasta, Kleidung und Kosmetik vor, in Verpackungen, Handy-chips, Wandfarben und Flugzeugteilen. Sogar in Lebensmitteln und Medikamenten können sie enthalten sein.

Das Wort »Nano« stammt vom griechischen nanos für Zwerg. Und tatsächlich sind die einzelnen Partikel so winzig, dass sie weder mit dem menschlichen Auge noch mit einem herkömmlichen Lichtmikroskop zu erfassen sind. Erst unter dem Rasterelektronen-mikroskop werden sie sichtbar: Sie messen per Definition 1 bis 100 Nanometer, also zwischen einem Millionstel bis einem Zehn-tausendstel Millimeter. Jedes Staubkorn ist dagegen ein Gigant.

Der Vorteil der Kleinheit

Worin aber liegt der Vorteil der Zwergenhaftigkeit? Warum zerkleinert die chemische Industrie immer mehr altbekannte Substanzen wie Titandioxid, Silber oder Siliziumdioxid zu Kleinstpartikeln und fügt sie ihren Produkten zu?

»Die Kleinheit hat einen entscheidenden Vorteil«, erklärt Dan Hodoroaba, Physiker und Nano-Experte an der BAM. »Eben weil sie so winzig sind, besitzen Nanopartikel ein besonders günstiges Verhältnis von Oberfläche zu Volumen – sie bestehen ja fast nur aus Oberfläche. An der Oberfläche einer Substanz aber spielen sich die chemischen Reaktionen ab.«

Diese Oberfläche lässt sich gezielt bearbeiten und verändern – je nach gewünschter Funktion: Sie macht aus einem Nanomaterial mal eine Substanz, die Wassertropfen abperlen lässt oder die umgekehrt die Löslichkeit in Wasser verbessert. Sie lässt Bakterien in Funktionskleidung absterben oder verhindert, dass Hemden knittern. Andere Nanosubstanzen bringen Farbpigmente zum Leuchten oder begünstigen die Aufnahme von Medikamenten im menschlichen Organismus.

Today, they are almost universal: nanomaterials are present in toothpaste, clothing and cosmetics; in packaging, mobile phone chips, wall paints and aircraft parts. They can even be found in food and medicines.

The word "nano" is derived from the Greek nanos for dwarf. Indeed, the individual particles are so tiny that they cannot be seen with the human eye or even with a conventional light microscope. They only become visible under a scanning electron microscope: by definition, nanoparticles measure 1 to 100 nanometres, i.e. between one millionth and one ten thousandth of a millimetre. Every grain of dust is a giant in comparison.

The advantage of small size

But what is the advantage of being a dwarf? Why does the chemical industry comminute more and more well-known substances such as titanium dioxide, silver or silicon dioxide into tiny particles and why do manufacturers add them to their products?

"The small size has a key advantage", explains Dan Hodoroaba, BAM physicist and nano expert. "It is precisely because they are so tiny that nanoparticles have a particularly favourable surface-to-volume ratio – they consist almost entirely of surface, and it is on that surface where chemical reactions take place."

This surface can be directly processed and modified – depending on the desired function: it can turn a nanomaterial into a substance that causes water droplets to roll off or, conversely, improves solubility in water. It makes bacteria in functional clothing die or prevents shirts from wrinkling. Other nano-substances make colour pigments glow or promote the uptake of medicines in the human body.

Vor rund einem Jahrzehnt sind die Alleskönner erstmals auf den Markt gekommen. »Seitdem werden sie für immer mehr Anwendungen genutzt«, berichtet Dan Hodoroaba. »In die Euphorie über ihre Vielfalt mischten sich bald jedoch auch kritische Stimmen.« Denn noch ist nicht ausreichend verstanden, ob Risiken für Gesundheit oder Umwelt von ihnen ausgehen.

Die Europäische Kommission hat daher beschlossen, die Sicherheit von Nanomaterialien nach klaren Kriterien zu regulieren. In ihrem Auftrag haben sich sieben metrologische Institute des Kontinents zu einem Konsortium zusammengeschlossen. Auch die BAM ist neben dem französischen Laboratoire National de Métrologie, dem niederländischen Dutch Metrology Institute und dem Deutschen Institut für Normung an dem Ringversuch beteiligt.

»Wir haben den Auftrag, Standards und Verfahren für die exakte Vermessung und Charakterisierung von Nanopartikeln zu entwickeln«, erklärt Hodoroaba, der das gesamte Projekt koordiniert. »Die genaue Bestimmung der Größe und Form von Nanopartikeln ist die Voraussetzung dafür, dass später andere Partnerinstitute die toxikologischen Eigenschaften der Substanzen zuverlässig bewerten können. Am Ende geht es um Nano-Sicherheit, die sichere Verwendung von Nanomaterialien für uns alle.«

“These all-rounders first came onto the market about a decade ago. Since then, they have been used in more and more applications,” explains Dan Hodoroaba. “However, the euphoria over their diversity soon mingled with critical voices.” The reason being that whether they pose a risk to health or the environment it is not yet sufficiently well understood.

The European Commission has therefore decided to regulate the safety of nanomaterials according to clear criteria. Seven metrological institutes on the continent have been commissioned to join forces and form a consortium. In addition to the French Laboratoire National de Métrologie, the Dutch Metrology Institute of the Netherlands and the German Institute for Standardisation, BAM has also been involved in the interlaboratory comparison.

“Our mission is to develop standards and procedures for the accurate measurement and characterisation of nanoparticles,” says Hodoroaba, who has been coordinating the entire project. “The exact determination of the size and shape of nanoparticles is a prerequisite for other partner institutes to be able to reliably evaluate the toxicological properties of the substances later on. In the end, it is all about nano-safety, the safe use of nanomaterials for all of us.”

Mindestens 500 Nanoteilchen aus einem einzigen Tropfen vermisst Dan Hodoroaba. Speziell entwickelte Software errechnet daraus einen Mittelwert. Dan Hodoroaba measures at least 500 nanoparticles from a single drop. Specially developed software calculates an average value.



Tausende Partikel in einem einzigen Tropfen

Die BAM besitzt einen eigenen Forschungsschwerpunkt rund um das Thema Nano und besonders leistungsstarke Elektronenmikroskope. Wie aber vermisst man Objekte, die höchstens ein Zehntausendstel Millimeter groß sind?

»Allein die Präparation der Proben ist eine Herausforderung«, erläutert Hodoroaba. »In jedem Tausendstel Milliliter Flüssigkeit, den wir auf den Substratträger des Elektronenmikroskops aufbringen, sind bereits Tausende Partikel enthalten. Wenn sie agglomerieren, also verklumpen, würde das das Ergebnis verfälschen«, ergänzt seine Kollegin Sigrid Benemann.

Zweite Schwierigkeit: möglichst präzise Aufnahmen mit dem Gerät anzufertigen. Das Heranzoomen zu über hunderttausendfacher Vergrößerung gleicht einem Flug durch einen Mikrokosmos, bis sich die einzelnen Partikel auf dem Bildschirm immer klarer abzeichnen.

Die Auswertung der Bilder, das eigentliche Vermessen, erfolgt mit einem speziellen Computerprogramm. »Runde oder regelmäßig geformte Partikel sind leicht zu bestimmen«, erläutert Dan Hodoroaba. »Doch Nanopartikel können auch komplexe Formen und Strukturen annehmen: Sie können schroff gezackt sein wie ein Gebirge oder porös wie eine Kraterlandschaft. Manche gleichen länglichen Zigarren oder spitzen Doppelpyramiden. Sie können würfelförmig sein oder Plättchen ähneln, die sich wie Bücher übereinanderstapeln.«

Wo anfangen und wo aufhören mit dem Messen?

Bislang ist die genaue Auswertung der Bilder noch mit viel Handarbeit verbunden: Mit einem Cursor markiert Hodoroaba die maximale Ausdehnung der Partikel. Mindestens 500 Nanoteilchen aus einem einzigen Tropfen einer Substanz vermisst er auf diese Weise. Das Programm errechnet daraus eine Art Mittelwert.

Thousands of particles in a single drop

BAM has its own focus area on nanotechnology research and particularly powerful electron microscopes. But how can one measure objects that are no larger than a ten thousandth of a millimetre?

