



Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

The background of the cover is a scanning electron microscope (SEM) image showing numerous irregular, spherical particles of varying sizes and surface textures. The particles are rendered in shades of blue and cyan against a dark background. The image is partially obscured by white and red geometric shapes in the corners.

BAM Report 2021/22

Sicherheit im Wandel

Safety in transition

BAM Report
2021/22

Liebe Leser*innen, Dear Readers,

wir stehen an der Schwelle einer globalen Transformation, des Aufbruchs in ein neues Zeitalter. Deutschland hat sich verpflichtet, bis 2045 das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, und stellt sich damit der Verantwortung, die Erderwärmung in vertretbaren Grenzen zu halten.

Der Weg zu einer CO₂-neutralen Zukunft wird nur mit sicheren Technologien und Innovationen möglich sein. Der Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung betont in seiner Präambel, dass „dieser Fortschritt auch mit einem Sicherheitsversprechen einhergehen muss“. Unsere Expertise als Ressortforschungseinrichtung des Bundes mit dem Auftrag, Sicherheit in Technik und Chemie zu gewährleisten, ist daher auch 150 Jahre nach unserer Gründung gefragt – vielleicht mehr denn je. Wir verbinden sie mit dem Anspruch, Wissenschaft mit Wirkung zu betreiben, und leisten so einen Beitrag für eine klimaneutrale Zukunft.

Dieser Wandel und seine Innovationen werden von neuen Ideen in der Chemie sowie den Material- und Werkstoffwissenschaften getragen, *unsere Zukunft ist eine stoffliche*. Neue und alte Materialsysteme, Komponenten und Infrastrukturen werden im Kontext der Nachhaltigkeit gedacht werden müssen. Ihre Sicherheit macht Märkte, trägt also zum gesellschaftlichen Wohlstand bei, wenn wir das Vertrauen in Wissenschaft und Technik stärken. Dieses Vertrauen wiederum erwächst aus der Expertise von Menschen und der Verlässlichkeit von Institutionen wie der BAM.

We are on the threshold of a global transformation, the dawn of a new age. Germany has committed itself to achieving the goal of climate neutrality by 2045 and is thus taking on the responsibility of keeping global warming within acceptable limits.

We can only move ahead on the road to a CO₂-neutral future if we use safe technologies and innovations. In its preamble, the coalition agreement of the new German government emphasises that “this progress must also be accompanied by a promise of safety”. Our expertise as a departmental research institution of the German Government, with a mandate to ensure safety in technology and chemistry, is therefore still in demand 150 years after our founding, perhaps more so than ever. We combine it with the claim of doing science with impact and thus contribute to a climate-neutral future.

This change and its innovations are driven by new ideas in chemistry and materials science, *our future is a material one*. New and old material systems, components and infrastructure types will have to be considered in the context of sustainability. Their safety creates markets, i.e. it contributes to society’s prosperity if we strengthen confidence in science and technology. This confidence, in turn, grows from the expertise of people and the reliability of institutions such as BAM.

Last year, we increased our efforts in key areas of the energy transition, in particular with our Centre of Competence for the safety of modern hydrogen technologies, comprehensive testing facilities



Im letzten Jahr haben wir unsere Anstrengungen insbesondere in Schlüsselbereichen der Energiewende ausgebaut: unter anderem mit unserem Kompetenzzentrum für die Sicherheit moderner Wasserstofftechnologien, umfassenden Testmöglichkeiten für elektrische Energiespeicher und der Suche nach effizienteren, umweltschonenden Alternativen zu Lithium-Ionen-Batterien sowie mit Projekten zur Standfestigkeit noch größerer, leistungsstärkerer Windenergieanlagen und zur CO₂-Einsparung.

Zusammen mit unseren Partner*innen haben wir die große Chance, den Wandel aktiv voranzubringen. Davon erfahren Sie mehr in unserem neuen BAM Report 2021/22. Viel Spaß beim Lesen und Eintauchen in unsere Arbeit!

Ihr/Yours
Prof. Dr. Ulrich Panne

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

for electrical energy storage systems, the search for more efficient and environmentally friendly alternatives to lithium-ion batteries and projects dealing with the stability of even larger, more powerful wind turbines and creating CO₂ savings.

Together with our partners, we have a great opportunity to actively promote this change. You can read more about this in our new BAM Report 2021/22. Enjoy reading and immersing yourself in our work!

- 2 Editorial
Editorial

- 6 Die BAM und ihre fünf
Themenfelder
BAM and its five focus areas

Energie Energy

- 10 Vertrauen schaffen in moderne
Wasserstofftechnologien
Building trust in modern hydrogen
technologies
- 16 Interview: Chancen einer
Wasserstoffwirtschaft
Interview: Opportunities
of a hydrogen economy
- 22 Testzentrum für sichere und
nachhaltige Batteriespeicher
Test centre for safe and
sustainable battery storage
- 28 Natrium: Nachhaltiges
Energiematerial für Batterien
Sodium: Sustainable energy
material for batteries
- 34 Mit Gesichtserkennung das Alter
von Lithium-Batterien bestimmen
Determining the age of lithium
batteries with face recognition

- 40 Offshore-Windanlagen: Smarte
Schweißtechnik spart CO₂
Offshore wind turbines: Smart
welding technology saves CO₂
- 46 Windkraft: Schäden mit der Wärme-
bildkamera rechtzeitig erkennen
Wind power: Early damage detection
using thermal imaging

Infrastruktur Infrastructure

- 54 Neue Sicherheitskonzepte für den
Ernstfall
New safety concepts for emergencies
- 60 Klimaschutz: Waldbrände
wirksam bekämpfen
Climate protection: Fighting
forest fires effectively

Umwelt Environment

- 68 Gemeinsam gegen mikrobiell beeinflusste Korrosion
Uniting forces against microbially influenced corrosion
- 74 Kreislaufwirtschaft: Weniger CO₂ durch bessere Verwertung von Stahlwerkschlacken
Circular economy: Less CO₂ through better recycling of steelworks slags

Material Materials

- 82 Kompetenzzentrum Additive Fertigung: Sicherheit im Fokus
Centre of Competence for additive manufacturing: Focus on safety
- 88 3-D-Druck: Risse im Prozess erfassen
3D printing: Detecting cracks in the process

- 94 Sichere Standards für industrielle Anwendungen von Graphen
Safe standards for industrial applications of graphene
- 100 Neue Plattform für sichere Nanomaterialien
New platform for safe nanomaterials

Analytical Sciences Analytical Sciences

- 108 Verlässliche Messmethoden für leuchtende Nanomaterialien
Reliable measurement methods for luminescent nanomaterials
- 114 Toxisch? Mögliche Gefährdungen durch Mikro- und Nanoplastik
Toxic? Possible hazards from micro- and nanoplastics
- 120 Besserer Schutz vor Luftschadstoffen in Innenräumen
Better protection from indoor air pollutants

- 127 Fragen an die Zukunft
Questions for the future

- 140 Die BAM auf einen Blick
BAM at a glance

- 141 Mitglieder des Kuratoriums der BAM
Members of the BAM Advisory Council

- 144 Impressum
Editorial information

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND-PRÜFUNG (BAM)

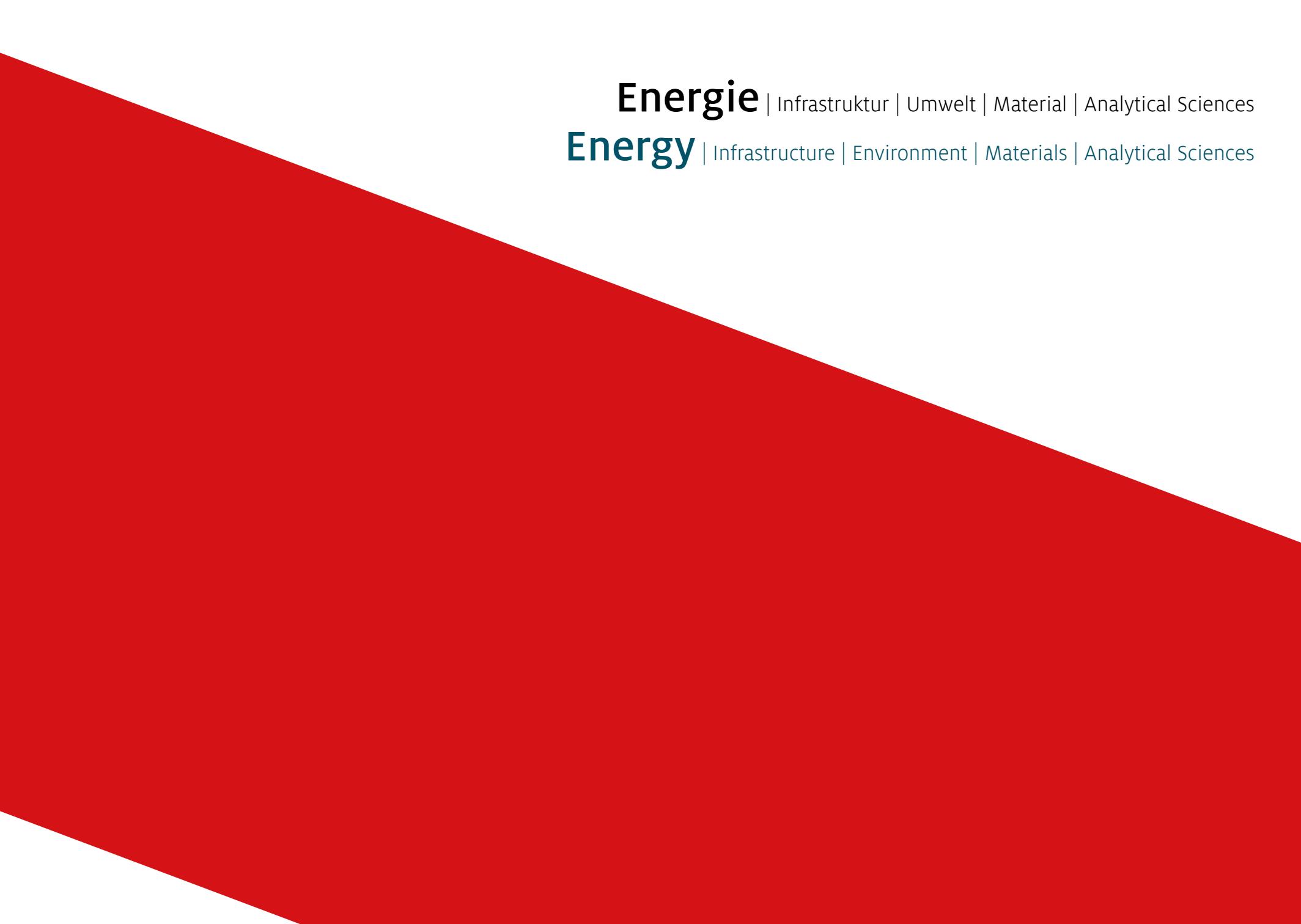


Die BAM und ihre fünf Themenfelder

BAM and its
five focus areas

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 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 focus areas of Energy, Infrastructure, Environment, Materials and Analytical Sciences.



Energie | Infrastruktur | Umwelt | Material | Analytical Sciences
Energy | Infrastructure | Environment | Materials | Analytical Sciences

Energie Energy

Vertrauen schaffen in moderne Wasserstofftechnologien

Building trust in modern
hydrogen technologies



Versuch zur Brandsicherheit eines Tanks mit 25 Kilogramm Flüssigwasserstoff auf dem Testgelände der BAM.
Fire safety test of a tank containing 25 kilograms of liquid hydrogen on BAM's test site.



Grüner Wasserstoff ist ein Schlüsselement für die Transformation zur Klimaneutralität. In ihrem Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM forscht die BAM zu allen Aspekten der Zukunftstechnologie. Dazu entsteht südlich von Berlin auf zwölf Quadratkilometern die größte und modernste Testinfrastruktur für Wasserstoff in Deutschland.

Green hydrogen is a key element for transformation towards climate neutrality. BAM is conducting research on all aspects of this future technology in its Centre of Competence H₂Safety@BAM. Therefore, the largest and most modern hydrogen test infrastructure in Germany is being built on twelve square kilometres of land south of Berlin.

Wasserstoff ist ein äußerst vielseitiges Element: Er kann in Brennstoffzellen von Pkws, Nutzfahrzeugen und eines Tages vielleicht auch in Flugzeugen genutzt werden. In energieintensiven Bereichen der Produktion wie in der Stahl-, Zement- und Chemieindustrie kann Wasserstoff fossile Energieträger ersetzen und so den CO₂-Ausstoß verringern.

Gleichzeitig ist Wasserstoff ein guter Energiespeicher: Mit dem Strom aus Wind und Sonne lässt sich unter der Abspaltung von Sauerstoff aus einfachem Wasser Wasserstoff gewinnen. Die in dem Gas gebundene Energie kann über große Entfernungen transportiert, bei Bedarf jederzeit zurückverstromt und in die Versorgungsnetze eingespeist oder direkt zur Wärmeerzeugung genutzt werden.

Bei der Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft zur Klimaneutralität spielt grüner Wasserstoff daher eine zentrale Rolle. Deutschland und die Europäische Union sollen nach den Zielsetzungen der neuen Bundesregierung bis 2030 zum Leitmarkt für Wasserstofftechnologien werden. Damit ein schneller Markthochlauf gelingt und erfolgreiche Wertschöpfungsketten geschaffen werden können, ist das Vertrauen der Menschen in den Zukunftsträger Wasserstoff entscheidend.

Hydrogen is an extremely versatile element: it can be used in fuel cells in cars, commercial vehicles and one day perhaps even in aircraft. It can replace fossil fuels and thus reduce CO₂ emissions in production sectors with high energy consumption, such as the steel, cement and chemical industries.

At the same time, hydrogen is a good energy storage medium: electricity from wind and sun can be used to produce hydrogen from plain water by splitting off oxygen. The energy bound in the gas can be transported over long distances, converted back into electricity as needed at any time and fed into the supply networks or used directly to generate heat.

Green hydrogen therefore plays a key role in transforming both economy and society towards climate neutrality. According to the objectives of the new German government, Germany and the European Union are to become the lead market for hydrogen technologies by 2030. For a rapid market ramp-up to succeed and for successful value chains to be created, people's trust in hydrogen as an energy source of the future is crucial.

Die Zuleitungen zwischen Prüftank und Versorgungsfahrzeug werden montiert.
The pipe connection between storage tank and supply truck is being mounted.



Aus der Drohnenperspektive: Der Tank wird kontrolliert zur Explosion gebracht.
From the drone's perspective: The tank is detonated in a controlled manner.



115 Wissenschaftler*innen forschen interdisziplinär

Die BAM forscht seit mehr als hundert Jahren zu Wasserstoff. Sie hat ihre umfassende Expertise auf diesem Gebiet in ihrem Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM gebündelt. Rund 115 Wissenschaftler*innen aus zehn Fachabteilungen der BAM arbeiten dort interdisziplinär zusammen. Sie forschen etwa an sicheren Druckgasbehältern für Wasserstoff, widerstandsfähigen Werkstoffen für Pipelines, an Sensorsystemen und Referenzmaterialien und untersuchen die Auswirkungen möglicher Brand- und Explosionsszenarien – um sie zu verhindern.

Das Ziel ist es, über die gesamte Wertschöpfungskette von Wasserstoff die technische Sicherheit zu gewährleisten und verlässliche Qualitäts- und Sicherheitsstandards zu entwickeln. Auf nationaler und internationaler Ebene wirkt die BAM dazu in Standardisierungsgremien wie dem Deutschen Institut für Normung (DIN), dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) oder der Internationalen Organisation für Normung (ISO) mit.

115 scientists conduct interdisciplinary research

BAM has been researching hydrogen for more than one hundred years. It has bundled its widespread expertise in this field into a Centre of Competence H₂Safety@BAM. Around 115 scientists from ten BAM departments work there together on an interdisciplinary basis. They are researching safe compressed gas containers for hydrogen, resistant materials for pipelines, sensor systems and reference materials and are investigating the impacts of possible fire and explosion scenarios in order to prevent them.

The goal is to ensure technical safety and to develop reliable quality and safety standards throughout the entire hydrogen value chain. At national and international level, BAM is involved in standardisation bodies such as the German Institute for Standardisation (DIN), the European Committee for Standardisation (CEN) or the International Organisation for Standardisation (ISO).



Darüber hinaus ist das Kompetenzzentrum in Industrie und Forschung vernetzt: etwa mit H₂Mobility, Europas größtem Betreiber von Wasserstofftankstellen, der Daimler AG, die Wasserstoff-betriebene Lkw baut, mit dem Stahlhersteller Thyssenkrupp, der bereits erste Hochöfen mit Wasserstoff betreibt, oder der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, die zu Wasserstoff forscht und künftige Ingenieur*innen auf dem Gebiet ausbildet. Die BAM verfügt damit über eine in Deutschland einzigartige wissenschaftliche Bandbreite zum Thema Sicherheit von Wasserstoff.

Im Aufbau: ein großes H₂-Reallabor

Ergänzt wird die fachliche Expertise durch teils einzigartige Test- und Prüfeinrichtungen: Auf dem zwölf Quadratkilometer großen Testgelände Technische Sicherheit der BAM 50 Kilometer südlich von Berlin werden schon heute Wasserstofftechnologien unter Extrembedingungen und im Realmaßstab auf ihre Zuverlässigkeit geprüft. In den kommenden Jahren wird dort das größte Reallabor für Wasserstoff in Deutschland entstehen: u. a. mit einem Hochdruckprüfstand bis 1000 bar, einem Prüffeld für Flüssigwasserstoff, einer Pipelineversuchsanlage sowie einer Wasserstofftankstelle, um praxisnah die Digitalisierung der Qualitätsinfrastruktur in diesem Bereich zu erforschen und zu erproben. Alle Anstrengungen dienen dem Ziel, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland voranzutreiben und damit einen Beitrag zur Transformation zu leisten. —

In addition, the Centre of Competence is networking with industry and research, such as with H₂Mobility, Europe's largest operator of hydrogen filling stations, Daimler AG, which builds hydrogen-powered HGVs, with the steel manufacturer Thyssenkrupp, which is already operating its first blast furnaces using hydrogen, and the Brandenburg Technical University Cottbus-Senftenberg, which conducts research on hydrogen and trains future engineers in this field. Thus BAM has a unique scientific scope in Germany on the topic of hydrogen safety.

Under construction: A large H₂ pilot plant laboratory

BAM's technical expertise is supplemented by their testing and checking facilities, some of which are unique: hydrogen technologies are already being tested for reliability under extreme conditions and at full-scale on BAM's 12 km² Test Site for Technical Safety, 50 kilometres south of Berlin. In the coming years, Germany's largest hydrogen laboratory pilot plant will be built there which will include a high-pressure test stand up to 1,000 bar, a liquid hydrogen test field, a pipeline test facility and a hydrogen filling station which will research and test the digitalisation of the quality infrastructure in this field under operating conditions. All efforts serve one goal: advance the development of a hydrogen economy in Germany and thus contribute to transformation. —

Simulation zur Freisetzung von Wasserstoff beim Umschlag im Hafen.
Simulation of the release of hydrogen during unloading in the port.

Energie Energy

Interview: Chancen einer Wasserstoffwirtschaft

Interview: Opportunities of a hydrogen economy



Auf dem Testgelände der BAM: Kai Holtappels, Experte für Wasserstoff, ist überzeugt von den Vorteilen der Technologie.

At BAM's test site: Kai Holtappels, an expert on hydrogen, is convinced of the benefits of the technology.



Der Chemiker Kai Holtappels ist Sprecher des Kompetenzzentrums H₂Safety@BAM. Außerdem berät er die Regierung im Forschungsnetzwerk Wasserstoff, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert wird und in dem über 1 500 Mitglieder vertreten sind.

The chemist Kai Holtappels is spokesman for the H₂Safety@BAM Centre of Competence. He also advises the government in the Hydrogen Research Network funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action, where over 1,500 members are participating.

Wasserstoff gilt als Schüsselement für die Transformation zur Klimaneutralität. Was macht ihn so wichtig?

Wasserstoff ist der Energieträger mit der höchsten auf die Masse bezogenen Energiedichte. Sein Einsatz ist daher insbesondere als Speichermedium in der Energieversorgung, aber auch als Kraftstoff im Verkehr interessant. Vor allem: Grüner Wasserstoff, also solcher, der mit Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt worden ist, verursacht keinerlei Emissionen an Treibhausgasen, ist also klimaneutral.