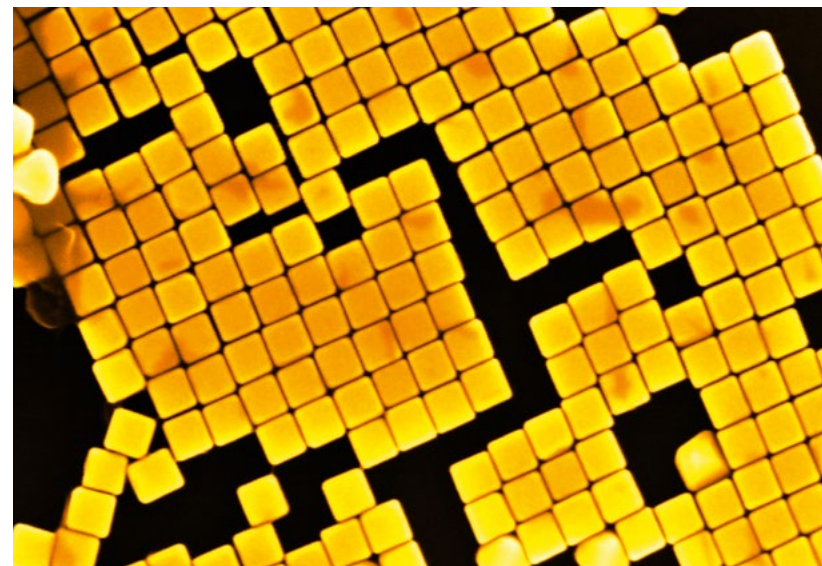
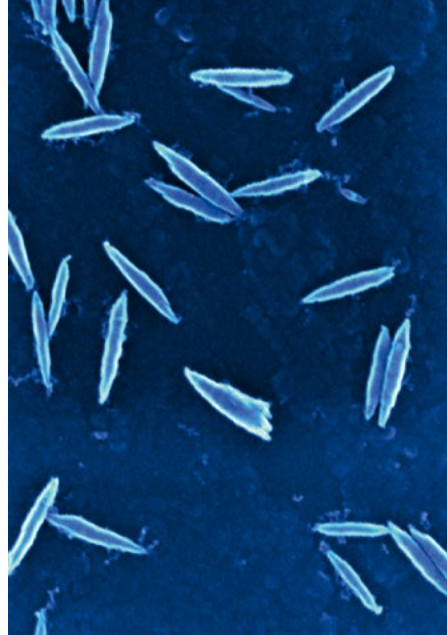
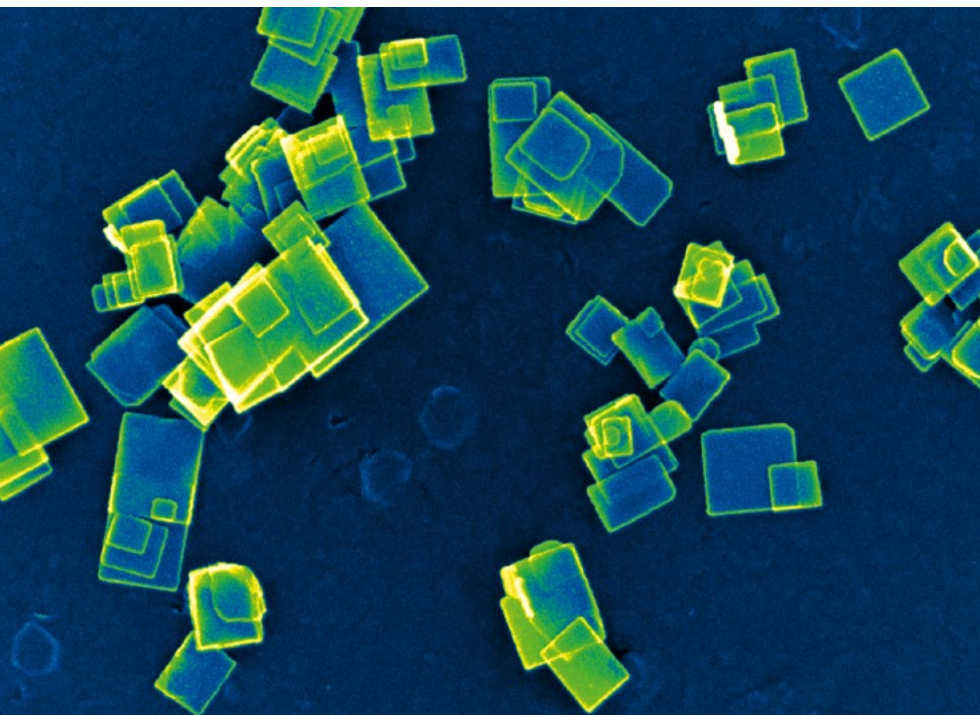
“The preparation of the samples alone is a challenge”, describes Hodoroaba. “Thousands of particles are already contained in every thousandth of a millilitre of liquid that we apply to the substrate carrier of the electron microscope. If they agglomerate, i.e. clump together, this would falsify the result”, adds his colleague Sigrid Benemann.

The second difficulty is to take images at the highest resolution as possible with the microscope. Zooming in at over a hundred thousand times magnification is like flying through a microcosm until the individual particles become increasingly larger and clearer on the screen.

The actual measurements to evaluate the images are done using dedicated software packages. “Round or regularly shaped particles are easy to measure”, says Dan Hodoroaba. “But nanoparticles can also take on complex shapes and structures: they can be jagged like a mountain range or porous like a crater landscape. Some resemble elongated cigars or pointed double pyramids. They can be cube-shaped or resemble platelets that pile up like books.”

Where to start and where to stop measuring?

Up to now, the accurate evaluation of the images has involved a lot of manual work: Hodoroaba can measure at least 500 nanoparticles in a single drop of a substance by marking the minimum and maximum size of the individual particles with the cursor, then the program calculates a kind of average value from this.



Messung mit Machine learning

In Zukunft soll der Computer diese Arbeit übernehmen. Hodoroaba und sein Team setzen auf Automatisierung und Machine learning: Mittels Algorithmen, die ein Grenobler Software-Unternehmen, ein weiterer Partner des EU-Konsortiums, entwickelt, soll der Rechner künftig bei jeder manuellen Auswertung lernen, wie man komplexe Nanopartikel vermisst.

Zudem entwickeln Mitglieder des Konsortiums zusammen mit der BAM Referenzmaterialien für elf Arten von Nanopartikeln: für Würfel, Plättchen, Nadeln und andere typische Formen. Zukünftig sollen sie Laboren weltweit ermöglichen, ihre Messgeräte und Messmethoden zu kalibrieren, wenn sie selbst Nanomaterialien charakterisieren. Sämtliche an der BAM entwickelten Verfahren und Methoden werden auch in internationale Normen einfließen.

Was aber macht den Reiz aus, in einer so extrem kleinteiligen Welt zu forschen? »Mit unserem Elektronenmikroskop können wir in den Bereich des Unsichtbaren vordringen,« erklärt Dan Hodoroaba. »Bis hin zu Strukturen, von denen man vorher nicht einmal ahnte, dass sie überhaupt existieren. Besonders schön ist es dabei, zu verstehen, wie Größe, Form, aber auch andere chemische Eigenschaften auf der Nano-Ebene mit den Makroeigenschaften eines Materials zusammenhängen: warum bestimmte Partikel Farben zum Leuchten bringen oder Wassertropfen von Autolack abperlen lassen. Das ist es, was mich als Physiker fasziniert.« —

Measurement based on machine learning

In future, the computer will fully take over this job. Hodoroaba and his team are focusing on automation and machine learning: every time a manual evaluation has been performed, the computer learns how to improve its measurement of complex nanoparticles using algorithms developed by a Grenoble-based software company, another partner in the EU consortium.

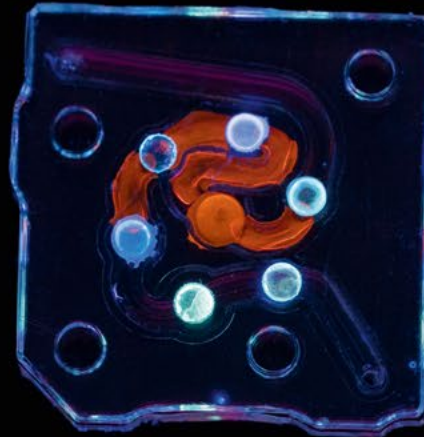
In addition, members of the consortium, together with BAM, are developing reference materials for eleven types of nanoparticles: cubes, platelets, needles and other typical shapes. In the future, these should enable laboratories worldwide to calibrate their measuring equipment and methods when they characterise nanomaterials themselves. All procedures and methods developed at BAM will also be included in international standards.

But what is the attraction in doing research in such an extremely small world? “We can penetrate into the realm of the invisible with our electron microscope”, explains Dan Hodoroaba. “All the way to structures one has never even suspected exist before. It is particularly challenging to understand how size, shape and other chemical properties at the nano-level are related to the macro-properties of a material. Why do certain particles make colours glow or make water droplets roll off car paint. This is what fascinates me as a physicist.” —

Plättchen, Nadeln, Würfel: Ihre Form macht Nanopartikel so vielfältig einsetzbar.
Platelets, needles, cubes: their shape makes nanoparticles so versatile.

Technologietransfer: ein mobiler Sensor für Sprengstoffe

Technology transfer: a mobile sensor
for explosives



Links: Auf einem Chip beginnen Farbstoffmoleküle zu leuchten, wenn sie mit Sprengstoff in Kontakt kommen.

Rechts: Knut Rurack und sein Team wollten einen mobilen Sprengstoffsensor entwickeln.

Left: Dye molecules on a chip begin to glow when they come into contact with explosives.

Right: Knut Rurack and his team wanted to develop a mobile sensor for explosives.



Das Sicherheitspersonal auf Flughäfen setzt Standgeräte ein, um Sprengstoffe zu detektieren. Die Apparate sind jedoch schwer und teuer. Zusammen mit der Industrie hat die BAM einen mobilen Breitbandsensor entwickelt, der nur zwei Kilogramm wiegt und in vielfältigen Szenarien zum Einsatz kommen kann.

Security personnel at airports uses benchtop devices to detect explosives. However, the devices are heavy and expensive. Together with industry, BAM has developed a mobile broadband sensor weighing only two kilograms which can be used in a wide range of scenarios.

Am Anfang stand eine Idee: einen tragbaren Sprengstoffsensor zu entwickeln, um öffentliche Plätze, Versammlungen, Verkehrsknotenpunkte und den Flugverkehr besser gegen Terrorgefahren zu schützen. »Als mein Kollege Reinhard Noske und ich vor einigen Jahren mit dem Projekt begonnen haben, gab es ein solches Gerät weltweit nicht«, sagt Knut Rurack. Lediglich die US-Armee besitzt einen mobilen Sensor für den Nachweis von TNT. An Kontrollpunkten auf Flughäfen etwa verwendet das Sicherheitspersonal im Verdachtsfall Standgeräte, die aufgrund ihres Gewichts nur stationär zum Einsatz kommen und zudem sehr kostspielig sind.

Zunächst war viel Grundlagenarbeit gefragt: Der Sensor sollte winzige Spuren von TNT aus der Umgebungsluft oder vom Trägermaterial einer Wischprobe detektieren können. Dafür galt es im Labor einen chemischen Nachweis zu entwickeln. Und später würden die BAM-Wissenschaftler alle Komponenten des Tests so miniaturisieren müssen, dass sie in ein Gerät von der Größe eines Handstaubsaugers passen würden.

Fluoreszierende Farbmoleküle als Nachweisstoffe

TNT löst sich nicht besonders gut in Wasser; Rückstände halten sich daher lange auf der menschlichen Haut. Von dort können sie leicht auf den Griff eines Koffers oder auf ein Kleidungsstück übergehen. Auf diese Spuren zielt ein Wischprobentest. Ein Sensor muss sie dann sicher detektieren.

Bald zeigte sich, dass der chemische Nachweis, den Rurack und Noske für ihr Gerät im Blick hatten, nicht empfindlich genug war. Sie mussten von vorn anfangen. Sie kamen auf die Idee, spezielle Farbstoffmoleküle als Indikator für TNT zu verwenden.

The whole story started with an idea to develop a portable explosives sensor in order to better protect public places, gatherings, traffic junctions and air traffic against terrorist threats. "When my colleague Reinhard Noske and I started the project a few years ago, there was no such device in the world," says Knut Rurack. Only the US Army has a mobile sensor that can detect TNT. Security personnel in checkpoints at airports, for example, use benchtop devices in suspicious cases which are only suitable for stationary applications due to their weight and expense.

Initially, a lot of fundamental work was needed. The sensor should be able to detect minute traces of TNT from the ambient air or from a strip used for wipe sampling. For this purpose, a chemical detection system had to be developed in the laboratory and BAM scientists had to miniaturise all components so that they would fit into a device the size of a hand-held vacuum cleaner.

Fluorescent dye molecules as detection agents

TNT does not dissolve easily in water and residues remain on the human skin for a long time. From there, they can be easily transferred to the handle of a suitcase or a piece of clothing. A wipe test focusses on these traces and a sensor must then be able to detect them reliably.

It soon became apparent that the chemical detection Rurack and Noske had in mind for their device was not sensitive enough, so they had to start from scratch. Their idea of using special dye molecules as indicators for TNT provided the solution to the problem.

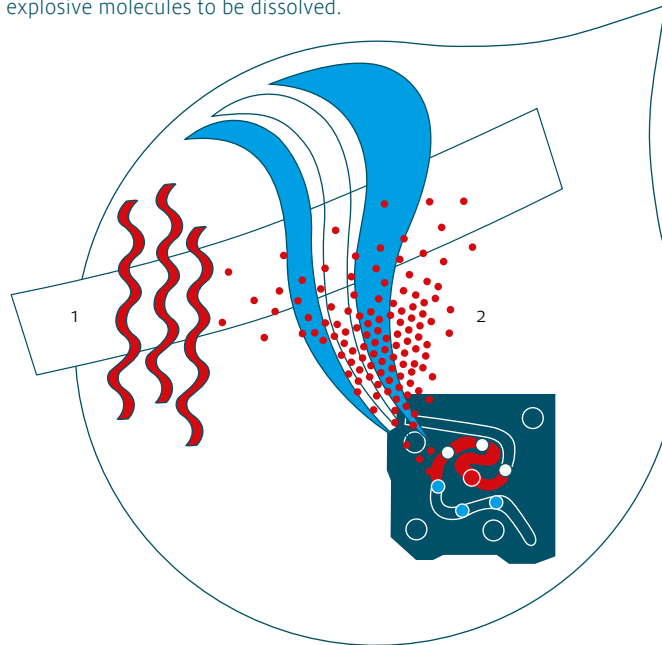


Das Prinzip sollte folgendermaßen funktionieren: Nach dem Wischtest wird das dabei verwendete Trägermaterial, ein Textilstreifen, in ein Heizmodul eingespannt und binnen Sekunden auf bis zu 170 Grad Celsius erwärmt. Dabei lösen sich eventuell vorhandene TNT-Moleküle aus dem Material. Ein Luftstrom saugt sie zu einem Chip, einer briefmarkengroßen Platte, auf dem in einer Vertiefung der Farbstoff platziert ist. Beide Substanzen reagieren miteinander – mit Konsequenzen für den Farbstoff: Er ändert sein Fluoreszenzverhalten. Bestrahlt man ihn mit einer Lichtquelle, leuchtet er schwächer. Eine Fotodiode registriert die Veränderung und löst ein elektronisches Signal aus. Der Sensor gibt eine eindeutige Meldung, eine rote Warnanzeige wird aktiviert: Der Test auf TNT ist positiv.

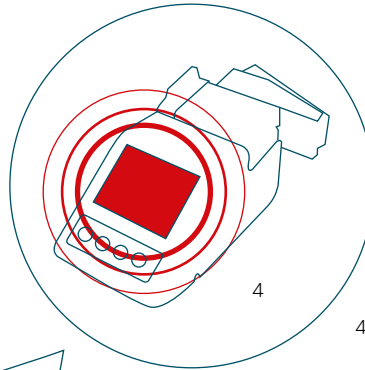
The principle works as follows. After the wipe test, the carrier material, which is a small strip of textile, is clamped into a heating module and heated up to 170 degrees Celsius within seconds. Any TNT molecules present are released from the material during this process. A stream of air sucks them onto a chip, a plate the size of a postage stamp, where the dye is placed in a small cavity. The two substances react with each other and the outcome is that the dye changes its fluorescence behaviour. If it is irradiated with a light source, it glows less strongly in the presence of TNT. A photodiode detects the change and triggers an electronic signal. The sensor gives a clear message: a red warning signal is activated showing the test for TNT is positive.

Nicht größer als eine Briefmarke: Der Chip des Sensor-Prototypen kann vier Sprengstoffklassen nachweisen.
No larger than a postage stamp: the chip of the sensor prototype can detect four classes of explosives.