Welche Herausforderungen stellen sich aus Sicht der Materialwissenschaft?

Wasserstoff wird unter extremem Druck gespeichert. Auch sind seine Moleküle sehr klein und reaktiv und diffundieren daher in und durch Werkstoffe. Die Materialien für Leitungen, Schweißnähte und Speicheranlagen müssen also besonderen Beanspruchungen sicher und dauerhaft standhalten. Dazu forschen wir im Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM, indem wir Metalle, Kunststoffe und Schmierstoffe unter realen Bedingungen gezielt Wasserstoff aussetzen und prüfen, ob und wie die Werkstoffe sich über die Zeit verändern.

Darüber hinaus forschen wir zu allen Aspekten einer künftigen Wasserstoffwirtschaft. Etwa dazu, wie sich Wasserstoff sicher in das vorhandene Erdgasnetz einspeisen lässt, wie Flüssigwasserstoff gefahrlos in Häfen umgeschlagen werden kann oder wie wir mit den Möglichkeiten der Digitalisierung die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Wasserstofftankstellen erhöhen können.

Hydrogen is a key element in the transformation to climate neutrality. What makes it so important?

Hydrogen is the energy source with the highest energy density by mass. Its use is therefore particularly attractive as a storage medium in energy supply and as a fuel in transport. Above all, green hydrogen produced using electricity from renewable sources does not cause any greenhouse gas emission, so it is climate-neutral.

What are the challenges from a materials science perspective?

Hydrogen is stored under extremely high pressure. Its molecules are very small and reactive and can diffuse into and through materials. The materials for pipelines, weld seams and storage facilities must therefore withstand extraordinary stresses safely and permanently. To this end, we conduct research in the H₂Safety@BAM Centre of Competence by deliberately exposing metals, plastics and lubricants to hydrogen under operating conditions and testing whether and how the materials change over time.

We are also conducting research into all aspects of a future hydrogen economy. For example, how hydrogen can be safely fed into the existing natural gas grid, how liquid hydrogen can be safely handled in ports or how we can use the possibilities of digitalisation to increase the safety and reliability of hydrogen filling stations.

Gibt es weitere Aktivitäten neben der eigentlichen Forschung?

Wir als BAM engagieren uns in zahlreichen Netzwerken und bringen unsere Erkenntnisse aus technischen Entwicklungsprozessen mit in die nationale und internationale Normung und Gesetzgebung ein. Auf der Ebene der Vereinten Nationen und der International Standardization Organization (ISO) arbeiten wir mit daran, weltweit einheitliche Sicherheitsstandards zu schaffen. So unterstützen wir, dass die Marke „Made in Germany“ auch im Bereich Wasserstoff gut im Weltmarkt platziert werden kann. Insgesamt haben wir als Industrieland die Chance, mit grünem Wasserstoff eine wirklich CO₂-neutrale Energiepolitik zu betreiben und damit international ein Beispiel zu geben.

Are there other activities besides the actual research?

We at BAM are involved in numerous networks and share our knowledge about technical development processes for national and international standardisation and regulation. We are helping to create worldwide uniform safety standards at the level of the United Nations and the International Organisation for Standardisation (ISO). In this way, we help to ensure that the 'Made in Germany' brand can also be well positioned on the world market in the hydrogen sector. Overall, as an industrialised country, we have the opportunity to pursue a truly CO₂-neutral energy policy using green hydrogen and thus set an example internationally.

Im Beobachtungsstand des BAM-Testgeländes werden die Versuche zu Wasserstoff überprüft und ausgewertet.
Hydrogen tests are checked and evaluated in the observation stand at the BAM test site.



Deutschland will führend werden bei Wasserstofftechnologien. Wo stehen wir da?

Wir gehören schon jetzt zu den weltweit führenden Nationen, gemeinsam mit den USA und Japan. Die deutsche Industrie und Wissenschaft forschen intensiv zu neuen Wasserstofftechnologien, z. B. innovativen Materialien für Pipelines oder für Elektrolyseure, mit denen sich grüner Wasserstoff erzeugen lässt. Außerdem wird intensiv daran gearbeitet, vorhandene Speichertechnologien zu optimieren. Die letzte Bundesregierung hat dazu mit ihrer Wasserstoffstrategie und staatlichen Förderungen sehr gute Voraussetzungen geschaffen und die neue Regierung setzt diesen Weg konsequent fort. Die BAM unterstützt die Strategie der Bundesregierung und leistet mit ihrem Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM wichtige Forschungsarbeit, um diese Entwicklungsprozesse zur Marktreife zu führen, und gewährleistet dabei ihre Sicherheit und Zuverlässigkeit.

Wo liegen künftige Aufgaben?

Deutschland wird in den kommenden Jahren sehr große Mengen an Wasserstoff benötigen. Mit der Hochskalierung und der steigenden Anzahl an Anlagen und Systemen werden sich auch neue Fragen bezüglich der Sicherheit ergeben, z. B. bei großtechnischen Anlagen zur Wasserstofferzeugung, der Herstellung synthetischer Kraftstoffe oder dem Einsatz von Wasserstoff in der Stahlproduktion. Diese Fragen gilt es, frühzeitig zu identifizieren, zu bewerten und gegebenenfalls die nötigen technologischen Anpassungen vorzunehmen. Der Energieträger Wasserstoff wird nur dann Akzeptanz finden, wenn die Menschen der Technologie vertrauen. Dafür steht die BAM. —

Germany wants to become a leader in hydrogen technologies. Where do we stand?

We are already one of the world's leading nations, together with the United States and Japan. German industry and science are conducting intensive research into new hydrogen technologies such as innovative materials for pipelines and for electrolyzers that can be used to produce green hydrogen. Rigorous work is also being done to optimise existing storage technologies. The last German federal government created very good conditions for this with their hydrogen strategy and state subsidies, and the new government is consistently continuing along this path. BAM supports the strategy of the Federal Government and their H₂Safety Centre of Competence is doing important research work to bring these development processes to market maturity while ensuring their safety and reliability.

What are future tasks?

Germany will need very large quantities of hydrogen in the coming years. Upscaling and an increasing number of installations and systems will raise new questions regarding safety, e.g. for large-scale hydrogen production plants, the production of synthetic fuels and the use of hydrogen in steel production. These issues must be identified and assessed at an early stage and, if necessary, the necessary technological adjustments made. Hydrogen as an energy source will only find acceptance if people trust the technology. This is what BAM stands for. —



Energie Energy

Testzentrum für sichere und nachhaltige Batteriespeicher

Test centre for safe and sustainable battery storage



Untersuchung zum thermischen Durchgehen einer Batteriezelle (l.). Anita Schmidt leitet das Batterie-Testzentrum der BAM (r.).
Investigating the thermal runaway of a battery cell (l.). Anita Schmidt heads BAM's the battery test centre (r.).



Elektrische Batteriespeicher sind eine Schlüsseltechnologie für die Transformation zur Klimaneutralität. Im Automobilbereich werden sie fossile Antriebe ablösen, bei der Zwischenspeicherung der Energie aus Wind und Sonne kommt ihnen eine zentrale Rolle zu. In ihrem Batterie-Testzentrum forscht die BAM umfassend zur Sicherheit der Technologie, um den Umbau zu beschleunigen.

Electric battery storage is a key technology in the transformation towards climate neutrality. It will replace combustion engines in the automobile industry and will play a key role in the intermediate storage of wind and solar energy. BAM performs extensive research into the safety of this technology in its battery test centre to accelerate this transformation.

Damit Deutschland seine Klimaziele im Verkehrssektor erreichen kann, sollen nach den Zielen der Bundesregierung bis 2030 mindestens 15 Millionen vollelektrische Pkw auf den Straßen unterwegs sein. Entsprechend wird die Nachfrage nach Antriebsakkus stark steigen.

Um die größere Zahl an E-Autos mit Strom aus erneuerbaren Quellen zu versorgen, aber auch um insgesamt die Dekarbonisierung von Industrie voranzubringen, werden in Zukunft vermehrt große stationäre Batteriespeicher benötigt. Sie können die schwankende Energie aus Solar- und Windenergieanlagen aufnehmen und bei Bedarf verfügbar machen. Elektrischen Energiespeichern kommt also eine zentrale Rolle bei der Transformation zu. Sie müssen hohen Anforderungen hinsichtlich ihrer Sicherheit und Lebensdauer entsprechen.

Im Fokus: der State of Safety

Die BAM forscht umfassend zur Batterietechnologie. Sie hat ihre vielfältigen Forschungsaktivitäten und Prüfeinrichtungen 2021 zu einem Testzentrum gebündelt. Ziel ist es, die Weiterentwicklung dieser zentralen Zukunftstechnologie zu begleiten und zu fördern. Zudem erfüllt die BAM mehrere hoheitliche Aufgaben: Sie wirkt bei der Gesetzgebung im Bereich der Sicherheit der Speicher mit und ist eines von weltweit nur neun Instituten, die im Auftrag der Vereinten Nationen Verfahren prüfen, um Lithium-Ionen-Batterien nach ihrer Gefährlichkeit zu klassifizieren.

The German government's goals call for at least 15 million fully electric cars to be on the roads by 2030 with the aim being to achieve this climate target in the transport sector. Demand for traction batteries will accordingly rise sharply.

Large stationary battery storage systems will be increasingly needed in the future to supply the large number of electric vehicles with electricity from renewable sources and to promote overall decarbonisation in the industry. They will be able to absorb the fluctuating energy from solar and wind power installations and make it available when needed. Electric energy storage systems will therefore play a key role in the transformation, and they must meet high standards in terms of safety and service life.

Focus on the state of safety

BAM performs extensive research into battery technology and in 2021 bundled its diverse research activities and testing facilities into a test centre. The aim is to manage and promote the further development of this future key technology. BAM also fulfils several sovereign tasks: it participates in legislation in the field of storage systems safety and is one of only nine institutes worldwide that conduct tests commissioned by the United Nations to classify lithium-ion batteries according to their hazardousness.

Das neue Testzentrum erweitert die vorhandenen Forschungs- und Prüfmöglichkeiten an Batterien jeder Art und Größe. So können u. a. Brand- und Rauchgasanalysen, Tests zur Explosivität sowie Untersuchungen zu Alterungseinflüssen und Recyclingprozessen durchgeführt werden. Im Fokus steht dabei immer ein Aspekt: der State of Safety, d. h. die Sicherheit einer Batterie. „Wir können einzelne Zellen, ganze Batterien oder batteriebetriebene Geräte gezielt mechanischen, thermischen oder elektrischen Belastungen aussetzen“, erklärt Anita Schmidt, die Leiterin des Batterietestzentrums. „Aus den multisensorisch oder mit bildgebenden Verfahren gewonnenen Daten leiten wir Schlussfolgerungen für die Sicherheitsbewertung und den State of Safety ab, um so die Technologie insgesamt zu verbessern.“

The new test centre expands the existing research and testing capabilities on batteries of all types and sizes. It enables fire and smoke gas analyses, explosivity tests and investigations into ageing effects and recycling processes. The focus is always on one aspect: the state of safety, i.e. the safety of batteries. “We can selectively expose individual cells, entire batteries or battery-powered devices to mechanical, thermal or electrical stresses,” explains Anita Schmidt, head of the Battery Test Centre. “The data obtained using multisensory or imaging techniques allow us to draw conclusions on safety assessment and the state of safety and thus the technology as a whole can be improved.”

Durch spezifische Lade- und Entladezyklen lässt sich die Alterung einer Batterie simulieren.
Specific charge and discharge cycles are applied to simulate the ageing of a battery.





Untersuchungen zur mechanischen Belastung einer Batterie.
Impact of the mechanical load on a battery.

Alterung im Zeitraffer

Bislang verbraucht die Herstellung elektrischer Batteriespeicher, die derzeit meist auf der Lithium-Ionen-Technologie beruhen, wertvolle Ressourcen. Daher gilt ein zweiter wichtiger Forschungsschwerpunkt des Testzentrums der Nachhaltigkeit von Batterien. So lässt sich etwa durch hohe Lade- und Entladezyklen wie im Zeitraffer die Alterung eines Akkus simulieren. Die Erkenntnisse aus diesen Versuchen sind z. B. für Second-Life-Anwendungen wesentlich: In Zukunft sollen ausgediente Batterien aus E-Autos vermehrt zweitverwendet werden, etwa als Speicher für Fotovoltaikanlagen oder als stationäre Großspeicher, die die Stromnetze stabilisieren. Solche Zweitanwendungen können einen wichtigen Beitrag zur Ökobilanz der Batterietechnologie leisten.

Vervollständigt werden die Einrichtungen durch ein Labor für die Erforschung innovativer und nachhaltiger Energiematerialien sowie durch einen Batterie-Großprüfstand auf dem Testgelände Technische Sicherheit der BAM in Brandenburg. Hier können Großspeicher im Realmaßstab getestet werden.

„Insgesamt deckt die BAM damit ein in Deutschland einzigartiges Spektrum im Bereich elektrischer Batterien ab. Damit wollen wir einen Beitrag zur Sicherheit und Nachhaltigkeit dieser für die Transformation so zentralen Technologie leisten und zugleich die Forschung an zukünftigen Generationen elektrischer Speicher vorantreiben“, so Anita Schmidt. —

Accelerated ageing tests

The production of electric battery storage systems, currently chiefly based on lithium-ion technology, consumes valuable resources. Therefore, a second important research area for the test centre is the sustainability of batteries. High charge and discharge cycles can be used to simulate ageing as if in fast motion. The findings from these tests can be important for second-life applications. For example, in the future decommissioned batteries from electric vehicles will be increasingly reused as storage systems in photovoltaic installations or as stationary large storage systems to stabilise electricity grids. Such second-life applications can make an important contribution to the life cycle assessment of battery technology.

A laboratory for research into innovative and sustainable energy materials and a full-scale battery test stand completes the facilities at BAM's Technical Safety Test Site in Brandenburg, where large storage systems can be tested in full-scale tests.

“Overall, BAM thus covers a unique spectrum in Germany in the field of electric batteries. We want to contribute to the safety and sustainability of this technology, which is so important to the transformation, and at the same time drive forward research into future generations of electrical storage systems,” says Anita Schmidt. —

Energie Energy

Natrium: Nachhaltiges Energie- material für Batterien

Sodium: Sustainable energy
material for batteries



Der Vorteil von Natrium (I.): Es ist überall verfügbar. Tim Fellingner (r.) forscht an dem nachhaltigen Energiespeicher.
The advantage of sodium (I.): It is abundantly available. Tim Fellingner (r.) researches the sustainable energy storage.



Weltweit suchen Wissenschaftler*innen nach Alternativen zu Lithium-Akkus. Als vielversprechend gelten Natrium-Ionen-Batterien. Tim Fellingner und sein Team entwickeln neuartige Kern-Schale-Verbundwerkstoffe, die zu umweltschonenden und effizienten Akkus führen sollen.

Scientists around the world are looking for alternatives to lithium. Sodium-ion batteries are promising. Tim Fellingner and his team are developing novel core-shell composites that should lead to environmentally friendly and efficient batteries.

Elektrische Energiespeicher sind unverzichtbar für die Energiewende: Sie treiben E-Autos an, dienen als stationäre Zwischenspeicher für den Strom aus Windrädern oder Solaranlagen und werden für viele industrielle Anwendungen genutzt. Bisher beruhen entsprechende Batterien fast ausschließlich auf der Lithium-Ionen-Technologie.

Lithium hat jedoch gravierende Nachteile: Die globalen Reserven des Alkali-Metalls sind begrenzt, sein Abbau ist kostspielig und wenig umweltschonend. Zudem benötigen die Elektroden von Lithium-Batterien gegenwärtig Cobalt und Nickel, also Metalle, die ebenfalls unter problematischen Bedingungen abgebaut werden und hochgiftig sind.

Vierversprechende „Drop-in-Technologie“

Weltweit suchen Forscher*innen daher nach umweltschonenden Alternativen zu Lithium. Als besonders vielversprechend gelten Natrium-Ionen-Batterien. Sie wären eine „Drop-in-Technologie“, können also schnell auf die gängige Batterieproduktion übertragen werden. Sie benötigen zudem weder Cobalt noch Nickel. Und: Natrium ist als natürlicher Bestandteil von Kochsalz leicht verfügbar.

Als Schwachstelle von Natrium-Ionen-Batterien gilt bislang jedoch das Material des „Pluspols“, etwas vereinfacht die Anode eines Akkus. Sie ist der Tank einer elektrischen Batterie. Im geladenen Zustand soll das Anoden-Material möglichst viele positive Natrium-Ionen speichern können. Somit ist es entscheidend für die Effizienz des Akkus.

Electrical energy storage systems are indispensable for the energy transition: They power electric vehicles, serve for stationary intermediate storage of electricity from wind turbines or solar plants and are used for many industrial applications. So far, corresponding batteries have been based almost exclusively on lithium-ion technology.

However, lithium has serious disadvantages: The global reserves of the lightweight alkali metal are limited, its mining is expensive and not very environmentally friendly. In addition, the electrodes of lithium-ion batteries currently require cobalt and nickel, metals that are either mined under problematic conditions or are highly toxic.

Promising “drop-in technology”

Researchers worldwide are therefore looking for environmentally friendly alternatives to lithium. Sodium-ion batteries are considered particularly promising. They would be a “drop-in technology”, i.e. they can be quickly transferred to standard battery production. They also require neither cobalt nor nickel. And: sodium is easily available as a natural component of rock salt.

However, the weak point of sodium-ion batteries so far has been the material of the “positive pole”, somewhat simplified called the “anode” of a battery. It is the fuel of an electric battery. When charged, the anode material should be able to store as many positive sodium ions as possible. Thus, it is decisive for the efficiency of the battery.

Im Labor für Energiematerialien: Für die Anode der Batteriezelle beschichtet Tim Fellingner eine dünne Aluminiumfolie mit Kohlenstoffpaste.
In the energy materials lab: For the anode of the sodium cell, Tim Fellingner coats a thin aluminum foil with carbon paste.





»Wenn wir mit unserem Konzept erfolgreich sind, würde dies einen großen Innovationsschub für die Natrium-Ionen-Technologie bedeuten.«
»If we are successful with our concept, it will provide a big innovation boost for the sodium-ion technology.«

Die Beschichtung wird bei 80 Grad Celsius vorgetrocknet, um Elektroden ausstanzen zu können.
The coating is dried at 80°C to be able to cut out electrodes.



Maßgeschneiderte Verbundwerkstoffe als Ionen-Speicher

Statt Graphit – wie im Fall der etwas kleineren Lithium-Ionen – werden dazu bei Natrium-Ionen-Akkus bisher sogenannte Hard Carbons verwendet. Der Nachteil: In den Poren und Gängen des Kohlenstoffs können sich nicht nur Natrium-Ionen einlagern. Es gelangt auch Elektrolyt, eine ionenleitende Flüssigkeit im Innern der Batteriezelle, hinein. Das führt zu Verlusten der Speicherkapazität und beeinträchtigt die Effizienz.

Die BAM erforscht in einem Kooperationsprojekt alternatives Anoden-Material, um diesen Nachteil auszugleichen und die Natrium-Ionen-Technologie entscheidend voranzubringen. Angesiedelt ist das Vorhaben im Batterietestzentrum der BAM. „Es ist sehr komplex, die ideale Struktur für diese neuartigen Materialien zu finden“, erklärt Tim Fellingner, Leiter des Verbundprojekts und Experte für Energiematerialien. „Wir wollen dafür maßgeschneiderte Verbundwerkstoffe entwickeln, die möglichst vielen Natrium-Ionen Platz bieten, störende Elektrolyte aber fernhalten. Die Herausforderung ist es, ein Material zu finden, das zugleich sicher und effizient ist.“

Fellingners Team kooperiert dazu eng mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin, der Technischen Universität Berlin sowie mit mehreren Unternehmen, die sich auf Kohlenstoffmaterialien für Batterien spezialisiert haben. „Der schnelle Wissensaustausch mit der Industrie ist uns besonders wichtig“, so Fellingner. „Wenn wir mit unserem Konzept erfolgreich sind, würde dies einen großen Innovationsschub für die Natrium-Ionen-Technologie insgesamt bedeuten.“ –

Customised composite materials as ion storage materials

Instead of graphite – as in the case of the somewhat smaller lithium ions – so-called hard carbons have so far been used for this purpose in sodium-ion batteries. The disadvantage: not only sodium ions can be stored in the pores and channels of the carbon. Electrolyte, an ion-conducting liquid inside the battery cell, also gets in. This leads to losses in storage capacity and impairs efficiency.