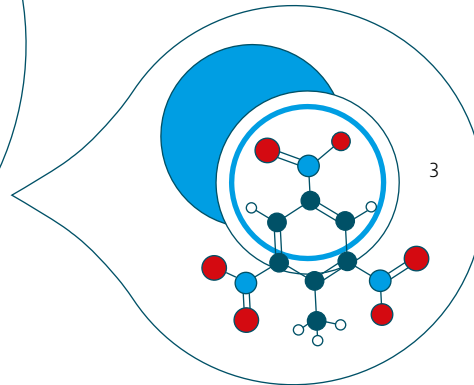
- 1 Trägermaterial einer Wischprobe wird auf bis zu 170 Grad Celsius erwärmt. Dabei lösen sich vorhandene Sprengstoffmoleküle.
Carrier material on a wipe sample is heated to 170 degrees Celsius. This causes the available explosive molecules to be dissolved.



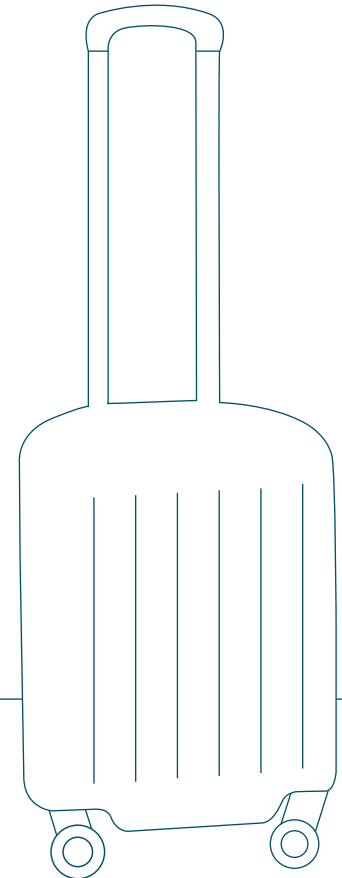
- 2 Ein Luftstrom saugt die Moleküle zu einem Chip.
An air flow sucks the molecules onto a chip.



- 4 Eine Fotodiode registriert die Veränderung und löst ein elektronisches Signal aus.
A photodiode detects the change and triggers an electronic signal.



- 3 Der Farbstoff ändert sein Fluoreszenzverhalten.
The dye changes its fluorescence behaviour.



Vier Nachweise in einem Gerät

Soweit die Theorie. 2012 waren die BAM-Forscher so weit, dass der chemische Nachweis im Labor funktionierte. Nun kam die Herausforderung: Sie mussten alle Komponenten so verkleinern, dass sie in ein handliches Gerät passen würden.

Inzwischen präsentierten sie ihre Idee auf mehreren Workshops. Die Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG aus Reutlingen, ein Entwickler und Produzent von Detektionssystemen für Kampfmittel, Altlasten und archäologische Erkundungen, wurde auf die Entwicklung der BAM aufmerksam und äußerte Interesse an einer Kooperation. »Wir haben in dem Projekt eine große Chance gesehen«, so Thomas Himmler, der Geschäftsführer. »Die Detektion eines Sprengkörpers direkt über den enthaltenen Gefahrstoff war innovativ. Wir erhoffen uns jetzt von dem Einstieg in diese neue Technologie die Erschließung eines ergänzenden Marktsegmentes, das durch stetiges Wachstum gekennzeichnet ist.«

Nach den Wünschen von Institut Dr. Foerster sollte der Sensor aber nicht nur TNT, sondern alle vier relevanten Sprengstoffklassen nachweisen können, die bei Anschlägen weltweit zum Einsatz kommen, darunter Plastik- und Düngemittelsprengstoff.

Four detections in one device

So much for the theory. The BAM scientists were far enough ahead in 2012 that the chemical detection in the laboratory worked. Now the challenge came: they had to reduce all components to fit into a hand-held device.

In the meantime, they presented their idea at several workshops. The Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG from Reutlingen, a developer and producer of detection systems for explosive ordnance, contaminated sites and archaeological investigations, learned about BAM's achievement and expressed their interest in a cooperation. "We saw a great prospect in this project," says managing director Thomas Himmler. "The detection of an explosive device directly via the hazardous material contained was innovative. We hope that the entry into this new technology will open up a complementary market segment which is under constant growth."

Accordingly, the Institut Dr. Foerster's intentions are that the sensor should be able to detect not only TNT, but all four relevant classes of explosives used in terrorist attacks worldwide, including plastic and fertilizer explosives.

»Als wir mit unserer Arbeit begonnen haben, gab es ein solches Gerät weltweit nicht – lediglich die US-Armee besitzt einen mobilen Sensor für den Nachweis von TNT.«

"When we started, there was no such device in the world – only the US Army has a mobile sensor that can detect TNT."

»Wir standen plötzlich vor der Herausforderung, vier verschiedene Nachweise auf einem Chip von anderthalb mal anderthalb Zentimetern unterzubringen – und alle sollten nach demselben Prinzip der Fluoreszenzänderung funktionieren«, sagt Knut Rurack.

Als besonders kompliziert erwies es sich, ein Indikatormolekül für Ammoniumnitrat zu finden, aus dem Düngemittelsprengstoff gemischt wird. Die Substanz ließ sich nur indirekt über ein enthaltenes Stickoxid nachweisen. Um dieses wiederum aus der Wischprobe zu lösen, war eine starke Säure erforderlich, die anfangs alle übrigen Komponenten auf dem Chip zersetzte.

Ein Cocktail aus Farbstoffen und Gelen

Eine der letzten Hürden: jeweils einen Mikroliter der Nachweissubstanzen in kleinen Näpfen auf dem Chip zu platzieren. »Die Flüssigkeit, ein Cocktail aus Farbstoffen, Gelen und weiteren Zusatzstoffen, muss hinreichend viskos sein, um mit den Sprengstoffmolekülen zu interagieren. Sie darf aber nicht so flüssig sein, dass sie ausläuft, wenn man den Sensor in der Hand dreht«, erklärt Rurack.

Schließlich wurde auch dieses Problem gelöst. 2016 erwarb die Firma Foerster von der BAM die Patente für die Nachweischemie. Das Unternehmen hatte sich entschlossen, zusammen mit der BAM den Breitbandsensor bis zur Marktreife zu bringen. Foerster war für das Design und die Elektronik des Geräts zuständig; Rurack und sein Team perfektionierten letzte Details.

Aus einer Idee hat sich so in Partnerschaft mit der Industrie ein marktreifes Produkt entwickelt. »Als Wissenschaftler erlebt man es selten, dass sich aus der Grundlagenforschung ein echter Technologietransfer ergibt«, so Knut Rurack.

“We were suddenly faced with the challenge of accommodating four different sensing units on a chip measuring one and a half by one and a half centimetres – and all of them had to function according to the same principle of a change in fluorescence,” says Knut Rurack.

Finding an indicator molecule for ammonium nitrate, from which fertilizer explosives are made, proved to be particularly complicated. This substance could only be detected indirectly via the nitrogen oxide it contains and a strong acid was required to dissolve this from the wipe sample, which initially decomposed all other components on the chip.

A cocktail of dyes and gels

One of the last hurdles was placing one microlitre of each of the indicator substances in the miniature cavities on the chip. “The liquid, a cocktail of dye, gels and other additives, must be sufficiently viscous to interact with the explosive molecules, but must not be so fluid that it leaks when one handles the sensor,” explains Rurack.

Finally, this problem was also solved. The Institut Dr. Foerster company acquired the patents for the detection method from BAM in 2016 and decided to develop the broadband sensor to reach market maturity together with BAM. Institut Dr. Foerster was responsible for the design and electronics of the device, while Rurack and his team perfected the last details.

An idea has thus developed into a marketable product in partnership with industry. “As a scientist, one seldom experiences a real technology transfer resulting from fundamental research,” says Knut Rurack.

Möglichst bald soll der mobile Breitbandsensor in den Handel kommen und kann dann in zahlreichen Szenarien Schutz bieten. Nicht mehr als zwei Kilogramm wiegt das handliche Gerät. Einige Sprengstoffe detektiert es bis zu einer Grenze von einem Nanogramm. Und er wird das Reisen und das öffentliche Leben in Zukunft sicherer machen. —

The mobile broadband sensor will be launched on the market as soon as possible and can then offer protection in a number of scenarios. The developed hand-held device weighs no more than two kilograms and can detect certain explosives down to one nanogram so making travel and public life safer in the future. —

Der mobile Sprengstoffsensor soll helfen, Flughäfen, öffentliche Plätze, Versammlungsorte und Verkehrsknotenpunkte sicherer zu machen.
The mobile sensor for explosives is designed to help make airports, public places, meeting places and traffic junctions safer.