In a cooperative project, BAM is researching alternative anode materials to compensate for this disadvantage and decisively advance the sodium ion technology. The project is based at BAM's battery test centre. “It is very complex to find the ideal structure for these novel materials,” explains Tim-Patrick Fellingner, principal investigator of the collaborative project and an expert in energy materials. “We want to develop tailor-made composite materials that offer space for as many sodium ions as possible, but keep out interfering electrolytes. The challenge is to find a material that is both safe and efficient.”

For this purpose, Fellingner's team is cooperating closely with the Helmholtz-Zentrum Berlin, the Technische Universität Berlin and several companies that specialise in carbon materials for batteries. “The rapid exchange of knowledge with industry is particularly important to us,” says Fellingner. “If we are successful with our concept, it would mean a big innovation boost for sodium-ion technology as a whole.” –

Energie Energy

Mit Gesichtserkennung das Alter von Lithium-Batterien bestimmen

Determining the age of lithium
batteries with face recognition

Lithium-Ionen wandern in einer Batterie zwischen zwei Elektroden (l.). Carlos Abad (r.) untersucht die Alterungsprozesse im Innern der Zelle.

Lithium ions travel between two electrodes in a battery (l.). Carlos Abad (r.) investigates the ageing processes inside the cell.



Lithium-Ionen-Akkus werden immer leistungstärker, sind aber anfällig für Alterungsprozesse. Um die Batterien nachhaltiger zu nutzen, gilt es, diese Vorgänge auf atomarer Ebene besser zu verstehen. Die BAM hat dazu ein innovatives Verfahren entwickelt, das Algorithmen aus der Gesichtserkennung nutzt.

Lithium-ion batteries are becoming increasingly powerful but are susceptible to ageing processes. These processes must be better understood at the atomic level to be able to use the batteries more sustainably. To this end, BAM has developed an innovative method based on face recognition algorithms.

Das Laden oder Entladen einer elektrischen Batterie folgt einem einfachen Prinzip: Lithium-Ionen wandern zwischen zwei Elektroden hin und her und geben dabei Elektronen ab oder nehmen sie auf. Diese sogenannte Redox-Reaktion versorgt ein Handy, einen Laptop oder ein E-Auto mit Energie. Die Lithium-Ionen lagern sich dabei in der gitterartigen Struktur von Anode und Kathode wie in den Hohlräumen eines porösen Schwamms ein. Je mehr von ihnen die „Schwämme“ aufnehmen können, desto leistungsfähiger ist die Batteriezelle.

Mit der Zeit kommt es jedoch zu winzigen Brüchen und Rissen an den filigranen Strukturen der Elektroden. Die Folge: Immer mehr Lithium-Ionen passen nicht mehr in die Hohlstellen; sie sammeln sich stattdessen um die Elektroden herum an. Durch diese Haufenbildungen wiederum werden sie für andere Lithium-Ionen zum Hindernis. Die Performance des Akkus sinkt. Er muss in immer kürzeren Zeitabständen aufgeladen werden.

Alterungsprozesse im Zeitraffer

Dabei zeigen die Haufenbildungen charakteristische Muster. Denn Lithium kommt in der Natur in zwei unterschiedlichen Isotopen vor: Das leichtere Lithium-6 bewegt sich besser durch die Hindernisse als das schwerere Lithium-7 und gelangt beim Laden einfacher in die Hohlräume der Anode und beim Entladen in die der Kathode.

Charging or discharging an electric battery follows a simple mechanism: lithium ions move back and forth between two electrodes releasing or accepting electrons in the process. This redox reaction, as it is called, supplies a mobile phone, a laptop or an electric vehicles with energy. The lithium ions are deposited in the grid-like structure of the anode and cathode like the cavities of a porous sponge. The more of them the “sponge” can absorb, the more powerful the battery cell becomes.

Over time, however, tiny fractures and cracks appear in the delicate structures of the electrodes. As a result, an increasing number of lithium ions can no longer fit into the cavities and, instead, they accumulate around the electrodes. These accumulations in turn become an obstacle for other lithium ions which impairs the performance of the battery so that it has to be recharged at ever shorter intervals.

Ageing processes in fast motion

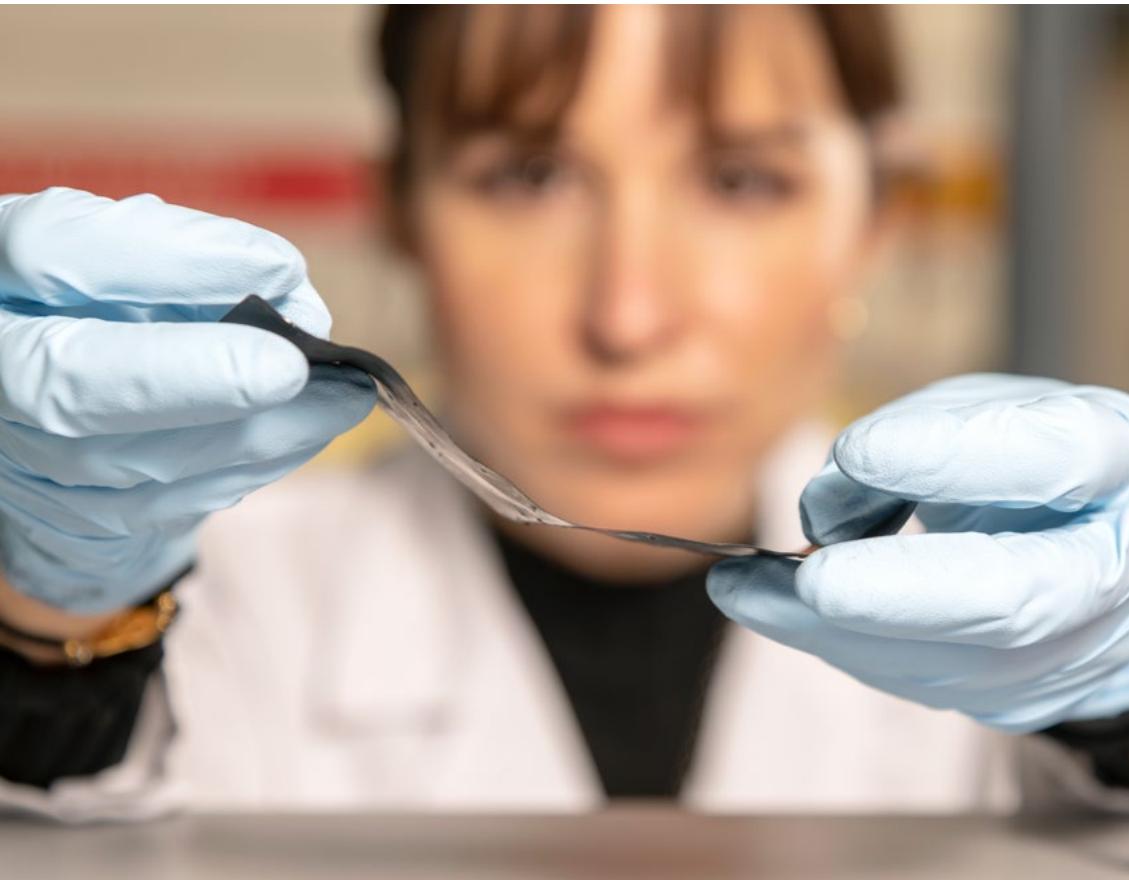
The accumulations of ions show characteristic patterns in the process. This is because lithium occurs in nature in two different isotopes: the lighter lithium-6 can move through obstacles easier than the heavier lithium-7 and enters the cavities of the anode more easily during charging and those of the cathode during discharge.

„Wir wissen inzwischen, dass die Verteilung der Lithium-Isotope in einer Zelle direkt mit ihrem Alterszustand zusammenhängt“, erklärt Carlos Abad, Chemiker an der BAM. „Anzahl und Geschwindigkeit der Ladezyklen spielen dabei vermutlich eine Rolle, aber auch das sogenannte Aktivmaterial, ein leitfähiger Elektrolyt, durch den hindurch die Lithium-Ionen von Elektrode zu Elektrode wandern.“

Abad und seine Kollegin Dalia Morcillo haben die Alterungsprozesse eines Lithium-Ionen-Akkus im Labor genauer analysiert. Dazu haben sie in sehr kurzer Zeit viele Lade- und Entladezyklen durchgeführt und dann die Verteilung der Lithium-Ionen bestimmt.

“We now know that the distribution of lithium isotopes in a cell is directly related to its age condition,” explains BAM chemist Carlos Abad. “The number and speed of charging cycles probably play a role, but so does the ‘active material’, a conductive electrolyte through which the lithium ions migrate from electrode to electrode.”

Abad and his colleague Dalia Morcillo have analysed the ageing processes of a lithium-ion battery in more detail in the laboratory. They have performed many charge and discharge cycles over a very short time and then determined the distribution of the lithium ions.



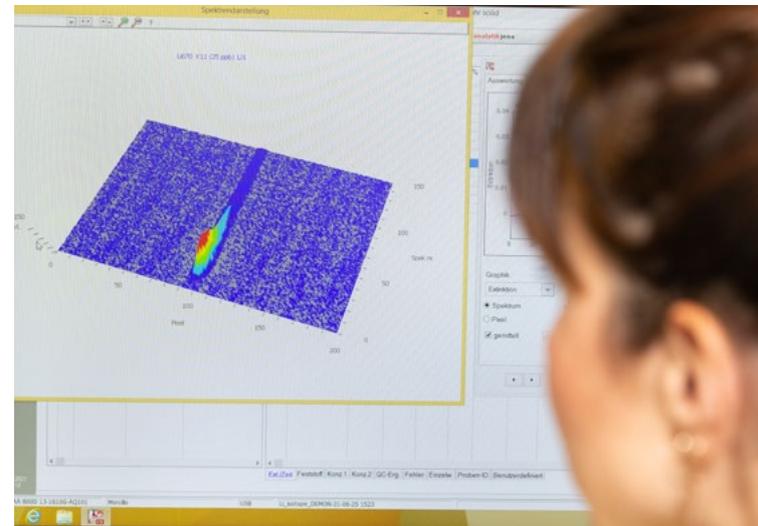
Auf der Elektrode einer Batterie lagern sich die Isotope von Lithium auf charakteristische Weise ab. Mit dem bloßen Auge sind die Unterschiede nicht zu erkennen.

On the electrode of a battery, the isotopes of lithium are deposited in a characteristic way. The differences are not visible to the naked eye.



»Die Bilder der Isotopenverteilung gleichen einander wie die Gesichter von Zwillingen. Unterschiede sind mit bloßem Auge nicht zu erkennen.«

»The images of the isotope distribution resemble each other like the faces of twins. Differences are undetectable with the naked eye.«



Algorithmen interpretieren Bilder schneller

Die BAM-Wissenschaftler*innen nutzen dafür die Spektralanalyse. Dabei werden Lithium-Ionen mit Licht angeregt: Energie, die die beiden Isotope Lithium-6 und Lithium-7 in unterschiedlicher Intensität absorbieren. „Die Bilder dieser Isotopenverteilung sind mit bloßem Auge am Computer extrem schwierig zu interpretieren“, erklärt Dalia Morcillo. „Sie gleichen einander wie die Gesichter von Zwillingen oder von sehr eng miteinander verwandten Personen. Unterschiede sind praktisch nicht zu erkennen.“

Das brachte das Team auf die Idee, für die Auswertung der Messungen Algorithmen aus der Gesichtserkennung zu verwenden. Sie „trainierten“ ihr Messgerät zuerst mit Referenzmaterialien: Mischungen von Lithium-Isotopen, deren Verhältnis ihnen genau bekannt war. Zusätzlich programmierten sie das Gerät mit Methoden des maschinellen Lernens, bis es die Unterschiede zwischen verschiedenen Mengenverhältnissen immer besser und schneller erkennen konnte.

„Im nächsten Schritt möchten wir damit Unternehmen, die Lithium-Ionen-Batterien entwickeln, eine schnellere und kostengünstige Methode zur Verfügung stellen, um das Alterungsverhalten ihrer Akkus schon im Labor einschätzen und bewerten zu können“, so Dalia Morcillo. „Damit soll es in Zukunft möglich sein, rascher zu langlebigen und damit letztlich auch nachhaltigeren Batterien zu kommen.“ –

Algorithms can interpret images faster

The BAM scientists use spectral analysis for this purpose. Lithium ions are excited by light energy that is absorbed by the two isotopes lithium-6 and lithium-7 at different intensities. “The images of this isotope distribution are extremely difficult to interpret with the naked eye on a computer,” explains Dalia Morcillo. “They resemble each other like the faces of twins or those of very closely related people. Differences are virtually undetectable.”

This gave the team the idea of using face recognition algorithms to evaluate the measurements. They first “trained” their measuring instrument with reference materials: mixtures of lithium isotopes whose ratio was precisely known. Then they programmed the device using machine learning methods until it was able to recognise the differences between various quantity ratios better and faster.

“As a next step, we would like to provide companies developing lithium-ion batteries with a faster and more cost-effective method for assessing and evaluating the ageing behaviour of their batteries at an early stage in the laboratory,” says Dalia Morcillo. “This should make it possible to produce longer-lasting and thus ultimately more sustainable batteries more quickly in the future.” –

Dalia Morcillo extrahiert das Aktivmaterial und untersucht es mit Spektralanalyse. Der Computer erkennt die Verteilung der Lithium-Isotopen.

Dalia Morcillo extracts the active material and examines it with spectral analysis. The computer recognises the distribution of the lithium isotopes.

Energie Energy

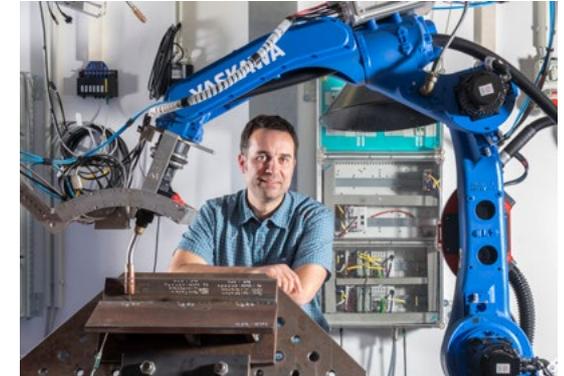
Offshore-Windanlagen: Smarte Schweißtechnik spart CO₂

Offshore wind turbines: Smart
welding technology saves CO₂



Ein Roboter schweißt zwei Stahlteile zusammen (l.). Durch smarte Schweißtechniken will Andreas Pittner (r.) CO₂-Einsparungen beim Bau von Windrädern ermöglichen.

A robot welds together two pieces of steel (l.). Andreas Pittner (r.) wants to use smart welding techniques to reduce CO₂ emissions in the construction of wind turbines.



Der zügige Ausbau der Offshore-Windenergie ist wichtig, damit Deutschland und die EU ihre Klimaziele erreichen können. Bereits beim Bau der Anlagen ließen sich viele Tonnen CO₂ einsparen. Andreas Pittner erforscht dazu die Verknüpfung von Leichtbauprinzipien mit digitalisierter Qualitätskontrolle.

The rapid expansion of offshore wind energy is important if Germany and the EU want to reach their climate targets. Many tonnes of CO₂ can also be saved during the construction of the turbines. Andreas Pittner aims to combine lightweight construction principles with digitalised quality control.

Offshore-Windenergieanlagen stehen auf einer gewaltigen, bis zu 60 Meter hohen Tragstruktur. Der größte Teil davon ist unter der Wasserlinie verborgen. Verwendet wird für die mächtige Konstruktion meist ein einziger stählerner Pfahl: ein sogenannter Monopile. Der ist leichter zu montieren, verbraucht aber viele Ressourcen. Denn für einen einzigen Pfahl werden bis zu 2000 Tonnen Stahl zusammengesweißt – bei dessen Erzeugung vorher große Mengen an CO₂ freigesetzt werden.

Deutlich geringer fällt der freigesetzte CO₂-Anteil aus, wenn statt des Monopiles filigrane Tragstrukturen verwendet werden. Diese Leichtbaustrukturen nennt man Jacket-Gründungen. Sie kommen mit deutlich weniger Stahl aus. Allerdings stellen sie beim Zusammenschweißen noch eine technische Herausforderung dar – mit dem Ergebnis, dass große CO₂-Einsparpotenziale bislang in der Industrie nicht ausgeschöpft werden.

Einsparpotenzial von 100 000 Tonnen CO₂

Das liegt vor allem an den sehr komplexen Schweißnähten: Die Jacket-Gründungen werden heute meist manuell aus einzelnen Stahlrohren zusammengesweißt und anschließend mit Spezialschiffen zu ihrem Einsatzort transportiert. Toleranzen bei der Fertigung von Hand und hohe Sicherheitsanforderungen erfordern eine konservative Auslegung der Bauteile. Das heißt, es werden gegenwärtig noch sehr dickwandige Stahlbleche verarbeitet, die den enormen Kräften von Wind und Wellen auf hoher See standhalten müssen.

„Durch automatisierte Schweißverfahren, mit denen man gleichzeitig belastbarere Schweißnähte erzielt, ließe sich die Festigkeit der Jackets erhöhen. Im Ergebnis könnte man Rohre mit geringeren Wandstärken verwenden und so die Menge an Stahl reduzieren“,

Offshore wind turbines are built on a massive support structure up to 60 metres high. Most of it is hidden below the waterline. A single steel pile is usually used for the mighty construction: a so-called monopile. It is easy to install but consumes a lot of resources. This is because up to 2,000 tonnes of steel are welded together for a single pile, which releases large quantities of CO₂.

The amount of CO₂ released is significantly lower if filigree support structures are used instead of monopiles. These lightweight structures are called jacket foundations. They need a lot less steel. However, welding them together still poses a technical challenge, which is why the industry has not yet taken advantage of these major CO₂ savings.

Savings potential of 100,000 tonnes of CO₂

This is mainly due to the very complex weld seams: Today, jacket foundations are usually welded together manually from individual steel pipes and then transported to their place of use by special ships. Tolerances in manual production and high safety requirements necessitate a conservative design of the components. This means that currently very thick-walled steel pipes are still processed, which must withstand the enormous forces of wind and waves on the high seas.

“The strength of the jackets could be increased through automated welding processes which at the same time strengthen the weld seams. As a result, one could use pipes with smaller wall thicknesses and thus reduce the amount of steel,” explains Andreas Pittner. “The potentials are impressive.” Compared to a monopile, a lightweight de-

erklärt Andreas Pittner. „Die Potenziale sind eindrucksvoll.“ Gegenüber einem Monopile ließen sich mit einer Leichtbau-Konstruktion 20 Prozent der Masse, d. h. ca. 400 Tonnen Stahl und damit rund 800 Tonnen CO₂ einsparen. Optimiert man das Design der Nähte weiter und nutzt energiesparende Schweißtechniken, würde sich der CO₂-Anteil weiter reduzieren. Insgesamt ergibt sich bei der Errichtung eines Windparks mit 100 Anlagen eine Reduktion von über 100 000 Tonnen CO₂.

Das Ziel: Schneller Technologietransfer in die Wirtschaft

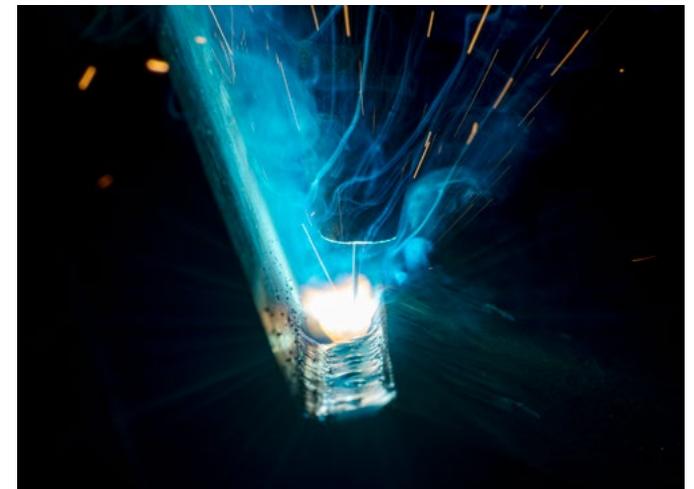
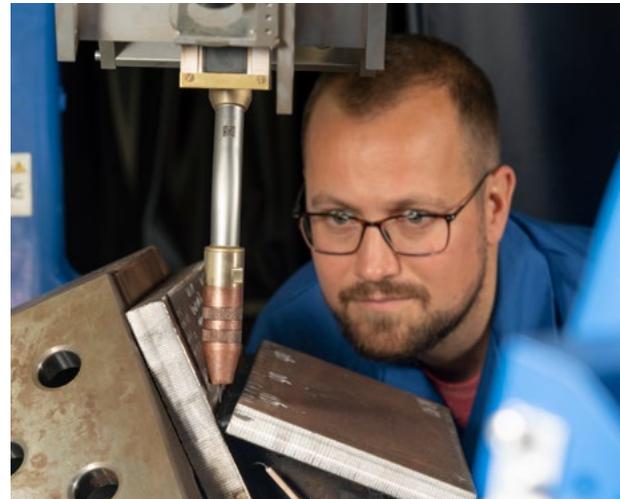
Gegenwärtig aber stellen die sehr komplexen Schweißnähte der Jackets eine Herausforderung für die automatisierte Fertigung dar – die wiederum wäre jedoch die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anwendung der Leichtbauprinzipien im Stahlbau.

sign could save 20 percent of the mass, i.e. about 400 tonnes of steel and thus around 800 tonnes of CO₂. If the design of the weld seams is further optimised and energy-saving welding techniques are used, CO₂ emissions could be reduced further. In total, the construction of a wind farm with 100 turbines can result in a reduction of over 100,000 tonnes of CO₂.