Analytical Sciences Analytical Sciences

Smart und sicher: modulare Systeme für die Produktion von morgen

Smart and safe: modular systems
for the production of tomorrow

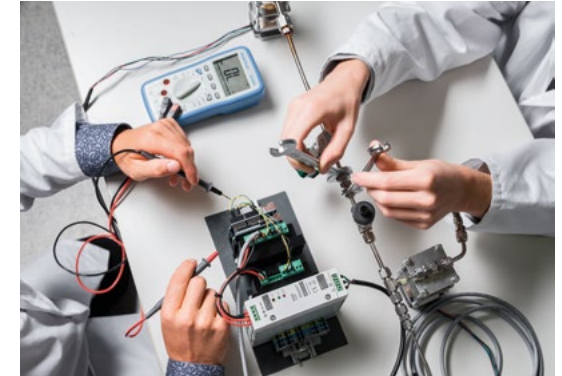


Links: Der Mini-Mischer soll die homogene Vermischung von Substanzen perfektionieren.

Rechts: Messungen an einer Steuerungseinheit

Left: The mini mixer is designed to optimise the homogeneous mixing of substances.

Right: Measurements on a control unit



Immer mehr Chemieunternehmen setzen auf Produkte der Spezialchemie. Bislang werden entsprechende Substanzen in fest installierten Produktionsanlagen hergestellt. Um sie künftig jedoch schneller, flexibler und zugleich sicher produzieren zu können, arbeitet die BAM an smarten Modulen.

More and more chemical companies are turning to speciality chemical products. Until now, such substances have been produced in specific permanent production plants. BAM researchers are working on networked modules aiming to produce these substances faster, more flexibly and at the same time safely.



Die Industrie stellt immer höhere Anforderungen an die Spezialchemie: Um Bedarfe flexibel und kosteneffizient bedienen zu können, sollen mit derselben Anlage möglichst viele Produkte »just in time« produziert werden. Die Digitalisierung macht dies möglich. Prozesse und -anlagen können optimiert und an veränderte Marktbedingungen angepasst werden. Dafür sind neue Methoden, Anlagen und Automatisierungstechniken gefragt: die modulare Produktion.

Schnelligkeit als entscheidender Wettbewerbsvorteil

Die einzelnen Module bilden dabei Prozessschritte ab: Dosierung, Mischung, Reaktion der Ausgangssubstanzen sowie ihre Aufarbeitung, Reinigung und die Qualitätskontrolle. »Für kleinere Mengen von Spezialchemikalien oder pharmazeutischen Grundstoffen können Standardbauteile nach dem Plug-and-Play-Prinzip zu optimalen Produktionseinheiten kombiniert werden«, sagt Martin Bornemann-Pfeiffer, Verfahrenstechniker und Prozessanalytiker an der BAM. »Produktmengen können dann der Nachfrage flexibel angepasst und neue Produktionsprozesse etabliert werden. Schnelligkeit ist dabei ein entscheidender Wettbewerbsvorteil.«

Ein weiterer Vorzug: Die smarten Module liefern Daten. »Diese Informationen lassen sich nach dem Prinzip des digitalen Zwillings nutzen, um die Produktion und alle Abläufe zu optimieren«, erklärt Klas Meyer, ebenfalls Prozessanalytiker. »Künftig könnte man sogar weitere Bereiche mit der Produktion vernetzen, etwa die Logistik innerhalb einer Firma, aber auch externe Unternehmen, die die Rohstoffe liefern, und andere Geschäftspartner. Am Ende würde eine Anlage selbst darüber entscheiden, wann welches Produkt sich am wirtschaftlichsten produzieren lässt.«

Industry places increasing demands on speciality chemicals and as many products as possible should be produced "just-in-time" in one and the same plant setup to be able to meet demand flexibly and cost-effectively. Digitalisation enables just that. Production processes and plants can be optimised and adapted to changing market conditions. However, this requires new methods, plant concepts and automation techniques, so modular production is the answer.

Speed is key to a competitive advantage

The individual modules model process steps. Dosing, mixing, reaction of the raw materials and their processing, cleaning and quality control. "According to the plug-and-play principle standard components will be combined into optimum production units for smaller quantities of special chemicals or pharmaceutical basic substances," says Martin Bornemann-Pfeiffer, BAM process engineer and process analyst. "Product quantities can then be flexibly adapted to current demand and new production processes can be established. Speed is key to a competitive advantage."

Another advantage is that the smart modules provide data. "The information can be used according to the principle of the digital twin to continuously optimise production and all processes," explains Klas Meyer, also a process analyst. "In the future, one could even connect other areas with production such as logistics within a company, other business partners and external companies supplying raw materials. In the end, a production environment would decide for itself when and what product can be produced most economically."

Martin Bornemann-Pfeiffer (links) und Klas Meyer wollen die Produktion von Spezialchemie flexibilisieren.
Martin Bornemann-Pfeiffer (left) and Klas Meyer want to make the production of speciality chemicals more flexible.

Mini-Mischer mit Hunderten Täfelchen

Für eine dieser smarten Einheiten haben die BAM-Wissenschaftler am Computer einen optimalen Mischer modelliert und anschließend im 3D-Verfahren ausgedruckt: Ihr Mischer ist eine etwa fünf Zentimeter lange Röhre aus Keramik mit einem Durchmesser von nur fünf Millimetern. Dieser dient nicht für die reale Produktion, sondern um im Labor Prozesse im kleinen Maßstab zu perfektionieren. Innen ist die Röhre mit Hunderten ineinandergeschachtelter Täfelchen bestückt. »Diese Täfelchen bewirken eine besonders homogene Vermischung von chemischen Ausgangssubstanzen, sodass am Ende immer ein Produkt von gleichbleibender Qualität entsteht«, so Martin Bornemann-Pfeiffer.

Die geringe Größe hat jedoch noch einen zweiten Grund: Die BAM-Forscher wollten den Mischer in einem Modul zusammen mit einem Kernspinresonanz-Spektrometer kombinieren. »Auf diese Weise können wir chemische Reaktionen in Echtzeit überwachen und analysieren. Wir erlangen so präzisere Informationen über den Prozess und können ihn jederzeit steuern.«

Parallel dazu simulierten die Wissenschaftler den idealen Ablauf einer Vermischung am Computer. Dann glichen sie die konkreten Daten des Kernspinresonanz-Spektrometers kontinuierlich mit ihrer Simulation ab. »So konnten wir kontrollieren, ob die Messungen mit unseren Modellen übereinstimmen und bei Abweichungen frühzeitig nach der Ursache suchen, etwa Ablagerungen auf den Täfelchen«, so Klas Meyer. »Auf diese Weise konnten wir rechtzeitig gegensteuern, bevor es zu einem Problem kam.« bertragen auf Anlagen im Realmaßstab wäre dies ein entscheidender Faktor, da Ausfallzeiten in der Spezialchemie sehr rasch immense Kosten nach sich ziehen.

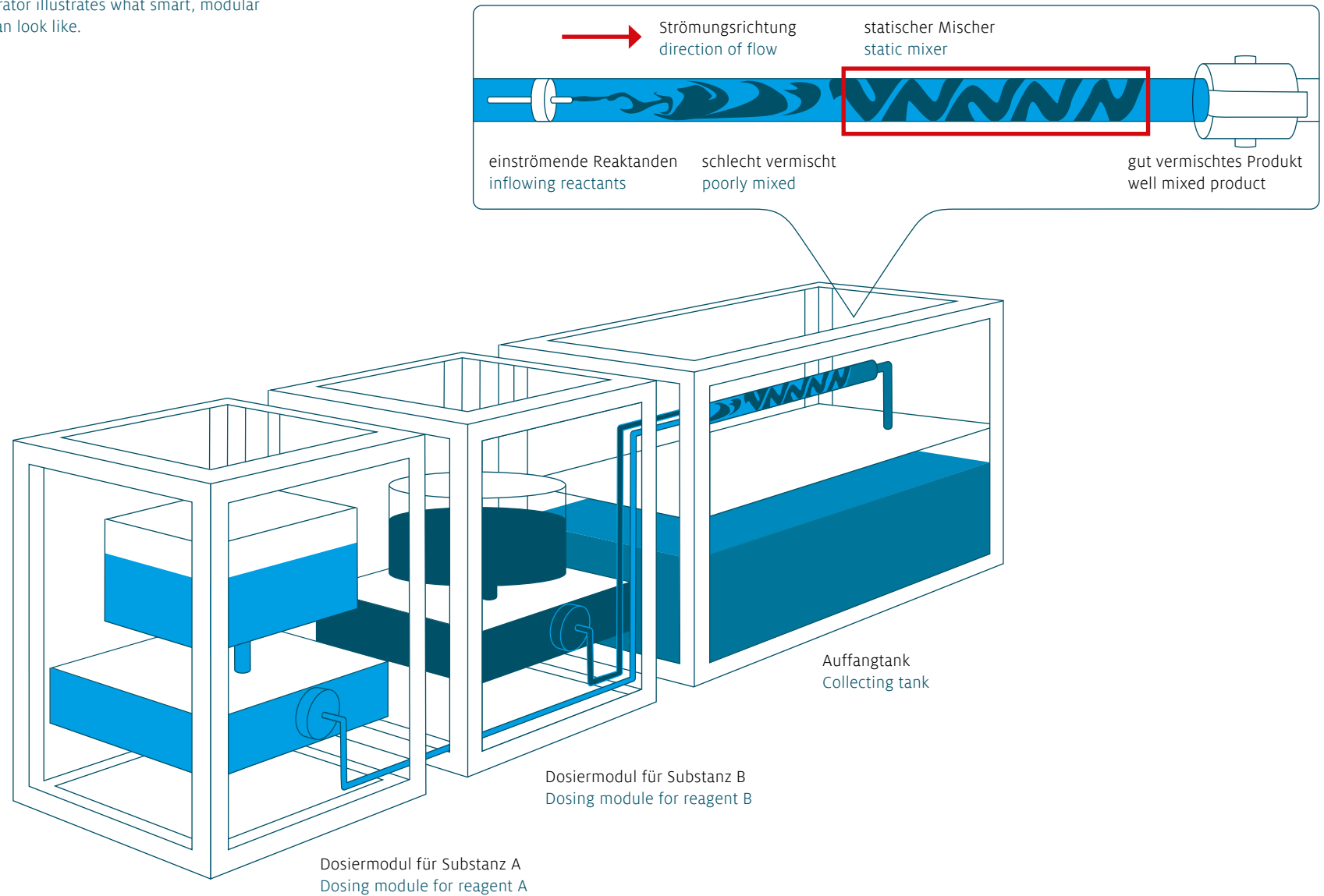
Mini mixer with hundreds of little plates

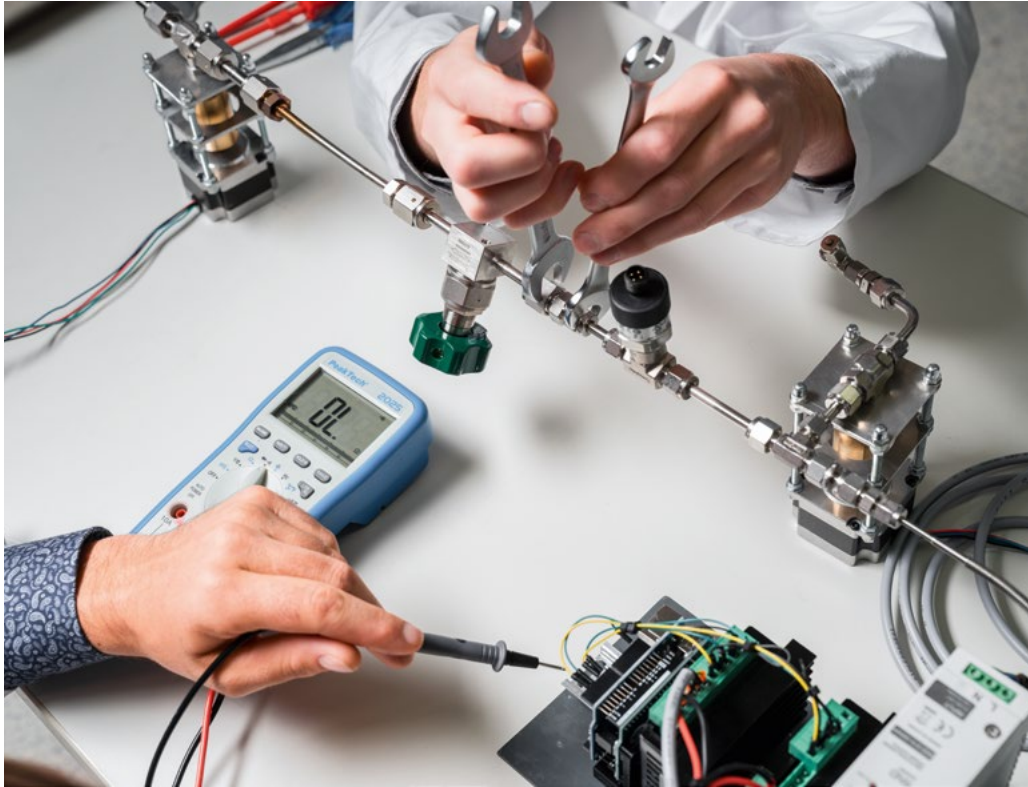
BAM scientists have modelled an optimum mixer on the computer for one of these smart units and then printed it out in 3D. Their mixer is an approximately five-centimetre-long ceramic tube with a diameter of only five millimetres. It is not used for mass production but for optimising small-scale processes in the laboratory. Inside, the tube is fitted with hundreds of little plates nested within each other. "These small plates produce a particularly homogeneous mixture of chemical raw materials so that in the end, a product of consistent quality is always produced," says Martin Bornemann-Pfeiffer.

The small size also has another purpose. BAM researchers wanted to combine the mixer with a nuclear magnetic resonance spectrometer in a module. "In this way we can monitor and analyse chemical reactions in real time. We obtain more precise information about the process and can control it at any time."

At the same time, the scientists simulated the ideal mixing process on the computer. Then they continuously compared the actual data from the nuclear magnetic resonance spectrometer with their simulation figures. "In this way, we were able to check whether the measurements were in agreement with our models and, in the event of deviations, to look for the cause at an early stage such as deposits on the little plates," says Klas Meyer. "This enabled us to take countermeasures in time before a problem occurred." If applied to full-scale production, this would be a decisive factor since downtime in speciality chemistry can very quickly cause immense costs.

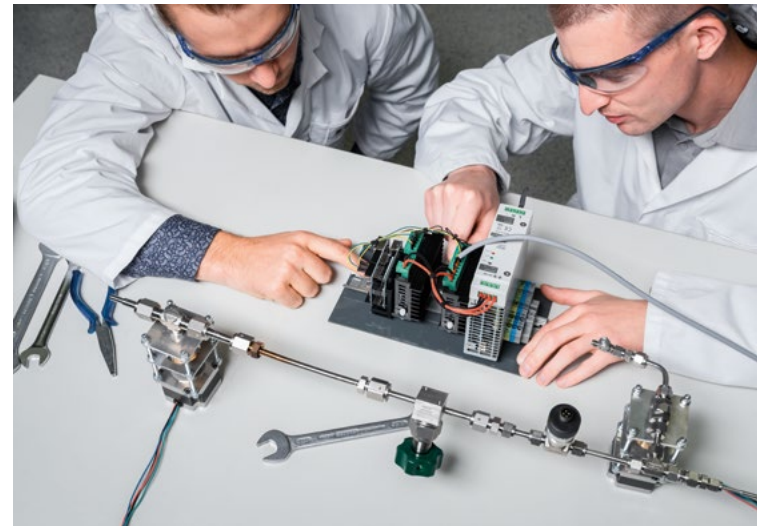
Der Demonstrator veranschaulicht, wie eine smarte, modulare Produktion aussehen kann.
The demonstrator illustrates what smart, modular production can look like.





»Wir können chemische Reaktionen in Echtzeit überwachen und analysieren. So erlangen wir präzisere Informationen über den Prozess und können ihn jederzeit steuern.«

“We can monitor and analyse chemical reactions in real time. Thus we obtain more precise information about the process and can control it at any time.”



Überwachung explosionsgefährlicher Substanzen

Das Team konnte das Kernspinresonanz-Spektrometer inzwischen zusammen mit einem Kooperationspartner aus der Industrie an einer großtechnischen Produktionsanlage im Realmaßstab testen. Es ging dabei um eine Reaktion, bei der ein unerwünschtes chemisches Nebenprodukt entsteht, das gewöhnlich durch den Einsatz von Methanol aufgelöst wird. Ziel war es, die exakte Dosierung des Methanols zu finden, das bei überschüssiger Verwendung das Endprodukt verunreinigen kann.

Zurzeit forscht das Team an einer »Einhausung«, einem Explosionsschutz für Reaktionen mit brennbaren Substanzen, der neben dem Kernspinresonanz-Spektrometer auch genug Platz bietet für zusätzliche optische Messmethoden wie Infrarot- und Raman-Spektroskopie. Die Kombination aus unterschiedlichen Methoden würde es ermöglichen, noch mehr Daten über den Produktionsprozess zu gewinnen.