The goal: Rapid technology transfer to industry

However, the very complex weld seams of the jackets still pose a challenge for automated production and therefore hinder an economical application of lightweight construction principles in steel construction.

Der Roboter fertigt exaktere Schweißnähte, als ein Mensch es je könnte. Das ermöglicht Einsparungen beim Stahl – und damit an CO₂.
The robot produces more precise weld seams than a human could. This enables savings in steel – and thus in CO₂.





»Durch automatisierte Schweißverfahren ließe sich die Menge an Stahl für Offshore-Windräder reduzieren. Das Potenzial ist eindrucksvoll.«

»Through automated welding processes the amount of steel needed for offshore wind turbines can be reduced. The potential is impressive.«



Den damit verbundenen Fragestellungen widmet sich das Verbundprojekt „SmartWeld“, das Andreas Pittner leitet. „Wir wollen die Verwendung von Leichtbautechniken durch eine durchgängige Digitalisierung der gesamten Fertigungs- und Prüfkette ermöglichen“, so der Wissenschaftler. „Das betrifft vor allem die Überwachung der Nähte beim Schweißen selbst, aber auch bereits das Design der Anlagen, die Bauteilprüfung und das Qualitätsmanagement. Dabei arbeiten wir bewusst unter industrienahen Bedingungen, damit der Technologietransfer in die Wirtschaft schnell gelingen kann.“

„SmartWeld“ wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Technologietransfer-Programms Leichtbau mit 3,17 Millionen Euro gefördert und ist auf drei Jahre angelegt. Beteiligt sind neben der BAM das Institut für Stahlbau und das Testzentrum Tragstrukturen der Leibniz Universität Hannover, das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES), die Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH sowie das Ingenieurbüro Jörss – Blunck – Ordemann GmbH.

Die Tragstrukturen von Windenergieanlagen sind letztlich nur ein Anwendungsbeispiel für die Einsparpotenziale von CO₂ durch Leichtbau. Die Erkenntnisse von SmartWeld ließen sich später auch auf andere Bereiche übertragen, in denen großformatige Stahlbauten gefertigt werden, z. B. bei Tragstrukturen für Brücken. —

The joint project “SmartWeld”, led by Andreas Pittner, is looking for a solution to these issues. “We want to enable the use of lightweight construction technologies through the end-to-end digitalisation of the entire manufacturing and testing chain,” says the scientist. “This primarily concerns the monitoring of the seams during the welding process, but it is also relevant for the design of the equipment, component testing and quality management. We are deliberately working under real-life conditions so that the technology transfer to industry can succeed quickly.”

“SmartWeld” is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action as part of the Technology Transfer Programme Lightweight Construction with 3.17 million euros and is scheduled to run for three years. In addition to BAM, the Institute of Steel Construction and the Test Centre Support Structures of Leibniz Universität Hannover, the Fraunhofer Institute for Wind Energy Systems (IWES), Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH and the engineering firm Jörss - Blunck - Ordemann GmbH are involved.

The support structures of wind turbines are ultimately just one example of the CO₂ savings potential through lightweight construction. The findings of SmartWeld could later be transferred to other areas in which large-format steel structures are manufactured, such as support structures for bridges. —

Entscheidend für die Einsparpotenziale ist das optimierte Design der Schweißnaht (l.). Das Team überprüft das Werkstück (r.).
The optimised design of the weld seam is decisive for the potential savings (l.). The team checks the workpiece (r.).

Energie Energy

Windkraft: Schäden mit der Wärmebildkamera rechtzeitig erkennen

Wind power: Early damage
detection using thermal
imaging



Unterwegs in einem Windpark in Brandenburg (l.).
Mit einer Infrarotkamera (r.) lassen sich innere
Schäden an den Windrädern erkennen.
On the road at a wind farm in Brandenburg (l.).
With an infrared camera (r.) internal damages of
the blades can be detected.



Windräder müssen extremen Belastungen standhalten. Um größere Reparaturen oder Totalausfälle zu vermeiden, gilt es, Schäden rechtzeitig zu erkennen. Die BAM entwickelt ein Verfahren weiter, das Defekte im Inneren von Rotorblättern schneller erkennen lässt.
Wind turbines have to withstand extreme loads. In order to avoid major repairs or even total failure, any damage must be detected as soon as possible. BAM is developing a method that enables a faster discovery of defects inside rotor blades.

Die bis zu 120 Meter langen Rotorblätter von Windrädern sind Stürmen, Blitzeinschlägen und auf hoher See dem Salzwasser des Meers in besonderer Weise ausgesetzt. Beginnende Risse, sich lösende Materialschichten oder schadhafte Verklebungen sind bei Inspektionen selbst aus nächster Nähe oft nicht zu erkennen. Gleichzeitig sind regelmäßige Wartungen unverzichtbar, um Defekte rechtzeitig zu erkennen und kostenintensive, größere Reparaturen oder Totalausfälle zu vermeiden. Sie gewährleisten den sicheren Betrieb der Anlagen. Allerdings sind die bisherigen Inspektionsmethoden selbst aufwendig und teuer.

Wärmebildkamera erfasst Temperaturverläufe

Um in Zukunft kostengünstige, praktikable und sichere Überprüfungen zu ermöglichen, hat die BAM das Verfahren der Thermografie weiterentwickelt. Es macht sich Bilder aus einer Wärmebildkamera auf intelligente Weise zunutze.

„Die Methode basiert auf der Messung der Oberflächentemperaturen. Dabei nutzen wir die Sonneneinstrahlung und den Temperaturverlauf über den Tag hinweg“, erklärt Michael Stamm, Physiker und Experte für thermografische Verfahren. „Mit einer Infrarotkamera erfassen wir vom Boden oder von einer Drohne aus die Rotorblätter einer Windkraftanlage. Aus den räumlichen und zeitlichen Temperaturverläufen innerhalb des Bauteils können wir Informationen über verborgene Schäden oder strukturmechanische Eigenschaften ableiten. Denn Hohlräume oder Risse im Innern, die auf Defekte hinweisen, bewirken wiederum Temperaturkontraste an der Oberfläche.“

The rotor blades of wind turbines, which can be up to 120 metres long, are exposed to storms, lightning strikes and, on the high seas, to the salt water of the ocean. Small cracks, loosening material layers or damaged adhesions are often not visible during inspections, even at close range. At the same time, regular maintenance is necessary in order to detect defects in time and to avoid cost-intensive repairs or total failures. They ensure the safe operation of the plants. However, the inspection methods used today are time-consuming and expensive.

Thermal imaging camera tracks temperature

In order to make inspections more cost-effective, practicable and safe in the future, BAM is working on improving thermal imaging methods. They make use of images from a thermal imaging camera in an intelligent way.

“The method is based on measuring surface temperatures. We use solar radiation and the temperature curve throughout the day,” explains Michael Stamm, physicist and an expert in thermographic methods. “With an infrared camera, we take thermal pictures of rotor blades from the ground or with the help of a drone. From the spatial and temporal temperature gradients within the component, we can derive information about hidden damage or structural-mechanical properties. Because internal voids or cracks, which indicate defects, in turn cause temperature contrasts on the surface.”



Michael Stamm und Ludwig Rooch bereiten die Messung vor. Die passive Thermografie macht sich natürliche Temperaturveränderungen zunutze.

Michael Stamm and Ludwig Rooch prepare the measurement. Passive thermography uses the natural temperature variations.

Dabei ist es entscheidend, zum Zeitpunkt maximaler Temperaturkontraste zu messen, etwa am sonnigen Morgen nach einer kalten Nacht oder am Abend eines warmen Sommertags. Nur so lässt sich ein Defekt überhaupt feststellen, weil die entscheidenden Temperaturunterschiede sich nur dann zeigen. Die zusätzliche Herausforderung besteht darin, den Einfluss äußerer Parameter wie wechselnde Sonneneinstrahlung, natürliche Temperaturschwankungen durch Tageszeit oder Wind zu verstehen und „herauszurechnen“. Simulationsmodelle am Computer sollen hier helfen.

It is crucial to measure at the time of maximum temperature contrasts, for example in the sunny morning after a cold night or in the evening of a warm summer day. This is the only way to detect a defect because significant temperature differences only show up at these times. The additional challenge is to understand and reduce the influence of external parameters such as changing solar radiation, natural diurnal temperature fluctuations or wind. Computer simulation models should help here.



Bei der Messung werden alle drei Rotorblätter einer Anlage erfasst. Temperaturdifferenzen weisen auf strukturelle Schäden hin.
The measurement contains all three rotor blades of a turbine. Temperature differences indicate structural damage.



Temperaturdifferenzen weisen auf Schäden hin

„Wir beziehen bei unseren numerischen Simulationen aktuelle Wetterdaten und Wettervorhersagen mit ein, um die Messergebnisse besser zu verstehen“, so Michael Stamm.

Gleichzeitig verwenden die Wissenschaftler*innen das bereits von der BAM patentierte Verfahren der Differenzmessung: Die Temperaturverteilungen an allen drei Rotorblättern einer Windkraftanlage werden dazu durch eine Messung erfasst und anschließend miteinander verglichen. Differenzen zwischen den baugleichen Komponenten weisen auf potenzielle Schäden hin und ermöglichen ein frühzeitiges Eingreifen.

Für die sehr komplexen Messungen und Datenauswertungen werden Hard- und Software bestmöglich aufeinander abgestimmt, um die passive Thermografie praxisreif zu machen.

Im Projekt EvalTherm, das vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert wird, kooperieren unter der Leitung der BAM das Fraunhofer-Institut für Holzforschung, das eine langjährige Expertise bei der Rotorblattinspektion besitzt, die InfraTec GmbH, die eine spezielle, drohnenaugliche Infrarotkamera entwickelt, sowie die clockworkX GmbH, die auf die Verknüpfung von Anlagendaten mit Mess- und Wetterdaten spezialisiert ist. Die BAM ist neben der Gesamtkoordination für die Datenauswertung, die Testmessungen und die Simulationen zuständig.

„Wir hoffen, dass unsere Forschungsergebnisse schon bald zu einem marktreifen System führen, das sichere, zuverlässige und zugleich kostengünstigere Inspektionen an den Rotorblättern von Windkraftanlagen erlaubt“, so Michael Stamm. —

Temperature differences indicate damage

“We include current weather data and weather forecasts in our numerical simulations to better understand the measurement results,” says Michael Stamm.

At the same time, the scientists use a differential measurement method already patented by BAM: The temperature distributions on all three rotor blades of a wind turbine are recorded and then compared with each other. Differences between the identical components indicate potential damage and enable early intervention.

For these very complex measurements and data evaluations, hardware and software are coordinated in the best possible way to make passive thermography ready for practical use.

The EvalTherm project is funded by the Ministry for Economic Affairs and Climate Action and Technology. The Fraunhofer Institute for Wood Research, which has many years of expertise in rotor blade inspection, InfraTec GmbH, which is developing a special infrared camera suitable for use with drones, and clockworkX GmbH, which specialises in linking plant data with measurement and weather data, are cooperating on this project under the leadership of BAM. In addition to overall coordination, BAM is responsible for data evaluation, test measurements and simulations.

“We hope that our research results will soon lead to a market-ready system that allows safe, reliable and at the same time more cost-effective inspections of wind turbine rotor blades,” says Michael Stamm. —



Energie | **Infrastruktur** | Umwelt | Material | Analytical Sciences

Energy | **Infrastructure** | Environment | Materials | Analytical Sciences

Infrastruktur Infrastructure

Neue Sicherheitskonzepte für den Ernstfall

New safety concepts
for emergencies



Sprengversuch, um die verbleibende Tragfähigkeit eines Gebäudes zu bestimmen. Daniel Krentel (r.) und das Security-Team testen Szenarien im Realmaßstab
Blasting test to determine the remaining load-bearing capacity of a building. Daniel Krentel (r.) and the security team test scenarios on a real scale.



Großbrände, Explosionen oder andere Katastrophen erfordern Schutzkonzepte, um ihre Auswirkungen für die Bevölkerung und kritische Infrastrukturen zu minimieren. Das Security-Team der BAM untersucht mögliche Schadensszenarien, um geeignete Abwehrmaßnahmen und Einsatztaktiken zu entwickeln.

Large fires, explosions or other disasters require protection models to minimise their impact on people and critical infrastructure. For this purpose, BAM's security team is investigating potential damage scenarios to develop suitable protection measures and operational tactics.

Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) wie Feuerwehren, das Technische Hilfswerk oder die Polizei müssen im Katastrophenfall schnell reagieren und Entscheidungen zum Schutz der Bevölkerung treffen. Jedoch sind die Gefährdungslagen sehr vielfältig und komplex: So können am Einsatzort Gase austreten oder bislang unbekannte Sprengstoffe verwendet worden sein. Das Wissen der Einsatzkräfte zu diesen potenziellen Risiken ist oftmals nicht ausreichend. Die Transformation zu einer klimaneutralen Gesellschaft bringt neben allen Vorteilen und Chancen auch neue Technologien wie nachhaltige Energiespeicher oder recycelbare Baustoffe mit sich, für die bislang keine oder nur wenige Informationen zum Verhalten im Gefahrenfall vorliegen.

„Um das Schadenspotenzial und -ausmaß im Katastrophenfall umfassend zu beurteilen, sind ‚Was wäre, wenn?‘-Betrachtungen notwendig“, erläutert Daniel Krentel, Sprecher des Bereichs Security an der BAM. „Diese Aufgabe können BOS nicht allein bewältigen. Wir unterstützen sie deshalb dabei, mögliche Auswirkungen von Bränden, Explosionen und anderen Gefahrenlagen zu ermitteln, diese zu analysieren und anschließend zu bewerten, um Handlungsempfehlungen abzuleiten.“ Allerdings lassen sich nicht alle Szenarien am Computer simulieren. Viele von ihnen müssen experimentell erprobt und validiert werden, um wirklich belastbare Informationen zu erhalten. Am besten geschieht dies im Realmaßstab.

Großversuche im Realmaßstab zu Explosionsauswirkungen

Die BAM verfügt dafür über exzellente Voraussetzungen: Auf ihrem zwölf Quadratkilometer großen Testgelände Technische Sicherheit in Brandenburg kann sie verschiedene Szenarien im Realmaßstab nach-

Authorities and organisations with safety responsibilities (BOS) such as fire departments, the Federal Agency for Technical Relief (THW) or the police must react quickly in the event of a catastrophe and make rapid decisions to protect the population. However, the emergencies are very diverse and complex: gases may escape at the incident site or previously unknown explosives may have been used. The knowledge available to emergency teams about these potential risks is often insufficient. In addition to all the advantages and opportunities, the transformation to a climate-neutral society is also accompanied by new technologies and materials such as hydrogen, recyclable building materials or electrical energy storage systems, for which there is as yet little or no information available on what to do in the event of an emergency.

“What-if” considerations are necessary in order to comprehensively assess the damage potential and extent in the event of disasters,” explains Daniel Krentel, spokesman for BAM’s area of security. “This is a task that BOS cannot accomplish alone. We therefore support them in identifying, analysing and evaluating the potential impacts of fires, explosions and other emergencies to derive and adapt standard operation procedures.” However, not all scenarios can be simulated by computers, but many of them must be tested and validated experimentally to obtain truly robust information. This is best done using full-scale tests.

Pilotplant enables full-scale tests on the impacts of explosions

BAM has excellent facilities on its 12 km² Test Site for Technical Safety in Brandenburg that enables full-scale simulation and investigation of various scenarios. The impacts of improvised explosive

»Wir unterstützen BOS dabei, Auswirkungen von Bränden, Explosionen und anderen Gefahrenlagen zu analysieren und Handlungsempfehlungen abzuleiten.«

»We support BOS in analysing the impact of fires, explosions and other emergencies to derive standard operations procedures.«

Mit speziellen Dummies werden die Auswirkungen einer Detonation auf den menschlichen Körper erforscht.
Special dummies are used to research the effects of a detonation on the human body.



stellen und untersuchen. Dafür stehen verschiedenste Messtechniken und -methoden zur Verfügung. Auch Auswirkungen unkonventioneller Spreng- und Brandvorrichtungen, zu denen etwa selbsthergestellte Sprengfallen zählen, werden analysiert.

Aktuell untersucht das Team die Einwirkung von Detonationen auf Gebäudestrukturen, wie z. B. Wände. Die Wissenschaftler*innen wollen standardisierte Methoden entwickeln, mit denen sich im Ernstfall die verbleibende Tragfähigkeit eines Bauwerks ermitteln lässt. Zugleich sollen Ertüchtigungsmaßnahmen für bestehende Gebäude abgeleitet werden. Um das Verformungs- und Schadensverhalten von Stahlträgern, Betondecken und Mauerwerk zu ermitteln, kommen zerstörungsfreie Messverfahren wie faseroptische Sensorik, Ultraschall, Bildkorrelation und Beschleunigungssensoren zum Einsatz.

devices including homemade booby traps and other terrorist scenarios can also be analysed using available measurement techniques and methods.

The team is currently investigating the impacts of detonations on building structures, e.g. walls. The scientists want to develop standardised methods that can be used to determine the residual load-bearing capacity of a building in an emergency and strengthening measures for existing buildings that should also be developed. Non-destructive measurement methods such as fibre-optic sensors, ultrasound, image correlation and acceleration sensors will be used to determine the deformation and damage behaviour of steel girders, concrete ceilings and reinforced concrete walls.



Ganzheitliche Betrachtung im Fokus

„Auf Basis der vielfältigen Daten aus den Versuchen können wir beschädigte Gebäude umfassend beurteilen und erhalten ein viel aussagekräftigeres Bild, als es der bloße Augenschein oder eine einzelne Methode erlaubt“, erklärt Daniel Krentel. „Erst diese ganzheitliche Betrachtung, die bei uns im Fokus steht, vermittelt das gesamte Ausmaß einer Gefahrensituation.“

Neben der Einwirkung von Explosionen auf Gebäude und Infrastrukturen untersuchen die Security-Expert*innen auch die Folgen für Menschen. Dazu dienen Versuche mit speziellen Dummies und Körpermodellen. So lässt sich etwa ermitteln, wie ein Druckstoß auf innere Organe und Gewebe wirkt. Gemeinsam mit Mediziner*innen des Bundeswehrkrankenhauses Berlin erarbeitet die BAM Grundlagen zum Verständnis der Verletzungsmechanismen. Ziel aller Untersuchungen ist es, gemeinsam mit den BOS wirkungsvolle Schutzkonzepte zu entwickeln oder bestehende zu verbessern. —

Emphasis on a holistic approach

“Based on the diverse data from the tests, we can comprehensively assess damaged buildings and obtain a much more practical picture than a mere visual inspection or a single method would provide,” explains Daniel Krentel. “Only this holistic approach, which is our guideline, conveys the full extent of an emergency situation.”

In addition to the impacts of explosions on buildings and infrastructure, the security experts are also investigating the consequences on humans. Tests on special dummies and body models are used for this purpose and impacts of blast on internal organs and tissue will be determined. BAM is developing a basis for understanding the mechanisms of injuries together with physicians from the Bundeswehr Hospital in Berlin. The aim of all the investigations is to develop effective protection concepts together with BOS or to improve existing ones. —

Das Security-Team der BAM arbeitet eng mit dem Technischen Hilfswerk, Feuerwehren und der Polizei zusammen, um den Schutz in Gefahrenlagen zu verbessern.

BAM's security team works closely with the Federal Agency for Technical Relief, fire brigades and the police to increase protection in hazardous situations.

Infrastruktur Infrastructure

Klimaschutz: Waldbrände wirksam bekämpfen

Climate protection: Fighting
forest fires effectively



Waldbrände beschleunigen den globalen Klimawandel. Anja Hofmann-Böllinghaus (r.) forscht an Gegenstrategien.
Forest fires accelerate global climate change. Anja Hofmann-Böllinghaus (r.) is researching counterstrategies.



Waldbrände sind eine Gefahr für das Klima: Sie setzen enorme Mengen CO₂ frei und zerstören die natürliche Schutzwirkung von Wäldern gegen die Erderwärmung. Anja Hofmann-Böllinghaus forscht in einem EU-Projekt zur wirksamen Bekämpfung von Waldbränden und ihrer Prävention.

Forest fires are a threat to the climate. They release enormous amounts of CO₂ and destroy the natural protective effect of forests against global warming. Anja Hofmann-Böllinghaus participates in a EU research project dedicated to the effective control of forest fires and their prevention.

Waldbrände haben weltweit in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Allein 2021 wüteten verheerende Feuer im Mittelmeerraum, in den USA, Kanada und in Sibirien und vernichteten viele Millionen Hektar Wald. Sogar am Polarkreis hat es gebrannt. In Deutschland ist besonders Brandenburg von der Zunahme der Brände betroffen. Wissenschaftler*innen gehen davon aus, dass mit dem Klimawandel das Risiko solcher Umweltkatastrophen drastisch steigen wird. Denn auch Hitzeperioden und Trockenheit nehmen mit der fortschreitenden Erderwärmung zu – ideale Katalysatoren für die Brände.

Sie bedrohen nicht nur das Leben vieler Menschen und setzen dabei enorme Mengen an Kohlendioxid und klimaschädlichen Substanzen wie Methan und Ruß frei. Nach einer Schätzung des europäischen Atmosphärenüberwachungsdienstes Copernicus emittierten die Brände 2021 so viel CO₂ wie niemals zuvor. Zugleich vernichteten die Feuer große Waldflächen, die für die Verlangsamung des Klimawandels wichtig wären. „Wälder binden in hohem Maße CO₂ und tragen durch ihr Binnenklima zur Abkühlung bei“, erklärt Anja Hofmann-Böllinghaus. „Umso entscheidender ist es, Brände möglichst früh zu erkennen, sie zu begrenzen und möglichst durch präventive Maßnahmen ganz zu verhindern.“

Forest fires have increased sharply worldwide in recent decades. In 2021 alone, devastating fires raged in the Mediterranean, the United States, Canada and Siberia, destroying many millions of hectares of forest. There have even been fires in the Arctic Circle. In Germany, Brandenburg has been particularly affected by the increase in fires. Scientists assume that climate change will continue to increase the risk of such environmental disasters dramatically. This is because periods of heat and drought also increase as global warming progresses and they are ideal catalysts for fires.

Not only do they threaten the lives of many people, but they also release enormous amounts of carbon dioxide and climate-damaging substances such as methane and smoke. The European atmospheric monitoring service Copernicus estimates that fires released more CO₂ in 2021 than ever before. At the same time, fires destroy large areas of forests that are extremely significant in slowing down climate change. “Forests can absorb large amounts of CO₂ and contribute to cooling by their internal climate,” explains Anja Hofmann-Böllinghaus. “This makes it all the more important to detect fires as early as possible, limit them and, if possible, prevent them altogether by preventive measures.”

Feuchtigkeit sowie Dichte und Aufbau des organischen Materials im Wald beeinflussen die Ausbreitung eines Feuers. Anja Hofmann-Böllinghaus untersucht Proben im Labor.

Humidity as well as the density and structure of the organic material in the forest influence the spread of a fire. Anja Hofmann-Böllinghaus examines samples in the lab.





Neben den Brandversuchen im Labor werden Drohnen für ein ganzheitliches Brandmanagement eingesetzt. In addition to the fire tests in the laboratory, drones are used for holistic fire management.

Virtual Reality und Drohnen zur Früherkennung

Die Brandingenieurin ist an einem europäischen Großprojekt beteiligt, zu dem sich 46 Institutionen zusammengeschlossen haben. Ziel des Vorhabens, das vom EU-Programm Horizon 2020 mit fast 23 Millionen Euro gefördert wird, ist die Entwicklung eines ganzheitlichen Brandmanagementsystems.

Dabei soll modernste Technik zum Einsatz kommen: Virtual Reality bei der Ausbildung von Einsatzkräften, Drohnen für die Überwachung von Wäldern in Echtzeit sowie ein integriertes Risikobewertungssystem vor Ort, mit dem sich Brände wirkungsvoll bekämpfen oder möglichst ganz verhindern lassen. In dieses System sollen Daten der rund 40 Satelliten von Copernicus einfließen, die die Europäische Weltraumorganisation ESA dem Projekt zur Verfügung stellen wird. Implementiert wird das Brandmanagementsystem zunächst in acht der beteiligten Länder. In Deutschland findet der Testlauf unter Leitung der BAM statt, die langjährige Erfahrung in der experimentellen Untersuchung von Bränden und ihrer Ausbreitung hat.

Virtual reality and drones for early detection

The fire engineer is involved in a major European project in which 46 institutions have joined their forces. The aim of the project, which is funded by the EU Horizon 2020 programme with almost 23 million euros, is to develop a holistic fire management system.

State-of-the-art technology will be used: training emergency personnel using virtual reality, drones for monitoring forests in real time, and an integrated on-site risk assessment system that can effectively fight fires or, if possible, prevent them altogether. Approximately 40 Copernicus satellites to be provided to the project by the European Space Agency (ESA) will feed their data into this system. The fire management system will initially be implemented in eight participating countries. In Germany, the test run will be headed by BAM, which has many years of experience in the experimental investigation of fires and their spread.

Waldboden beeinflusst die Brandausbreitung

„Wir werden Bodenproben aus Brandenburg und Sachsen-Anhalt, Regionen, die in Deutschland in den letzten Jahren besonders von Waldbränden betroffen waren, auf ihre Rolle bei der Brandausbreitung untersuchen“, erklärt Hofmann-Böllinghaus. „Bekannt ist bereits, dass Feuchtigkeit und der Anteil des organischen Materials wichtige Einflussfaktoren sind. Nun wollen wir Parameter wie Dichte, pH-Wert und den speziellen Aufbau des organischen Materials im Waldboden näher untersuchen. Die Erkenntnisse sind fundamental, um zu verstehen, wie sich Waldbrände ausbreiten, aber auch um die Wirksamkeit von Löschmaßnahmen und die Wahl geeigneter Löschmittel beurteilen zu können.“

Zusätzlich werden die Forscher*innen Simulationen einsetzen und mittels künstlicher Intelligenz und maschinellen Lernens Modelle zur Vorhersage der Ausbreitung von Bränden entwickeln. „Wir wollen allen, die an der Prävention von Waldbränden beteiligt sind, aber auch Einsatzkräften der Feuerwehr oder dem Katastrophenschutz mit dem Brandmanagementsystem Wissen und wirkungsvolle Hilfsmittel an die Hand geben“, so Anja Hofmann-Böllinghaus. „Mit unserer Arbeit hoffen wir, die Auswirkungen von Waldbränden auf den Klimawandel zu begrenzen und zugleich die Schutzfunktion von Wäldern als CO₂-Speicher zu stärken.“ —

Forest soil influences the spread of fire

“We will test soil samples from Brandenburg and Saxony-Anhalt, regions that have been particularly affected by forest fires in Germany in recent years, and determine their role in fire spread,” explains Hofmann-Böllinghaus. “It is known that moisture and the proportion of organic material are important parameters. Now we want to investigate parameters such as density, pH and the specific structure of the organic material in the forest soil in more detail. The findings are fundamental to understand how forest fires spread and also to be able to assess the effectiveness of extinguishing measures and the choice of suitable extinguishing agents.”

In addition, the scientists will use simulations and develop models to predict the spread of fires using artificial intelligence and machine learning. “We want a fire management system that will provide knowledge and effective tools to everyone involved in forest fire prevention and to emergency personnel from the fire department or disaster control,” says Anja Hofmann-Böllinghaus. “We hope that our work will limit the impact of forest fires on climate change and at the same time strengthen the protective function of forests as CO₂ reservoirs.” —





Energie | Infrastruktur | **Umwelt** | Material | Analytical Sciences

Energy | Infrastructure | **Environment** | Materials | Analytical Sciences

Umwelt Environment

Gemeinsam gegen mikrobiell beeinflusste Korrosion

Uniting forces against microbiologically
influenced corrosion



Mikroben fressen sich sogar durch Stahl (l.). Andrea Koerdt (r.) forscht international vernetzt zur Korrosion durch die Einzeller.

Microbes even eat through steel (l.). Andrea Koerdt (r.) conducts internationally networked research on corrosion by protozoa.



Korrosion durch Mikroorganismen ist ein weltweites Problem. Betroffen sind Materialien jeglicher Art: Stahl, Glas, Kunststoffe und sogar Beton. Andrea Koerdt koordiniert ein europäisches Forschungsnetzwerk, das mit einem interdisziplinären Ansatz Gegenstrategien entwickelt.

Corrosion by microorganisms is a worldwide problem and all kinds of material can be affected: steel, glass, plastics and even concrete. Andrea Koerdt coordinates a European research network that applies an interdisciplinary approach to develop appropriate counterstrategies.

Mikroben sind Einzeller, die mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind. Von ihnen existieren Abermillionen Spezies. Sie besiedeln Oberflächen, attackieren sie teils direkt oder produzieren durch ihren Stoffwechsel chemische Substanzen, die für den Untergrund schädlich sind. Mikrobiell beeinflusste Korrosion oder kurz MIC (Microbiologically Influenced Corrosion) wird so zur Gefahr für wichtige Infrastrukturen und Einrichtungen der Energieversorgung: Brücken, Hafenanlagen, Autobahnen, Strommasten, Windräder, Pipelines oder Turbinen. Allein für Deutschland beziffert der Bundesverband Korrosionsschutz die jährlichen Schäden auf 30 Milliarden Euro. Ein wirkungsvoller Schutz gegen MIC ist bislang nicht bekannt.

Klimawandel begünstigt MIC

Bislang wird MIC in Europa nur sehr vereinzelt erforscht. Es fehlt an einem Austausch zwischen Industrie und akademischer Welt. Auch mangelt es oft an einem interdisziplinären Ansatz – der angesichts der Breite der betroffenen Werkstoffe und Bereiche jedoch sinnvoll wäre. Zudem gehen Expert*innen davon aus, dass der globale Klimawandel das Phänomen MIC noch weiter begünstigen wird. Denn die Erderwärmung beschleunigt den Stoffwechsel der anpassungsfähigen Einzeller – mit der Folge, dass sich die Lebensdauer von Materialien signifikant reduzieren wird. Umso dringender sind wirksame Gegenstrategien.

An der BAM, die zur Sicherheit von Materialien und Werkstoffen forscht, ist MIC schon länger ein thematischer Schwerpunkt. Sie ist auf diesem Gebiet so breit aufgestellt wie kaum ein anderes Institut in Europa. Wissenschaftler*innen aus rund 15 Disziplinen arbeiten dazu gemeinsam über die Grenzen ihrer Fächer hinweg zusammen.

Microbes are single-celled organisms that cannot be seen with the naked eye. Many millions of different species exist. They colonise all kinds of surfaces, sometimes attacking them directly or producing chemical substances through their metabolism that can be harmful to the substrate. Microbiologically Influenced Corrosion, or MIC for short, has thus become a threat to critical infrastructure and energy supply facilities: bridges, port facilities, motorways, electricity pylons, wind turbines, pipelines or turbines. Federal Association for Corrosion Protection estimates the annual damage at 30 billion euros in Germany alone. Effective protection methods against MIC are not yet known.

Climate change promotes MIC

So far, MIC has only been researched sporadically in Europe. There is a lack of exchange between industry and academia. There is also often a lack of an interdisciplinary approach – which would, however, make sense in view of the breadth of the materials and areas affected. In addition, experts assume that global climate change will further encourage the MIC phenomenon. Global warming accelerates the metabolism of the adaptable microbes with the result that the life span of materials can be significantly reduced. Effective counterstrategies are therefore all the more urgently needed.

At BAM, which conducts research into the safety of materials, MIC has long been a focus area. BAM is more broadly positioned in this field than almost any other institute in Europe. Scientists from around 15 disciplines work together across the boundaries of their research areas.

Diesen interdisziplinären Ansatz erweitert Andrea Koerdt, die an der BAM die Forschungen zu MIC koordiniert, jetzt auf die internationale Ebene. Zusammen mit Torben Lund Skovhus vom VIA University College im dänischen Aarhus hat die Mikrobiologin 2021 das Netzwerk Euro-MIC gegründet.

„Mit Euro-MIC wollen wir ein interdisziplinäres und kollaboratives Netzwerk insbesondere für junge Forscher*innen schaffen“, so Andrea Koerdt. „Durch den verbesserten Austausch zwischen akademischer Welt und Industrie hoffen wir, wirksame Präventionsmethoden gegen MIC entwickeln zu können.“

The microbiologist Andrea Koerdt, who coordinates research on MIC at BAM, now extends this interdisciplinary approach to the international level. She founded the Euro-MIC network in 2021 together with Torben Lund Skovhus of VIA University College in Aarhus, Denmark.

“With Euro-MIC, we want to create an interdisciplinary and collaborative network, especially for young researchers,” says Andrea Koerdt. “By improving exchange between academia and industry, we hope to develop effective preventive methods against MIC.”



Andrea Koerdt setzt Metallproben gezielt einem Medium mit Mikroben aus, um die Mechanismen der Einzeller zu entschlüsseln.

Andrea Koerdt deliberately exposes metal samples to a medium with microbes in order to decipher the mechanisms of the single-celled organisms.



»Durch den verbesserten Austausch zwischen akademischer Welt und Industrie wollen wir wirksame Präventionsmethoden gegen MIC entwickeln.«

»By improving exchange between academia and industry, we want to develop effective preventive methods against MIC.«

Euro-MIC wird von der europäischen Förderorganisation Cooperation in Science and Technology (COST) unterstützt. COST fördert internationale Netzwerke und will dadurch Impulse geben für Innovationen in der Forschung.

100 Institutionen aus 40 Ländern

Beteiligt an Euro-MIC sind fast 100 Institutionen aus 40 Ländern – von Norwegen über Griechenland und Portugal bis Zypern. Vertreten sind neben den 38 COST-Mitgliedsstaaten auch Länder wie Australien, Japan, Kanada oder die USA. Euro-MIC ist also tatsächlich eher ein globales Netzwerk.

Euro-MIC is supported by the European funding organisation Cooperation in Science and Technology (COST). COST promotes international networks and thus aims to promote innovation in research.

100 institutions from 40 countries

Almost 100 institutions from 40 countries are involved in Euro-MIC, from Norway to Greece and from Portugal to Cyprus. In addition to the 38 COST member states, countries such as Australia, Japan, Canada and the United States are also represented, making Euro-MIC really more of a global network.

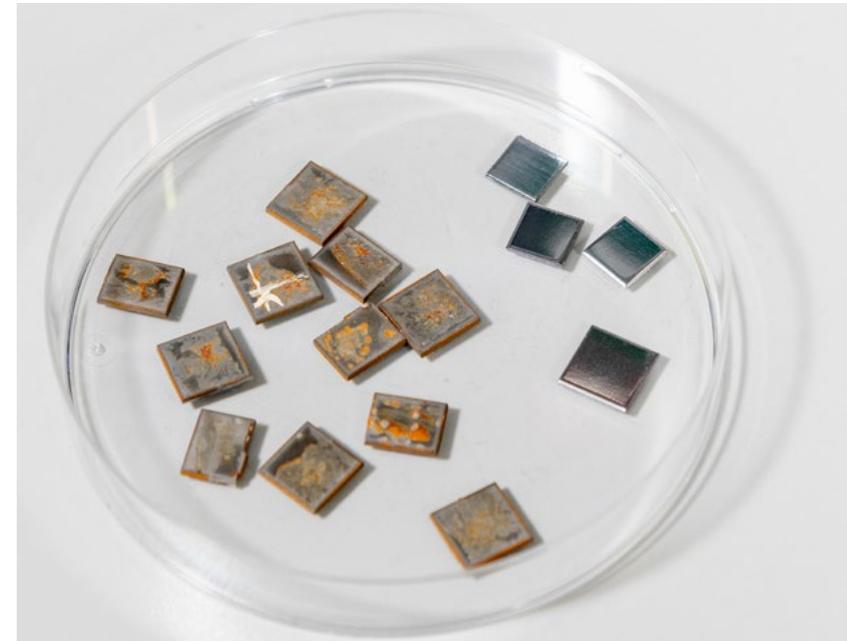
Die Mitglieder wollen zunächst eine gemeinsame Terminologie entwickeln, um die Verständigung über Fächergrenzen hinweg zu erleichtern. Weitere Ziele sind die Erforschung von Diagnosemethoden, das Monitoring von MIC sowie die Suche nach effektiven Gegenstrategien. Geplant sind Online-Kurse, Workshops, Summer Schools, Konferenzen und Citizen-Science-Projekte.

„Mit Euro-MIC begegnen wir einem weltweiten Problem durch Internationalisierung und Vernetzung, weil große Herausforderungen in der Wissenschaft heute nur durch Kollaboration und interdisziplinären Austausch gelöst werden können“, so Andrea Koerdt. —

The members first want to develop a common terminology to facilitate understanding across disciplinary boundaries. Other goals are to research diagnostic methods, monitor MIC and search for effective counterstrategies. Online courses, workshops, summer schools, conferences and citizen science projects are being planned.

“Euro-MIC addresses a worldwide problem through internationalisation and networking because major challenges in today’s science can only be solved by collaboration and interdisciplinary exchange,” says Andrea Koerdt. —

Im Vergleich: Die dem Medium ausgesetzten Proben zeigen deutliche Spuren von Korrosion.
In comparison: the samples exposed to the medium show clear traces of corrosion.





Umwelt Environment

Kreislaufwirtschaft: Weniger CO₂ durch bessere Verwertung von Stahlwerkschlacken

Circular economy: Less CO₂
through better recycling of
steelworks slags

Im Lichtbogenofen der BAM wird Stahl abgestochen (l.). Christian Adam und Katharina Schraut (r.) wollen die Schlacke auf zweifache Weise nutzen.
Steel is tapped in BAM's electric arc furnace (l.). Christian Adam and Katharina Schraut (r.) want to use the slag in two ways.



Schlacke aus der Stahlproduktion ist eine bedeutende Ressource, die bislang kaum für die Kreislaufwirtschaft genutzt wird. Dabei ließe sich aus ihr nicht nur Roheisen zurückgewinnen, sondern auch ein hochwertiges Bindemittel für die Zementindustrie entwickeln. Damit könnten große Mengen CO₂ eingespart werden.
Slag from steel production is an important resource that has so far hardly been used for the circular economy. Yet not only could crude iron be recovered from steelmaking slags, but a high-quality binder for the cement industry could also be developed. This could save large quantities of CO₂.

Bei der Herstellung von Stahl werden in Deutschland jedes Jahr über fünf Millionen Tonnen Schlacke als Nebenprodukt erzeugt. Die Schlacke wird Asphalt für den Straßenbau beigemischt, beim Kanalbau oder als Schotter für Gleisbette verwendet. Das in ihr enthaltene Eisen bleibt dabei ungenutzt, obwohl es recycelt werden könnte.