Bis ein modulares Produktionssystem in der Industrie großflächig eingesetzt werden kann, ist allerdings noch weitere Forschungsarbeit zu leisten. »Es handelt sich um vollkommen neue Produktionsanlagen, zu denen es bislang wenig Erfahrungswerte gibt«, so Martin Bornemann-Pfeiffer. »Wir an der BAM besitzen die Expertise, um die Sicherheit solcher Prozesse und Anlagen zu überprüfen. Diese Kompetenz ist entscheidend, damit sich die chemische Industrie für die neuen Technologien öffnet«, ergänzt Klas Meyer. —

Monitoring in explosion hazardous environment

In the meantime, the team have been able to test the nuclear magnetic resonance spectrometer in a full-scale industrial production facility together with a cooperation partner from industry. The test involved a reaction in which an unwanted chemical by-product is produced, which is usually dissolved using methanol. The aim was to find the exact dosage of methanol which can contaminate the final product if used in excess.

The team is currently developing a »housing« for explosion protection in reactions with flammable substances. This housing, in addition to the nuclear magnetic resonance spectrometer, also offers space for additional optical measuring methods such as infrared and Raman spectroscopy. The combination of different methods would enable the capture of even more data about the production process.

However, more research is needed before a modular production system can be used in industry on a large scale. "These are completely new production setups for which there is little experience to date," says Martin Bornemann-Pfeiffer. "We have the expertise at BAM to verify the safety of such processes. This expertise is crucial for the chemical industry to embrace the new technology", adds Klas Meyer. —



The background of the slide is split diagonally from the bottom-left to the top-right. The upper-left portion is a solid blue color, and the lower-right portion is white.

morgen
tomorrow



Was bringt die
Zukunft?

What will the
future hold?

Junge Wissenschaftler*innen und Kolleg*innen aus unserer Ressortforschungseinrichtung beschäftigen sich in ihrer Arbeit täglich mit Fragen, die sich mit den globalen Herausforderungen unserer Zeit auseinandersetzen, und stellen so die Weichen für die Lebenswelt von morgen und eine sichere Zukunft.

In their work, young scientists and colleagues from our departmental research institute deal daily with global challenges of our time and set the course for tomorrow's living environment and a safe future.



Marcel Matthies
Industriemechaniker
Arbeitet in der Werkstatt
Seit 2012 an der BAM
[Industrial mechanic](#)
[Working in the workshop](#)
[At BAM since 2012](#)

Wie begegnen wir technologischen Innovationen?

How do we meet technological innovations?

Der technologische Wandel bringt stets neue Werkstoffe und Materialien hervor. Damit die Wissenschaftler*innen der BAM zur Energiewende und zu anderen innovativen Themen forschen können, fertigen meine Kolleg*innen und ich in der Werkstatt der BAM Prototypen, Probenkörper und Modelle aus diesen oft hochspeziellen und seltenen Werkstoffen. Dazu sind Präzision, Geschick und viel technisches Know-how gefragt. Durch ständige Fort- und Weiterbildungen sichern wir das hohe technologische Qualitätsniveau der BAM-Werkstatt und helfen so dabei mit, dass unsere Wissenschaftler*innen an der Zukunft arbeiten können.

Technological change produces new materials and substances all the time. My colleagues and I manufacture prototypes, test specimens and models from these often highly special and rare materials in the BAM workshop, which enables BAM scientists to conduct research on energy transformation and other innovative topics. This work requires precision, skill and extensive technical know-how. Our continuous training and further education ensure the high technological quality level in the BAM workshop and thus we can help our scientists in their work on the future.



Melissa Telong

Ingenieurin mit den Schwerpunkten
Bauchemie und -physik
Forscht zu nachhaltigen Baustoffen
Seit 2019 an der BAM
[Engineer specialising in construction
chemistry and physics](#)
[Researches into sustainable
building materials](#)
[At BAM since 2019](#)

Wie bauen wir in Zukunft?

How will we build in the future?

Forschung muss künftig die globale Nachhaltigkeit stärker im Fokus haben, einschließlich der Nutzung lokaler Rohstoffe und Materialien. Ich forsche mit meinen Kolleg*innen an der BAM zu Zementersatzstoffen und Betonkomponenten aus natürlichen Pflanzenresten und Lebensmittelabfällen wie z. B. Kakaoschalen. Sie könnten unter anderem in Afrika zur Anwendung kommen und dort Maßstäbe im nachhaltigen Bauen setzen. Denn sie würden dazu beitragen, das schädliche Klimagas CO₂ einzusparen, das bei der Produktion herkömmlicher Baustoffe in großen Mengen freigesetzt wird. Es wäre viel sinnvoller, stattdessen regionale Ressourcen zu nutzen und nicht immer Baustoffe aus anderen Teilen der Welt zu importieren.

Research will have to focus more on global sustainability in the future including the use of local resources and materials. Together with my colleagues at BAM I research on cement substitutes and concrete components made from natural plant residues and food waste such as cocoa shells. This could be applied in Africa and set standards in sustainable construction because that could help reduce the harmful greenhouse gas CO₂ released in large quantities from the production of conventional building materials. It would make much more sense instead to use regional resources everywhere and not always to import building materials from other parts of the globe.

Wie sieht die Arbeitswelt morgen aus?

What does the world of work look like tomorrow?

Unsere Gesellschaft ist durch Vielfalt und Diversität geprägt, das sollte sich auch in wissenschaftlichen Institutionen wie der BAM widerspiegeln – nicht zuletzt, weil vielfältige Perspektiven auch die Forschung voranbringen.

Ich arbeite mit vielen Kolleg*innen daran, Diversität und Gleichstellung auf allen Ebenen zu fördern. Die BAM machen schon heute viele unterschiedliche Menschen aus. Sie alle sollen sich gleichermaßen willkommen und akzeptiert fühlen: egal, in welchem Alter, ob mit geringen Deutschkenntnissen, körperlichen Einschränkungen, ob queer, mit Kopftuch oder ohne. Zugleich, das hat das Jahr 2020 gezeigt, wird unsere Arbeit in Zukunft noch stärker von der Digitalisierung geprägt sein. Daraus ergeben sich viele Spielräume für ein flexibles, agiles und selbstverantwortliches Zusammenarbeiten. Die wollen wir an der BAM nutzen und aktiv gestalten.

Our society is characterised by variety and diversity and scientific institutions such as BAM should reflect this – not least because diverse perspectives help advance research.

Together with many colleagues I work on encouraging diversity and equality at all levels. Many different people make up BAM and they should all feel equally welcome and accepted, no matter what their age, whether they have little knowledge of German, physical disabilities, they are gay, wear a headscarf or not. Also, as 2020 has shown, our work will be even more influenced by digitalisation in the future. This will create a wide scope for flexible, agile and self-responsible cooperation that we intend to use and actively shape within BAM.

Julia Sommer
Sozialwissenschaftlerin
Arbeitet in der Personalabteilung
Seit 2016 an der BAM
[Social scientist](#)
[Works in the personnel department](#)
[At BAM since 2016](#)





Marcus von der Au
Chemiker
Spezialisiert auf Spurenanalytik
Seit 2020 an der BAM
[Chemist](#)
[Specialising in trace analysis](#)
[At BAM since 2020](#)

Wie erkennen wir Schadstoffe frühzeitig?

How do we detect pollutants early?

In der Industrie werden fast täglich neue Substanzen entwickelt, um Innovationen zu ermöglichen. Am Ende ihrer Nutzung gelangen viele dieser Stoffe in die Umwelt und werden über die Nahrungskette von uns Menschen aufgenommen.

Ich entwickle in unserer Arbeitsgruppe eine Methode, um die Einträge möglicher Schadstoffe frühzeitig zu erkennen. Dazu nutzen wir einzellige Organismen, die ganz am Beginn der Nahrungskette stehen: Kieselalgen. Wir leiten sie in ein fast 10.000 Grad Celsius heißes Plasma und nehmen von ihnen eine Art chemischen Fingerabdruck. So können wir künftig viel schneller beurteilen, in welcher Menge bestimmte Substanzen in die Umwelt gelangen. Und das hilft uns als Gesellschaft, Grenzwerte festzulegen, mit denen wir künftig Menschen und Ökosysteme noch besser schützen können.

New substances are developed in industry almost daily to enable innovation. Many of these substances end up in the environment and are absorbed by us humans via the food chain.

In our working group I work on developing a method to detect the input of potential pollutants at an early stage. To do this, we use single-cell organisms that are at the very bottom of the food chain: diatoms. We introduce them on a single cell-basis into a plasma at a temperature of almost 10,000 degrees Celsius and take a kind of chemical fingerprint from them. This will enable us in the future to assess the quantities and effects of certain substances that are released into the environment much more quickly. That will help our society set critical values to protect people and ecosystems even better in the future.