Zero Waste in der Stahlproduktion

Ein Projekt an der BAM zielt jetzt auf Zero Waste – also auf die möglichst vollständige Verwertung der Schlacke. Gefördert wird es durch das Programm „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

„Wir wollen das Eisenoxid aus der Schlacke zu Roheisen reduzieren und so wieder der Stahlproduktion zuführen“, erklärt Christian Adam, Leiter des Projekts und Experte für Kreislaufwirtschaft an der BAM. „So ließen sich allein in Deutschland jedes Jahr 600 000 Tonnen an Roheisen zurückgewinnen und damit 900 000 Tonnen Eisenerz ersetzen, die sonst importiert werden müssten.“

Die BAM besitzt langjährige Erfahrung bei der Nachbehandlung von Schlacken. So konnte bereits gezeigt werden, dass das Verfahren technisch funktioniert. Mehr noch: Es besitzt sogar einen zweiten großen Nutzen, denn bei der Eisenreduktion wird ein hochwertiges mineralisches Bindemittel als Nebenprodukt erzeugt. Es könnte in der Zementindustrie anstatt des üblichen Portlandzementklinkers eingesetzt werden. Portlandzementklinker wird aus Ton und Kalkstein hergestellt, die im Bergbau gewonnen und unter hohem Energieaufwand verarbeitet werden müssen. Nicht zuletzt deshalb zählt die Zementindustrie mit acht Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes zu den größten Emittenten des Klimagases. Das neue Bindemittel könnte helfen, viele Tonnen schädlichen Treibhausgases einzusparen und gleichzeitig den Rohstoffverbrauch zu senken.

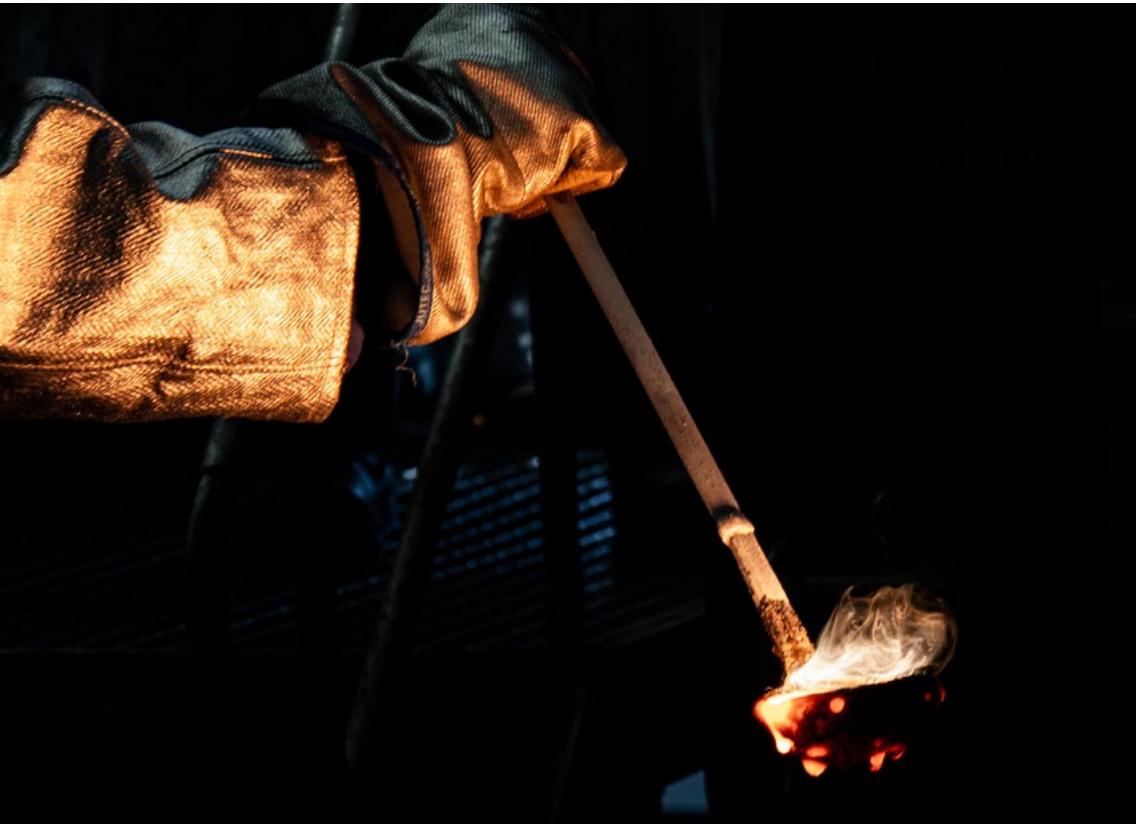
Steel production in Germany generates more than five million tonnes of slag as a by-product every year. This steelmaking slag is added to asphalt for road construction, used in hydraulic engineering or as ballast for track beds. The iron content in the slags remains unused, even though it could be recycled.

Zero Waste in steel production

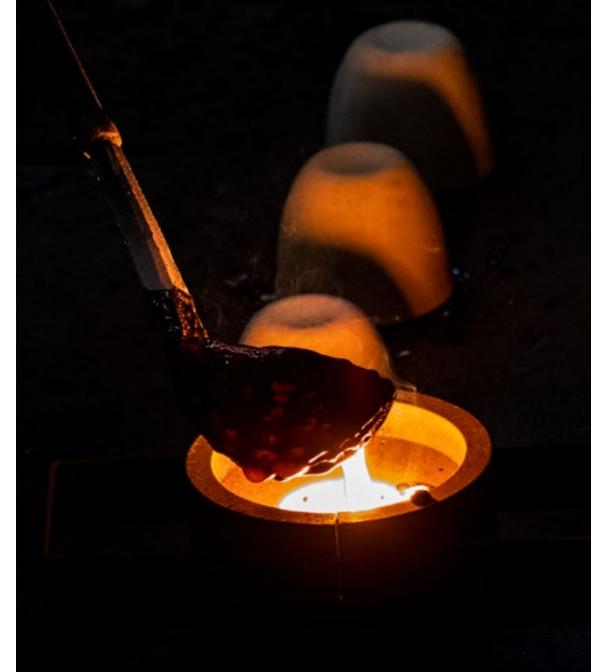
A project at BAM is now aiming at zero waste – i.e. recycling the slag as completely as possible. It is funded by the “Resource-efficient closed-loop economy” programme of the Federal Ministry of Education and Research.

“We want to reduce the iron oxide from the slag to metallic iron and return it to steel production,” explains Christian Adam, head of the project and an expert in recycling management at BAM. “This way, 600,000 tonnes of crude iron could be recovered each year in Germany alone, replacing 900,000 tonnes of iron ore that would otherwise have to be imported.”

BAM has many years of experience in the post-treatment of slags. It has already been shown that the process works from a technical point of view. Furthermore: the process even has a second major benefit, because a high-quality mineral binder is produced as a by-product during iron reduction. This binder could be used in the cement industry instead of conventional Portland cement clinker. Portland cement clinker is made from clay and limestone, which have to be mined and processed with high energy input. Not least for this reason, the cement industry is one of the largest emitters of this greenhouse gas, accounting for eight percent of global CO₂ emissions. The new binder could help to save many tonnes of this harmful greenhouse gas and at the same time reduce raw material consumption.



Die Nachbehandlung der Schlacken erfordert hohe Temperaturen. Die BAM entwickelt technische Lösungen mit besserer Ökobilanz.
The post-treatment of the slags requires high temperatures. BAM is developing technical solutions with a better eco-balance.



Es gibt aber eine technische Herausforderung: Der Prozess erfordert Temperaturen von über 1800 Grad Celsius. Bislang wird Schlacke in Stahlwerken aber bei lediglich 1600 Grad abgestochen. Es würde also viel Energie erfordern, auf die höhere Betriebstemperatur zu gelangen. Daher ist der Prozess mit dem doppelten Nutzen im industriellen Maßstab technisch schwierig und nicht wirtschaftlich.

Praxisnähe und Marktfähigkeit

„Hier setzen wir mit unserem Projekt an“, erklärt Adams Kollegin, die Mineralogin Katharina Schraut. „Wir wollen das Verfahren so anpassen, dass es sich großtechnisch realisieren lässt – und dabei auch rechnet. Dazu wollen wir die Zusammensetzung der Schlacke so modifizieren, dass wir das Roheisen auch bei niedrigeren Temperaturen zurückgewinnen können. Gleichzeitig sollen die positiven Eigenschaften des mineralischen Bindemittels erhalten bleiben, die später dem Zement Festigkeit geben.“

Praxisnähe und Marktfähigkeit sind dabei entscheidende Kriterien: In das Projekt sind mit der ArcelorMittal Eisenhüttenstadt ein Stahlhersteller sowie über Kooperationen mit der Cemex Deutschland AG und der Spenner GmbH & Co. KG zwei Zementhersteller eingebunden.

Auf Basis der Projektergebnisse wird ArcelorMittal Eisenhüttenstadt einen großtechnischen Demonstrator planen, mit dem der Prozess in einem Hüttenwerk erprobt und integriert werden kann. Die Zementhersteller werden die Leistungsfähigkeit des gewonnenen Bindemittels bewerten. Abschließend erstellt das Öko-Institut e. V. eine Bilanz zu den ökologischen Vorteilen des Verfahrens für die Stahl- und Zementindustrie.

„Wir erhoffen uns, dass wir durch die Ergebnisse in gleich zwei industriellen Kernbereichen zur Nachhaltigkeit beitragen können“, so Christian Adam. „Denn wir müssen sparsam mit unseren Ressourcen umgehen und unnötige CO₂-Emissionen vermeiden.“ –

But there is a technical challenge: the process requires temperatures of over 1,800°C. Slag in steelworks, however, is tapped at only 1,600°C. It would therefore require a lot of energy to reach the higher operating temperature. Therefore, the doublebenefit process is technically difficult and not economical on an industrial scale.

Practical relevance and marketability

“This is where our project comes in,” explains Adam’s colleague, the mineralogist Katharina Schraut. “We want to adapt the process in such a way that it can be implemented on a large scale – and also pays off. We want to modify the composition of the slag in such a way that we can recover the crude iron at lower temperatures. At the same time, we want to retain the positive properties of the mineral binder that later give the cement its strength.”

Practical relevance and marketability are crucial: ArcelorMittal Eisenhüttenstadt, a steel manufacturer, and two cement manufacturers, Cemex Deutschland AG and Spenner GmbH & Co. KG, are involved in the project.

Based on the project results, ArcelorMittal Eisenhüttenstadt will plan a large-scale demonstrator with which the process can be tested and integrated in a steel mill. Cement manufacturers will evaluate the performance of the binder. Finally, Öko-Institut e. V. will rate the ecological benefits of the process for the steel and cement industries in a life cycle assessment.

“We hope that the results will enable us to contribute to sustainability in two core industries at once,” says Christian Adam. “We need to use our resources cautiously and avoid unnecessary CO₂ emissions.” –





Energie | Infrastruktur | Umwelt | **Material** | Analytical Sciences

Energy | Infrastructure | Environment | **Materials** | Analytical Sciences

Material Materials

Kompetenzzentrum Additive Fertigung: Sicherheit im Fokus

Centre of Competence for additive
manufacturing: Focus on safety



Die BAM verfügt über hochmoderne Anlagen für den 3-D-Druck, hier das Laserstrahlschmelzen metallischer Bauteile (l.). Kai Hilgenberg (r.) leitet das neue Kompetenzzentrum.
BAM has state-of-the-art facilities for 3D printing, such as laser powder bed fusion for metallic components (l.). Kai Hilgenberg (r.) is the head of the new Centre of Competence.



Die additive Fertigung erlaubt es, komplexe Bauteile schnell und ressourcenschonend herzustellen. In sicherheitsrelevanten Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt stellt ihr Einsatz bislang noch eine Herausforderung dar. Kai Hilgenberg will dies mit dem Kompetenzzentrum Additive Fertigung ändern.

Additive manufacturing makes it possible to produce complex components quickly while conserving resources at the same time. However, its use has so far been a challenge in safety-relevant areas such as the aerospace industry. Kai Hilgenberg wants to change this with the Centre of Competence for additive manufacturing.

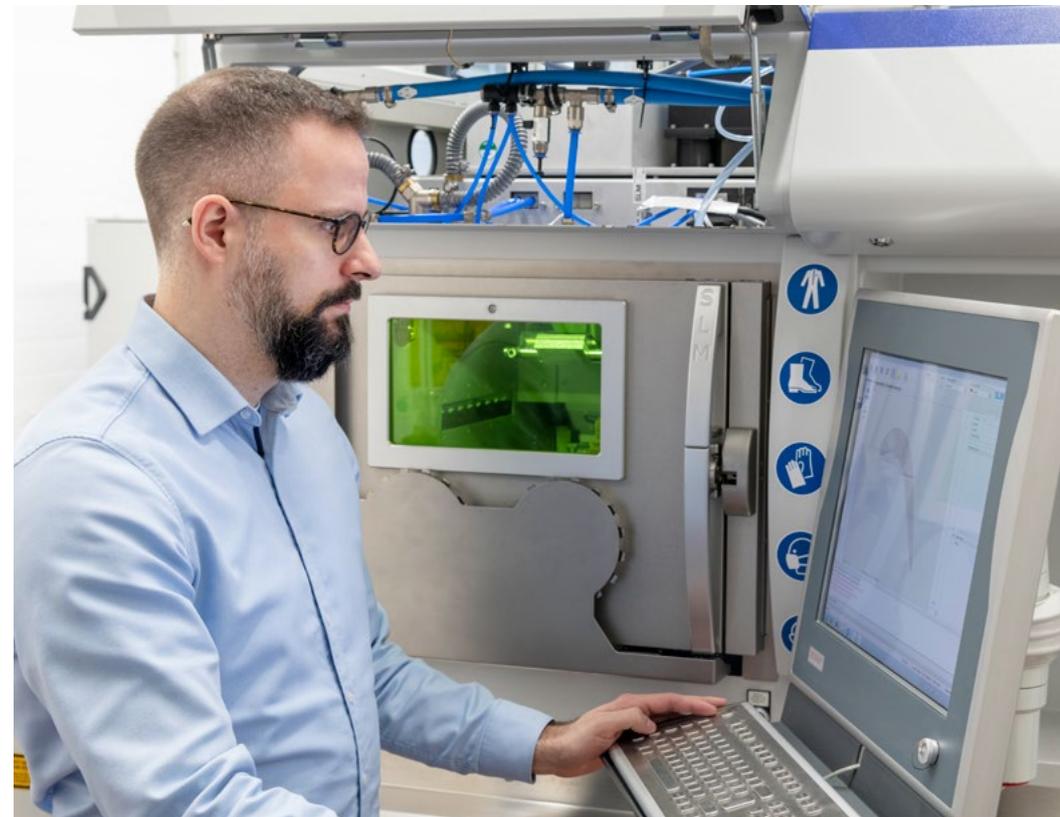
Die additive Fertigung wird in der Industrie aktuell für die Herstellung von Prototypen und im Maschinen- und Anlagenbau genutzt. Der Vorteil des 3-D-Drucks: Komponenten können ortsunabhängig produziert werden. Gleichzeitig ermöglichen neue Designfreiheiten Einsparungspotenziale beim Material bei gleichzeitig hoher Stabilität der Bauteile. So lassen sich nicht nur Kosten in der Produktion, sondern auch der Treibstoffverbrauch von Flugzeugen oder Autos senken und damit die CO₂-Bilanz verbessern.

Bislang fehlen jedoch Kriterien, um Qualität und Zuverlässigkeit additiv gefertigter Bauteile zu bewerten. Gerade sie wären allerdings wichtig, damit additive Fertigungstechnologien beispielsweise für Gasturbinen in Kraftwerken, Flugzeugtriebwerke oder allgemein als Ersatzteile in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden können.

Additive manufacturing is currently used in industry to produce prototypes and in machinery and plant engineering. The advantage of 3D printing is that components can be produced regardless of location. At the same time, new design freedoms enable potential material savings while maintaining high component stability. In this way, not only can production costs be reduced, but also fuel consumption in aeroplanes and cars, thus improving the CO₂ balance.

So far, however, there have been no criteria available for assessing the quality and reliability of additively manufactured components. Yet these are precisely the criteria that would be important if additive manufacturing technologies were to be used for gas turbines in power plants, aeroplane engines or, more generally, as spare parts in the aerospace industry.

Durch den 3-D-Druck lassen sich komplexe Geometrien wie hier die Schaufeln einer Gasturbine programmieren. Noch fehlen gesicherte Kriterien, um die Sicherheit solcher Bauteile zu bewerten.
3D printing makes it possible to programme complex geometries such as the blades of a gas turbine. However, reliable criteria for assessing the safety of such components are still lacking.

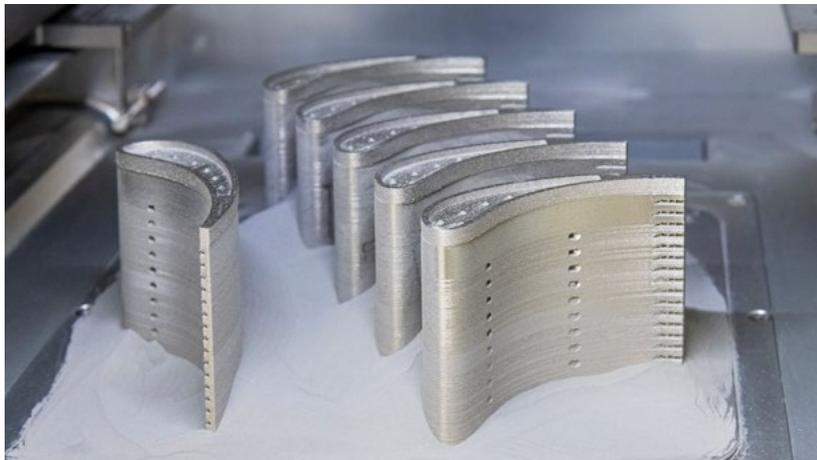


Deutschlandweit einzigartige Dienstleistungen

Ein interdisziplinäres Team aus den Bereichen additive Fertigungstechnik, Werkstoffanalytik und zerstörungsfreie Materialprüfung forscht an der BAM zu Sicherheit und Qualität additiv gefertigter Produkte. Im neuen Kompetenzzentrum Additive Fertigung der BAM arbeiten die Wissenschaftler*innen gemeinsam an innovativen Materialien, Fertigungsprozessen und Prüfungsmethoden.

„Das Kompetenzzentrum der BAM bietet deutschlandweit eine einzigartige Breite an Dienstleistungen entlang der additiven Prozesskette mit besonderem Fokus auf Sicherheit“, so Kai Hilgenberg, Leiter des Kompetenzzentrum Additive Fertigung. In hochmodern ausgestatteten Anlagenparks können sowohl metallische und keramische Bauteile als auch Komponenten aus Beton mit verschiedensten 3-D-Druckverfahren hergestellt, untersucht und weiterentwickelt werden.

Im Fokus steht u. a., wie sich additiv gefertigte Komponenten bei hohen Temperaturen und unter mechanischen Belastungen verformen und wie diese Degradationen berechnet werden können. Das ist besonders in sicherheitsrelevanten Bereichen bedeutend, wie dem Flugzeugbau mit seinen hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Bauteile. „Wir wollen neue Messmethoden entwickeln, um Defekte im Material schon während des 3-D-Druckprozesses zu finden und möglichst zu beheben“, erklärt Hilgenberg.



Services unique in Germany

An interdisciplinary team from the fields of additive manufacturing technology, materials analysis and non-destructive material testing is conducting joint research at BAM on the safety and quality of manufactured products. They are working on innovative materials, manufacturing processes and testing methods in BAM's new Centre of Competence Additive Manufacturing.

“BAM's Centre of Competence offers a unique range of services along the additive process chain throughout Germany with a special focus on safety,” says Kai Hilgenberg, Head of the unit. Metallic and ceramic parts and concrete components can be manufactured by a wide range of 3D printing processes, tested and further developed in well-equipped state-of-the-art plant parks.

The investigations are especially focussed on how components manufactured additively deform at high temperatures and under mechanical loads and how these deformations can be calculated. This is particularly important in safety-relevant areas such as aeroplane construction with its very high requirements for component reliability. “We want to develop new measurement methods to find defects in the material as early as during the 3D printing process and, if possible, to rectify them,” Hilgenberg explains.

Additive Fertigung industrietauglich machen

Um Unternehmen beim Aufbau additiver Produktionsketten zu unterstützen, steht im Kompetenzzentrum der BAM ein breites Dienstleistungsangebot zur Verfügung: von der Beratung zur Werkstoffwahl über die Entwicklung werkstoffangepasster Prozesse bis zur umfassenden Prüfung und Bewertung mechanischer Eigenschaften von Bauteilen. Die enge Verbindung zwischen Forschung und Industrie erlaubt es, gewonnene Erkenntnisse schnell in die Produktion zu überführen.

Auch die Qualitätssicherung in der additiven Fertigung soll komplett digitalisiert werden. Das Team rund um Kai Hilgenberg will dazu eine vernetzte und digital überwachte additive Fertigungskette entwickeln. Sie soll alle relevanten Prozessschritte von der Geometriedatenerfassung über die additive Fertigung und Wärmenachbehandlung bis zur finalen zerstörungsfreien Prüfung abbilden. Das Vorhaben ist Teil der Initiative Qualitätsinfrastruktur Digital (QI-Digital) und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.

„Insgesamt wollen wir mit unserem Kompetenzzentrum helfen, verlässliche Qualitäts- und Sicherheitsstandards für additiv gefertigte Produkte zu etablieren, und diese Fertigungstechnologien industrietauglich machen“, so Kai Hilgenberg. —

Making additive manufacturing suitable for industrial use

A wide range of services is available at BAM's Centre of Competence to support companies in setting up their additive production chains: from advice on materials selection and the development of material-specific processes to comprehensive testing and evaluation of mechanical properties of components. The close connection between research and industry allows knowledge gained to be transferred to production quickly.

Quality assurance in additive manufacturing should also be fully digitalised. Kai Hilgenberg's team wants to develop a networked and digitally monitored additive manufacturing chain. They intend to map all relevant process steps from geometry data acquisition to additive manufacturing and post heat treatment to final non-destructive testing. The project is part of the Quality Infrastructure Digital (QI Digital) initiative and is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK).

“Overall, we want our competence centre to help establish reliable quality and safety standards for additively manufactured products and make these manufacturing technologies suitable for industrial use,” says Kai Hilgenberg. —

Kai Hilgenberg vergleicht das additiv gefertigte Bauteil mit dem digitalen Modell.

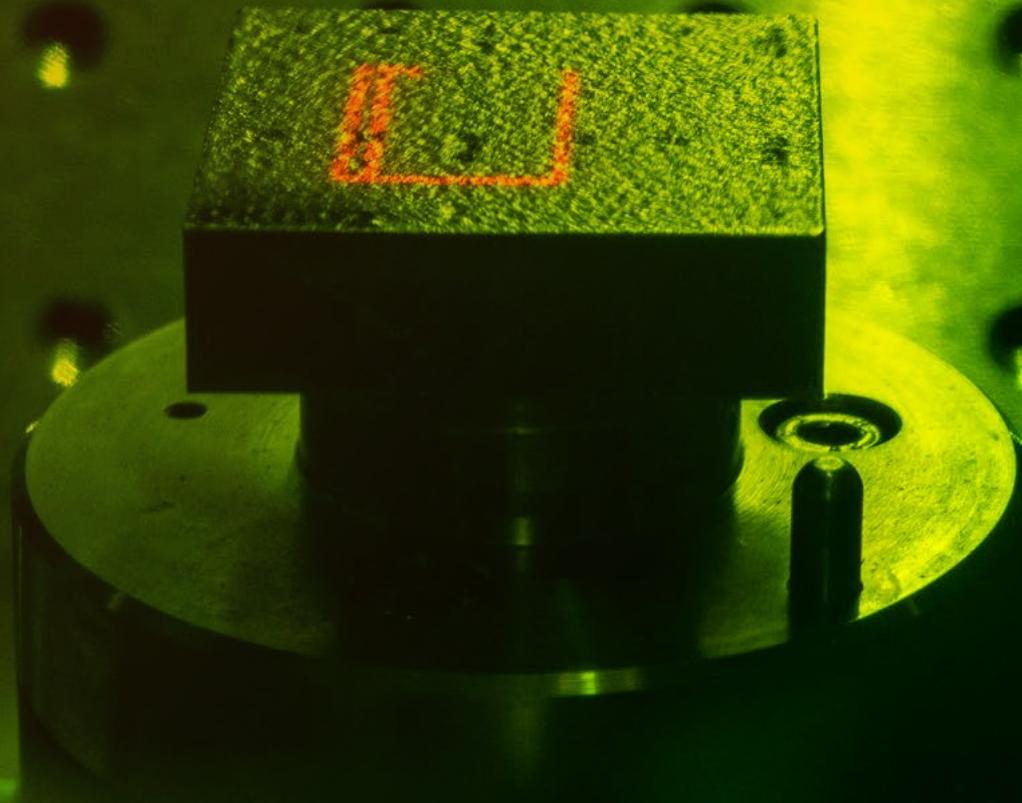
Kai Hilgenberg compares the additively manufactured component with the digital build job.



Material Materials

3-D-Druck: Risse im Prozess erfassen

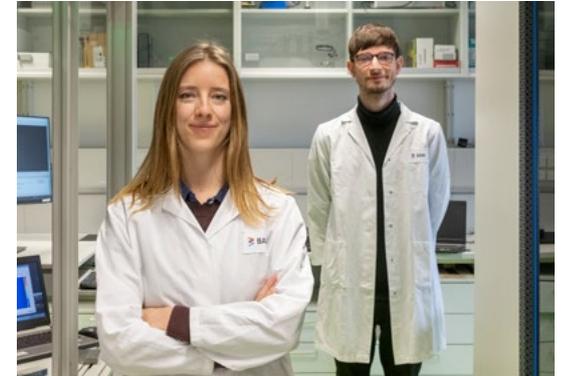
3D printing: Detecting
cracks in the process



Mit Laserthermografie lassen sich Risse in einem additiv gefertigten Bauteil exakt lokalisieren (l.).

Tina Becker und Philipp Breese bringen das Verfahren in die Praxis (r.).

Laser thermography can be used to precisely locate cracks in an additively manufactured component (l.). Tina Becker and Philipp Breese (r.) make the process ready for practice.



Die additive Fertigung metallischer Bauteile für sicherheitsrelevante Bereiche erfordert hohe Qualität. Schon kleinste Fehler können schwerwiegende Folgen haben. Die BAM entwickelt zusammen mit der ThetaScan GmbH ein Überwachungssystem, das Risse bereits während des 3-D-Drucks in Echtzeit erfasst.

Additive manufacturing of metallic components in safety-relevant areas must satisfy high standards. Even the smallest defects can have serious consequences. Together with ThetaScan GmbH, BAM is developing a monitoring system that can detect cracks in real time during 3D printing.

Additiv gefertigte Komponenten werden aktuell erst nach dem Fertigungsprozess auf ihre Qualität überprüft. Zum Einsatz kommt dabei zumeist die Computertomografie, mit der zerstörungsfrei festgestellt werden kann, ob das Bauteil Poren oder andere Fehlstellen aufweist. Ein schadhaftes Bauteil wird verworfen und der Druckprozess – der manchmal mehrere Tage dauert – muss von Neuem gestartet werden. Das macht die additive Fertigung metallischer Bauteile für Unternehmen im Zweifel kosten- und zeitintensiver – und damit oft unwirtschaftlich.

„Besser wäre es, mögliche Defekte noch während des Druckens zu erkennen, um den Prozess rechtzeitig abbrechen oder korrigierend eingreifen zu können“, erklärt Tina Becker, BAM-Expertin für In-situ-Monitoringverfahren bei der additiven Fertigung. „Bislang ist das nicht möglich, weil handelsübliche 3-D-Drucker diese Funktion nicht vorsehen. Zudem verfügen kleine und mittlere Unternehmen gar nicht über die Kapazitäten, um selbst eine entsprechende Prozessüberwachung zu entwickeln und sie in einen vorhandenen 3-D-Drucker zu integrieren.“

Ein zweistufiges Verfahren erkennt Risse sofort

Die BAM hingegen besitzt langjährige Erfahrung mit zahlreichen Methoden der zerstörungsfreien Prüfung, auch im Bereich der additiven Fertigung. Neben der Computertomografie kommen etwa kamerabasierte Systeme und Wirbelstromsensoren zum Einsatz.

Jetzt entwickelt die BAM zusammen mit dem Projektpartner ThetaScan GmbH, einem auf Werkstoff- und Prüftechnologie für die Luft- und Raumfahrt sowie die Automobil- und Kraftwerksindustrie spezialisierten Unternehmen, ein In-situ-Überwachungssystem für den 3-D-Druck im Laser-Pulverbett-Verfahren.

The quality of additively manufactured components is currently only checked after the manufacturing process. This usually involves computer tomography, which is a non-destructive method and can determine whether the component has pores or other defects. If a component is defective, it must be discarded and the printing process, which sometimes takes several days, has to be started anew. This is why additive manufacturing of metallic components may be costly and time-consuming and often uneconomical for companies.

“It would be better to detect possible defects while printing is still in progress so that the process can be stopped in time or corrective action taken,” explains Tina Becker, BAM expert for in-situ monitoring methods in additive manufacturing. This has not been possible up to now because commercially available 3D printers do not support this function. In addition, small and medium-sized companies do not have the capacity to develop appropriate process monitoring and integrate it into an existing 3D printer.”

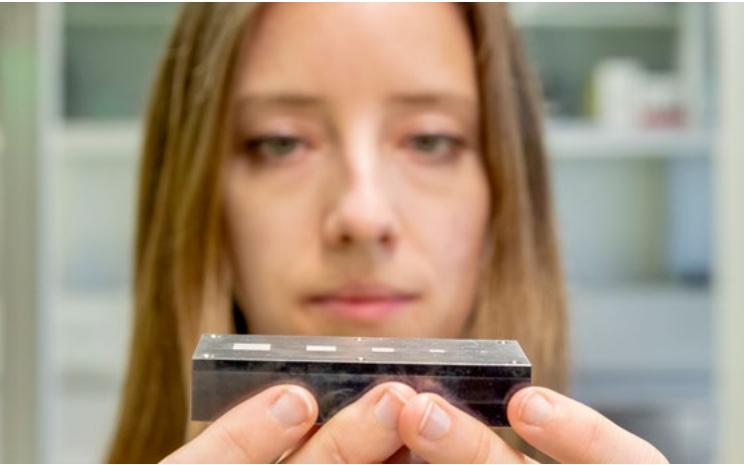
A two-stage process detects cracks immediately

BAM, however, has many years of experience with numerous methods of non-destructive testing, including in additive manufacturing. In addition to computer tomography, camera-based systems and eddy current sensors are used.

Now BAM is developing an in-situ monitoring system for 3D printing using the laser powder bed process together with its project partner ThetaScan GmbH, a company specialising in materials and testing technology in aerospace, automobile and power plant industries.

Philipp Breese justiert den Laser. Dabei kommt es auf hohe Präzision an.
Philipp Breese adjusts the laser. High precision is crucial here.





»Mit den von uns entwickelten Prüfsystemen wird der 3-D-Druck für kleine und mittlere Unternehmen interessant.«

»The test systems we have developed will make 3D printing attractive for small and medium-sized companies.«

„Um Defekte rechtzeitig zu erkennen, setzen wir auf einen zweistufigen Prozess“, so Beckers Kollege Philipp Breese. „Bereits während der additiven Fertigung wird jede Schicht des entstehenden Bauteils mit optimierter, d. h. hochauflösender optischer Tomografie auf Fehler untersucht. So können wir mögliche Defekte, z. B. Poren oder Delaminationen, frühzeitig identifizieren und sie für eine zweite Prüfung mit Laserthermografie auswählen. Das zweite Verfahren erlaubt uns dann auch die präzise Lokalisierung von Erstarrungsrissen in der ausgekühlten Schicht.“

3-D-Druck wird wirtschaftlich

Der Vorteil: Durch die Kombination beider Verfahren können Defekte erstmals noch während des laufenden Prozesses festgestellt werden – der zusätzliche Zeitaufwand ist überschaubar. Sind die Defekte zu gravierend, kann der Druckprozess unmittelbar abgebrochen werden. „Das erhöht die Sicherheit der gefertigten Bauteile und die Wirt-

“We use a two-stage process for early detection of defects,” says Becker’s colleague Philipp Breese. “Each layer of each emerging component is tested for defects using optimised high-resolution optical tomography during additive manufacturing. This allows us to identify potential defects such as pores or delamination at an early stage and select them for a second check using laser thermography. The second process then also allows us to precisely locate solidification cracks in the cooled layer.”

3D printing becomes economical

Combining the two methods has the advantage that defects can be detected even while the process is still running – the additional time needed for the test is manageable. If the defects are too serious, the printing process can be interrupted immediately. “This increases the safety of the manufactured components and the cost-effectiveness of the additive manufacturing process,” explains Tina Becker. “The

schaftlichkeit des additiven Fertigungsprozesses“, erklärt Tina Becker. „Mit den von uns entwickelten Prüfsystemen, die erstmalig Risse in situ erkennen können, wird die Qualitätssicherung additiv gefertigter Bauteile effizienter und so der 3-D-Druck insgesamt für kleine und mittlere Unternehmen interessant. Die ThetaScan GmbH steht bereits im Austausch mit Unternehmen, um das System in bestehende und neue Anlagen zu integrieren.“ –

test systems we have developed are the first that can detect cracks in situ making the quality assurance of additively manufactured components more efficient and thus 3D printing as a whole attractive for small and medium-sized companies. ThetaScan GmbH is already negotiating with companies to integrate the system into existing and new equipment.” –

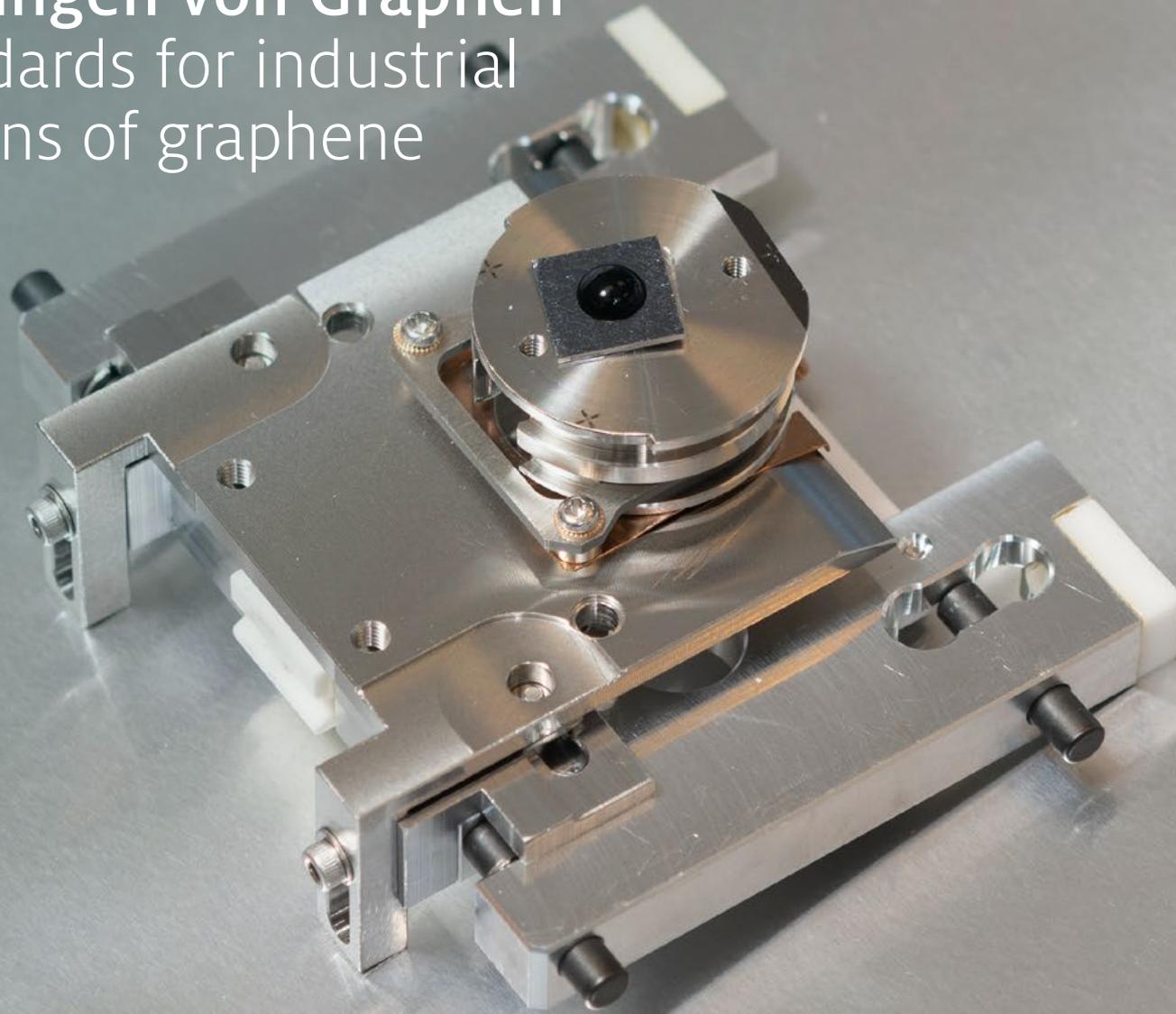


Tina Becker befüllt den 3-D-Drucker mit metallischem Pulver.
Tina Becker fills the 3D printer with metallic powder.

Material Materials

Sichere Standards für industrielle Anwendungen von Graphen

Safe standards for industrial
applications of graphene



Eine Probe Graphen, präpariert für die Messung (l.).
Das Nanomaterial besitzt einzigartige Eigenschaften.
A sample of graphene prepared for measurement
(l.). The nanomaterial has unique properties.



Graphen ist ein Nanomaterial mit großem Potenzial. Noch bleiben viele Chancen ungenutzt. Jörg Radnick entwickelt neue Standards zur Charakterisierung, um das Material schneller in die industrielle Anwendung zu bringen.

Graphene is a nanomaterial with great potential. Many opportunities still remain unexploited. Jörg Radnick is developing new standards to characterise graphene and promote its industrial application.

Graphen gilt als Nanomaterial der Zukunft. Es besteht aus einer Struktur bienenwabenförmig angeordneter Kohlenstoffatome. Sie machen es zum dünnsten zweidimensionalen Material der Welt. Graphen ist zudem stärker als Stahl, kann Strom und Wärme leiten, es ist chemisch leicht zu modifizieren und besitzt einzigartige optische Eigenschaften. Aufgrund dieser Qualitäten könnte Graphen in vielen Industriebereichen eingesetzt werden – von Antrieb-Akkus für Elektroautos über Mikrochips und Solarzellen bis hin zur Viren-bekämpfung in der Medizin.

Graphene is a nanomaterial of the future. It consists of a structure of carbon atoms arranged in a honeycomb pattern, making it the thinnest two-dimensional material in the world. It is stronger than steel, can conduct electricity and heat, is easy to modify chemically and has unique optical properties. Due to these qualities, graphene can be used in many industries, from batteries for electric cars, microchips and solar cells to fighting viruses in medicine.



Für die industrielle Anwendung ist die exakte Charakterisierung des Nanomaterials entscheidend. Vorbereitung einer Probe (l.).
For industrial application, the exact characterisation of the nanomaterial is crucial. Preparation of a sample (l.).

»Viele Unternehmen verzichten noch auf die Anwendung von Graphen und dessen vielfältige Potenziale bleiben ungenutzt.«

»Many companies still refrain from using graphene and its multiple capabilities remain untapped.«



Viele Potenziale bislang ungenutzt

Eine kommerzielle Nutzung von Graphen ist bislang aber noch schwierig, da keine standardisierten Verfahren zur zuverlässigen Bestimmung seiner Zusammensetzung und Struktur existieren. „Unterschiedliche Verfahren erzeugen auch unterschiedliche Ergebnisse. Unternehmen können daher nicht sicher sein, ob ihre Produkte wirklich den gewünschten Anforderungen entsprechen“, erklärt Jörg Radnik, Chemiker an der BAM. „Das bedeutet ein unkalkulierbares technisches, aber auch ökonomisches Risiko. Daher verzichten viele Unternehmen noch auf die Anwendung von Graphen und dessen vielfältige Potenziale bleiben ungenutzt.“

Much potential is still untapped

However, commercial use of graphene has been difficult so far because no standardised methods have been available to reliably determine its composition and structure. “Different methods provide different results. Companies therefore cannot be sure whether their products really meet the desired requirements,” explains BAM chemist Jörg Radnik. “This includes an incalculable technical and economic risk. Thus many companies still refrain from using graphene and its multiple capabilities remain untapped.”

Die BAM besitzt seit fast einem Jahrzehnt Erfahrung mit Graphen, das erstmals 2004 von Forscher*innen als stabiler zweidimensionaler Werkstoff beschrieben wurde. Sie entwickelt zusammen mit neun europäischen Partnereinrichtungen aus Industrie und Wissenschaft ein Verfahren, mit dem sich sowohl reines als auch chemisch verändertes Graphen zuverlässig charakterisieren lassen. Dabei kann die BAM auch auf ihre langjährige Expertise auf dem Gebiet der chemischen Analytik von Nanomaterialien mit oberflächenempfindlichen Verfahren und der Elektronenmikroskopie zurückgreifen.