Wie machen wir Brennstoffzellen sicher und nachhaltig?

How can we make fuel cells safe and sustainable?

Brennstoffzellen sind ein wichtiger Bestandteil der E-Mobilität und auch für Wasserstoffautos unverzichtbar. Bisher werden in ihnen große Mengen des teuren und seltenen Edelmetalls Platin verbaut. An BESSY II, einem Ringbeschleuniger für Elektronen in Berlin-Adlershof, forsche ich in einem interdisziplinären Team mit Kolleg*innen aus Chemie und Materialwissenschaft sowie Ingenieur*innen für die BAM zur »grünen Katalyse«: Ich untersuche alternative und umweltfreundlichere Materialien, die eines Tages vielleicht das Platin ersetzen können. Dadurch lassen sich hoffentlich schon bald Brennstoffzellen günstiger und zugleich nachhaltiger produzieren.

Fuel cells are an important component of e-mobility and are also indispensable for hydrogen cars. Up to now, they have used large quantities of the expensive and rare precious metal platinum. I am researching 'green catalysis' in an interdisciplinary BAM team of chemist, materials scientist and engineer colleagues at BESSY II, an electron accelerator ring in Berlin-Adlershof. I investigate alternative and more environmentally friendly materials that one day may be able to replace platinum. Hopefully this will soon make it possible to produce fuel cells more cheaply and at the same time more sustainably.

Ana Guilherme Buzanich
Physikerin
Expertin für bildgebende Verfahren
Seit 2014 an der BAM
[Physicist](#)
[Expert in imaging techniques](#)
[At BAM since 2014](#)





Jose Antonio Villajos
Chemiker und Nanoforscher
Optimiert die Speicherung von Wasserstoff
Seit 2018 an der BAM
[Chemist and nano-scientist](#)
[Optimises the storage of hydrogen](#)
[At BAM since 2018](#)

Wie teilen wir unser Wissen mit anderen?

How do we share our knowledge with others?

Deutschland und die Europäische Union setzen auf Wasserstoff, um etwas gegen den Klimawandel zu tun und die Wirtschaft zu dekarbonisieren. Wenn wir in Zukunft grünen Wasserstoff in großen Mengen nutzen wollen, benötigen wir neue Werkstoffe für Elektrolyseure, für Pipelines, Brennstoffzellen und vor allem für Speicher. An der BAM forsche ich, zusammen mit Kolleg*innen aus anderen Abteilungen, an Materialien, die dafür infrage kommen. Um den Prozess zu beschleunigen, entwickle ich zusammen mit meinen Kolleg*innen Standardverfahren und Referenzmaterialien und arbeite an großen Datenbanken mit, die das Wissen zu Wasserstoff anderen Forschungsteams und Industrieunternehmen weltweit zugänglich machen sollen.

Germany and the European Union both bank on hydrogen being a future fuel to help alleviate climate change and decarbonise industry. If in the future we want to use green hydrogen in large quantities, we need new materials for electrolyzers, pipelines, fuel cells and above all for storage systems. I carry out research on materials suitable for this purpose together with BAM colleagues from other departments. In order to accelerate the process, my colleagues and I work on developing standard procedures and reference materials, and I deal with large databases which will allow knowledge about hydrogen to become available to other research teams and industrial companies worldwide.

Die BAM auf einen Blick

BAM at a glance

1.611

Beschäftigte | **Staff**

49

Nationalitäten | **Nationalities**

141

Promovierende | **PhD Students**

12

Professuren und Juniorprofessuren | **Professorships
and Junior Professorships**

66

Lehrveranstaltungen | **Lectures**

62

Auszubildende | **Trainees**

7

Ausbildungsberufe | **Trades**

5

Themenfelder | **Focus Areas**

Energie | **Energy**

Infrastruktur | **Infrastructure**

Umwelt | **Environment**

Material | **Materials**

Analytical Sciences | **Analytical Sciences**

4

Standorte in Berlin/Brandenburg | **Berlin/Brandenburg sites**

(Weitere aktuelle Zahlen zur BAM | Further information: www.bam.de)

Mitglieder des Kuratoriums der BAM

Members of the BAM Advisory Council

Stefan Schnorr (Vorsitzender)

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

Dr. Helena Alves

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

Dr. Bernd Beßling

BASF SE, Senior Vice President, Technical Expertise,
Ludwigshafen

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

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

Dr.-Ing. Matthias Fankhänel

ehemals BASF SE, Senior Vice President, Ludwigshafen

Professorin Dr. Claudia Felser

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

Professor Dr. rer. nat. Detlef Günther

Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen
der ETH Zürich, Schweiz

Professorin Dr. Dr. Rafaela Hillerbrand

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

Professorin Dr.-Ing. habil. Carolin Körner

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

Alexandra Knauer

Geschäftsführerin der KNAUER Wissenschaftliche Geräte GmbH, Berlin

Dr.-Ing. Sebastian Muschelknautz

CEO and Managing Director, TakeOFF Engineering GmbH, München

Professor Dr.-Ing. Heinz Neubert

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

Dr. Gabriele Pestlin

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

Dr. Klaus-Jürgen Richter

Vertriebsvorstand der Saarstahl AG, Völklingen

Professorin Dr. rer. nat. habil. Brigitte Voit

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

Dr. Silke Wagener

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

Professor Dr. Ralf B. Wehrspohn

Fraunhofer-Gesellschaft, Vorstand Technologiemarketing und Geschäftsmodelle, München

Professorin Dr. Anke Weidenkaff

Direktorin der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS, Hanau

Christoph Winterhalter

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

Professor Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch

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

150 Jahre
Wissenschaft mit Wirkung
150 Years
Science with impact



Feiern Sie mit uns und besuchen Sie unsere
Jubiläumswebsite
Celebrate with us and visit our
anniversary website

www.150.BAM.de

 [@BAMResearch](https://twitter.com/BAMResearch)

Impressum

Editorial Information

Herausgeber Publisher

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)
Präsident Prof. Dr. Ulrich Panne
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Telefon: +49 30 8104-0
E-Mail: info@bam.de
Internet: www.bam.de

Redaktions-Team Editorial team

Oliver Perzborn (Leitung), Ralf Berhorst (Konzeption, Projektmanagement),
Janina Buchholz, Christoph Czaja, Belgin Kasischke, Dora Kolar-Bosnjak
(Fotografie), Julia Pöpke (Fotografie)

Gestaltung, Illustrationen und redaktionelle Beratung

Design, illustrations and editorial advice
GROOTHUIS. Gesellschaft der Ideen und Passionen mbH
für Kommunikation und Medien, Marketing und Gestaltung

Übersetzung English Translation

Nigel Pye, NP Services

Lektorat Proofreading

Antje Kronenberg, Lektorat Kronenberg

Lithografie Lithography

Margit Dittes MEDIA

Druck und Verarbeitung Print

DBM Druckhaus Berlin-Mitte GmbH

Bildnachweis Images

S. 3: Michael Danner; S. 10 oben links: Historisches Archiv Krupp,
Essen, unten: ullstein bild – Fotografisches Atelier Ullstein, rechts
oben: Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz, I. HA Rep.
120; S. 11 rechts unten: ullstein bild – Haeckel Archiv; S. 12 oben
links: Landesarchiv Berlin, F Rep. 290 (05) Nr. 0290177; S. 21 links
oben: Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM; S. 24: istock/
Orbon Alija; S. 27, 28, 29: Michael Danner; S. 30: istock/Adrian
Hancu; S. 33 links: istock/liorpt, rechts: istock/zhaojiankang; S. 34:
istock/4ootmax; S. 41: istock/sergeyryzhov; S. 43: Michael Danner;
S. 45: istock/Cylonphoto; S. 46, 47: Michael Danner; S. 48: istock/ollo;
S. 50: Michael Danner; S. 53: istock/Luca Reina Mafaraci; S. 56:
Michael Danner; S. 58: istock/Damoccean; S. 59, 60, 62, 63, 65 (1+2),
S. 66: Michael Danner; S. 68, 70 (1+2), 71, 73 (1+2), 74, 75, 81, 83, 84
(links oben), 86, 90, 91, 93 (1–3): Michael Danner; S. 97: istock/baona;
S. 98, 99, 100, 104 (1+2): Michael Danner; S. 108: istock/35007.
Alle anderen Fotos: BAM



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

Die BAM ist eine wissenschaftlich-technische Bundesober-
behörde 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

Die BAM ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im
Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
Unser Auftrag: Sicherheit in Technik und Chemie