Verfahren werden weltweit validiert

Graphen wird von den herstellenden Unternehmen in Flocken geliefert. Jörg Radnik und sein Team wollen standardisierte Verfahren für die exakte Messung der lateralen und vertikalen Größe dieser Flocken entwickeln. Dabei gilt es zu bestimmen, wie viele Schichten des Nanomaterials vorhanden sind und ob sich die Größenverteilung der Flocken bei jeder Lieferung oder von Behälter zu Behälter einer Charge verändert. Mittels chemischer Analyse muss dann die Menge anderer Elemente wie Sauerstoff, Stickstoff oder Fluor ermittelt werden, da diese die Eigenschaften von Graphen wesentlich beeinflussen, etwa die Wechselwirkung mit der Umgebung, die Leitfähigkeit von Strom und Wärme oder die optischen Qualitäten.

Schließlich werden 2022 unter Leitung der BAM zwei Ringversuche mit rund 20 Laboren starten, um die neuen Verfahren in einem weltweiten Test zu validieren und zu Standards weiterzuentwickeln. „Indem wir standardisierte Charakterisierungsverfahren für Graphen etablieren, unterstützen wir die Industrie ganz entscheidend dabei, Innovationen schneller vom Labor in die Großproduktion zu bringen“, so Jörg Radnik. „Zugleich schaffen wir Vertrauen in die Qualität und Sicherheit des Materials – ein Aspekt, der nicht zuletzt über die Marktchancen von Graphen entscheiden wird.“ —

BAM has almost a decade of experience with graphene, which was first found as a stable two-dimensional material by research scientists in 2004. Working with nine European partner institutions from industry and science, BAM is developing a method to reliably characterise both pure and chemically modified graphene. BAM can also rely on its many years of expertise in chemical nanomaterial analysis based on surface-sensitive methods and electron microscopy.

Procedures validated worldwide

Manufacturing companies supply graphene in flakes. Jörg Radnik and his team want to develop standardised methods to precisely measure lateral and vertical sizes of these flakes. This will involve determining how many layers the nanomaterial consists of and whether the size distribution of the flakes varies with each delivery or from batch to batch. Chemical analysis will be used to determine the number of elements such as oxygen, nitrogen or fluorine, since these have a significant influence on graphene's properties, including its interaction with the environment, electrical and thermal conductivity and its optical characteristics.

Finally, starting in 2022 two interlaboratory comparisons managed by BAM will involve about twenty laboratories aiming to validate the new methods in a world-wide test and to further develop them into standards. “By establishing standardised characterisation methods for graphene, we will provide substantial support to the industry by moving innovations from the pilot stage to large-scale production more quickly,” says Jörg Radnik. “At the same time, we create confidence in the quality and safety of this material, which is an aspect that will determine not least the market opportunities for graphene.” —

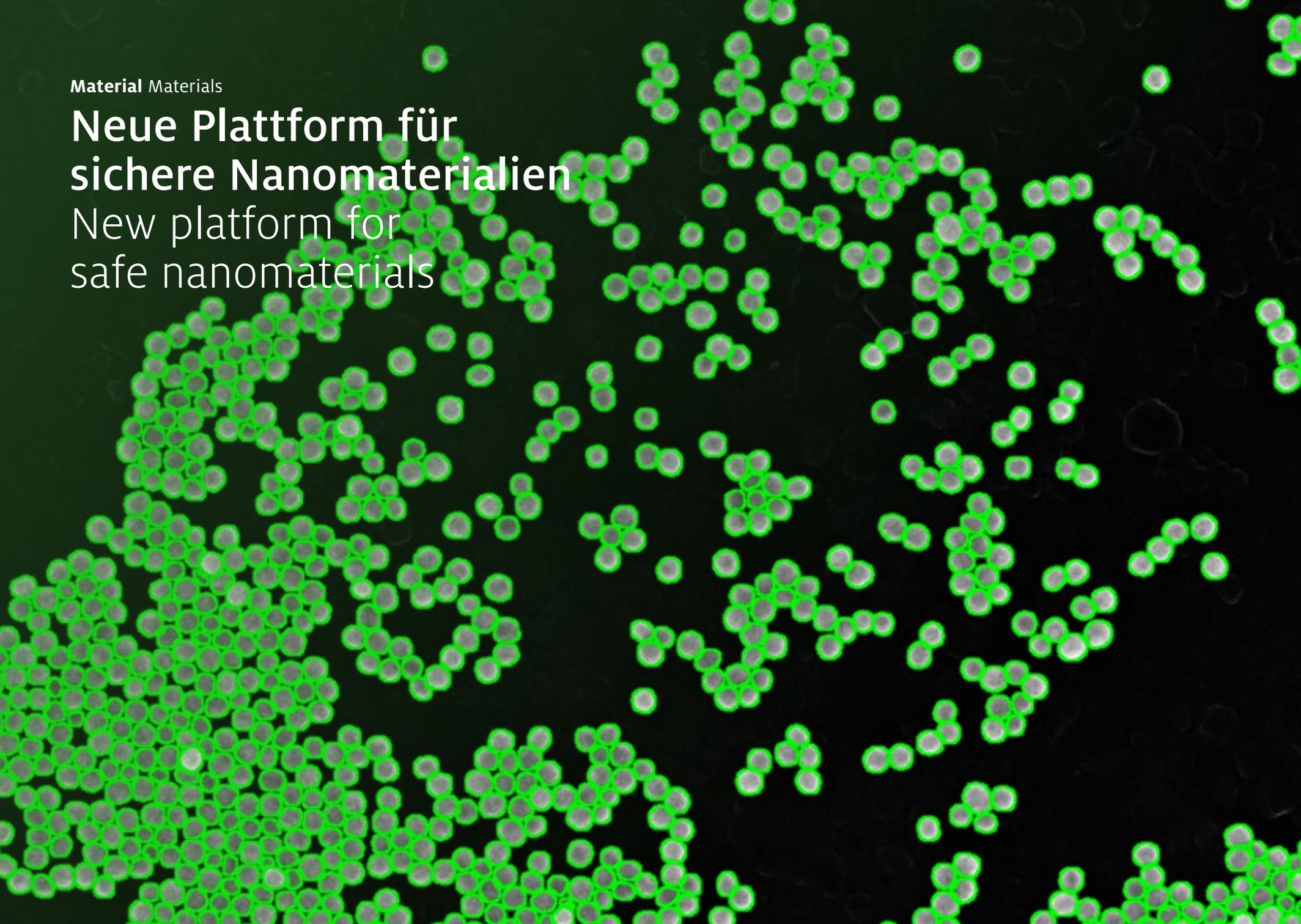
Im Röntgen-Photoelektronen-Spektrometer kann Jörg Radnick die Zusammensetzung der Graphen-Schichten genau vermessen.
In the X-ray photoelectron spectrometer the composition of the graphene layers can be measured accurately.



Material Materials

Neue Plattform für sichere Nanomaterialien

New platform for
safe nanomaterials



Mit dem Referenzmaterial Eisenoxid-Nanowürfel (I.) lassen sich die Messergebnisse von Elektronenmikroskopen validieren. Harald Bresch (r.) ist Spezialist für die Vermessung der Partikel.

The reference material iron oxide nanocubes (I.) can be used to validate the measurement results of electron microscopes. Harald Bresch (r.) is a specialist in measuring the particles.



Nanomaterialien kommen heute in vielen Produkten vor. Für die Charakterisierung der Substanzen fehlen jedoch häufig präzise Verfahren, Referenzmaterialien oder -daten. Die BAM stellt mit ihrer Nanoplattform wichtige Referenzstandards zur Verfügung und schafft mehr Sicherheit.

Nanomaterials can be found today in many products. However, precise methods, reference materials and data are often unavailable for the characterisation of the substances. BAM's "Nanoplattform" provides important reference standards and increases safety.

Nanomaterialien spielen in immer mehr Bereichen der Industrie, Gesellschaft und Medizin eine wichtige Rolle. Mit den nur wenige Millionstel Millimeter großen Partikeln lassen sich gezielt die Eigenschaften von Produkten verbessern: Sie fördern die Aufnahme medizinischer Wirkstoffe im Körper, lassen Wasser von Oberflächen und Kleidung abperlen, werden als Pigmente in Farben und Sonnencremes eingesetzt, verbessern die Eigenschaften von Kosmetika und werden als Kontrastmittel für bildgebende Verfahren in der Medizin sowie als Sensormaterialien in der Bioanalytik eingesetzt. Nanopartikel sind inzwischen auch in Druckertinten, Pulvern für den 3-D-Druck und RFID-Chips enthalten.

Nanomaterials play an important role in an increasing number of areas in industry, society and medicine. The particles, only a few millionths of a millimetre in size, can be used to specifically improve the properties of products: they can promote the absorption of active pharmaceutical substances in the body, make water roll off surfaces and clothing, can be used as pigments in paints and sunscreens, improve the properties of cosmetics, be used as contrast agents for imaging procedures in medicine and as sensor materials in bioanalytics. Nanoparticles can also be found in printer inks, powders for 3D printing and RFID chips.



»Mit verlässlichen Referenzprodukten können Wissenschaft und Industrie von den Vorteilen der Nanotechnologie profitieren.«

»With reliable reference products science and industry can benefit from the advantages of nanotechnology.«

Harald Bresch bestimmt die Größenverteilung der Eisenoxid-Nanowürfel. Sie messen nur wenige Millionstel Millimeter.

Harald Bresch determines the size distribution of the iron oxide nanocubes. They measure only a few millionths of a millimetre.

Unternehmen, die in der Europäischen Union Nanomaterialien herstellen oder verwenden, müssen diese seit Januar 2020 bei der European Chemicals Agency (ECHA) registrieren. Ziel ist es, Menschen und Umwelt vor möglichen Gefährdungen durch die Partikel zu schützen.

Charakterisierung von Nanopartikeln sehr komplex

Die Registrierung erfordert eine umfassende chemische, physikalische und toxikologische Charakterisierung der Substanzen. „Viele kleine und mittlere Unternehmen stoßen mit dieser Aufgabe an ihre Grenzen, denn es ist technisch sehr aufwendig, Nanomaterialien zu vermessen“, erklärt Harald Bresch, Umweltphysiker an der BAM. „Unsere neue Nanoplattform soll hier in Zukunft Abhilfe schaffen und Messverfahren, Daten sowie Referenzmaterialien zur Verfügung stellen.“

Die BAM ist in Deutschland eines der führenden Forschungsinstitute für die Charakterisierung von Nanomaterialien. Ihre Expertise umfasst die Messung mit allen relevanten Methoden von der Raster-Elektronenmikroskopie über die Partikel-Tracking-Analyse bis zur Massenspektrometrie. Die neue Nanoplattform der BAM wird u. a. spezifische Arbeitsanweisungen und Laborprozeduren zur Charakterisierung solcher Materialien zur Verfügung stellen, denn vorhandene Messverfahren müssen im Nanobereich oft erweitert oder modifiziert werden. Unternehmen sollen künftig diese Anweisungen vom Server der BAM abrufen können, um ihre Nanomaterialien selbst nach standardisierten Verfahren zu charakterisieren oder auch die BAM gleich mit dieser Aufgabe beauftragen. Diese standardisierten Verfahren sind kompatibel mit nationalen und internationalen Normen sowie den Prüfrichtlinien der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) bzw. für diese erstellt worden. Sie schaffen mehr Zuverlässigkeit.

Companies that manufacture or use nanomaterials in the European Union have had to register them with the European Chemicals Agency (ECHA) since January 2020. The aim is to protect people and the environment from potential hazards posed by the particles.

Characterisation of nanoparticles is very complex

Registration requires comprehensive chemical, physical and toxicological characterisation of the substances. “This responsibility brings many small and medium-sized enterprises near their capability limits because measurement of nanomaterials is technically highly complex,” explains Harald Bresch, environmental physicist at BAM. “Our new Nanoplattform should remedy this problem and in future provide measurement methods, data and reference materials.”

BAM is one of the leading research institutes in Germany that deal with the characterisation of nanomaterials. Its expertise includes measurements using all relevant methods from scanning electron microscopy to particle tracking analysis and mass spectrometry. BAM’s new Nanoplattform will provide specific work instructions and laboratory procedures for the characterisation of such materials because standard measurement methods must be frequently extended or modified at the nanoscale. In the future, companies will be able to retrieve these instructions from BAM’s server and use the standardised procedures to characterise their nanomaterials in-house, or they can simply commission BAM with this task. These standardised procedures are compatible with national and international standards as well as the Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) test guidelines or even have been specially created for OECD. They can thus be more reliable and consistent.

Referenzdaten, um künstliche Intelligenz zu trainieren

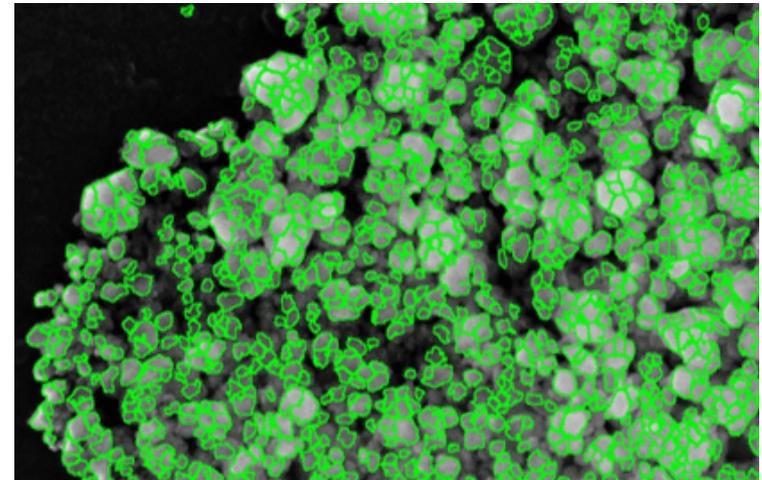
Zugleich generiert die BAM mit ihren eigenen Messungen an Nanomaterialien Datensätze, die mit bestimmten Messgeräten und -methoden verknüpft sind. Diese Datensätze werden über ein elektronisches Laborbuch erfasst und können über den Server der BAM für Versuche in den Bereichen Medizin, Toxikologie oder Umweltwissenschaften verwendet werden. Das spart wertvolle Zeit sowie Ressourcen und gewährleistet Reproduzierbarkeit. Zukünftig sollen mithilfe von Referenzdaten auch Programme mit künstlicher Intelligenz trainiert und verbessert werden.

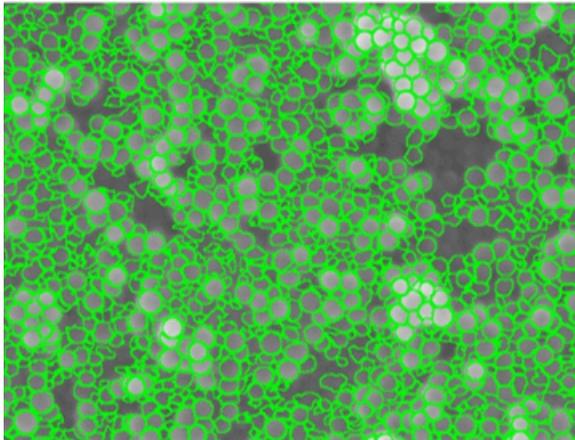
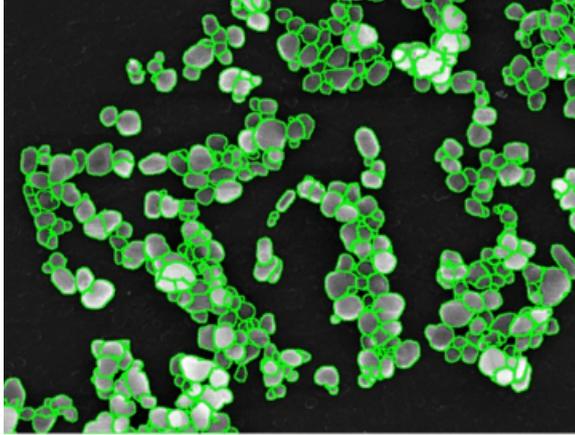
Mit Eisenoxid-Nanowürfeln kann die Plattform in Kürze bereits ein erstes Referenzmaterial zur Verfügung stellen. Es dient u. a. zur Kalibrierung von Elektronenmikroskopen. „Mit solchen verlässlich charakterisierten Referenzprodukten werden Daten aus Studien und Ringversuchen belastbarer und können miteinander verglichen werden“, erklärt Harald Bresch. „Insgesamt sollen so weite Bereiche von Wissenschaft und Industrie von den Vorteilen der Nanotechnologie profitieren können, Menschen und Umwelt aber zugleich vor potenziellen Gefährdungen geschützt werden.“ –

Reference data to train artificial intelligence

At the same time, BAM generates data sets from its own measurements on nanomaterials which are linked to specific measuring instruments and methods. These data sets are recorded in an electronic laboratory book and can be retrieved from BAM's server for experiments in the fields of medicine, toxicology or environmental sciences. This will save valuable time and resources and ensure reproducibility. In the future, reference data will also be used to train and improve programmes using artificial intelligence.

Nanoplattform will soon be able to provide its first reference material: iron oxide nanocubes, whose special feature is that they can be used for the calibration of electron microscopes. “Such reliably characterised reference products make data from studies and interlaboratory tests more robust and comparable,” explains Harald Bresch. “Overall, this project should enable broad areas of science and industry to benefit from the advantages of nanotechnology while at the same time protecting people and the environment from potential hazards.” –





Das Messgerät benötigt nur wenige Minuten, um die Größenverteilung der Probe zu bestimmen.
The measuring device needs only a few minutes to determine the size distribution of the sample.



Energie | Infrastruktur | Umwelt | Material | **Analytical Sciences**

Energy | Infrastructure | Environment | Materials | **Analytical Sciences**

Analytical Sciences Analytical Sciences

Verlässliche Messmethoden für leuchtende Nanomaterialien

Reliable measurement methods
for luminescent nanomaterials



Lumineszierende Nanomaterialien verleihen Autoscheinwerfern eine hohe Leuchtkraft.
Luminescent nanomaterials give car headlights a high brightness.



Leuchtende Nanopartikel kommen in immer mehr Produkten zum Einsatz. Für die Industrie ist die exakte Kenntnis der Leuchtkraft entscheidend. Ute Resch-Genger entwickelt dazu verlässliche Messmethoden.

Luminescent nanoparticles are used in an increasing number of products. Precise knowledge of their luminescence efficiency or so-called quantum yield is crucial for industry. Therefore, Ute Resch-Genger and her team are developing reliable measurement methods for this purpose.

Leuchtende, d. h. lumineszente Materialien finden vielseitige Anwendungen: Sie kommen in der Medizintechnik – etwa bei Computertomografen – zum Einsatz, in Fotovoltaikanlagen, in den Sicherheitscodes auf Geldscheinen, den Displays von Fernsehern, Smartphones und in der Beleuchtungstechnik. Dabei geht der Trend zu immer kleineren Partikeln: vom Mikrometerbereich bis zur Nanogröße, die nur wenige Millionstel Millimeter umfasst. Diese Materialien besitzen besonders vorteilhafte Streueigenschaften und leuchten besonders stark.

Die Leuchtkraft entscheidet

„Entscheidend für alle Anwendungen dieser Materialien sind ihre sogenannten Lumineszenzeigenschaften, also vereinfacht gesagt ihre Lichtfarbe und ihre Leuchtkraft“, erklärt Ute Resch-Genger, Experte für Biophotonik und leuchtende Materialien. „Dafür messen wir die Zahl der Lichtquanten, die die Partikel erst absorbieren und dann abstrahlen, und setzen beides zueinander ins Verhältnis. Diese Schlüsselgröße bestimmt über die Leuchtkraft der Substanzen. Sie ist für Unternehmen, die solche Materialien herstellen oder anwenden, ein entscheidendes Qualitätskriterium. Denn mit ihr lassen sich Performance und Eignung verschiedener leuchtender Nanopartikel bewerten und miteinander vergleichen.“

Die Bestimmung der Quantenausbeute ist komplex. Sie hängt von vielen äußeren Faktoren, wie der Temperatur oder der Umgebung der Partikel, ab. Deshalb existiert bislang hierfür nur eine einzige internationale Norm. Komplizierte Messungen an streuenden Partikeln werden dadurch nicht erfasst. Gerade diese Materialien sind aber ver-

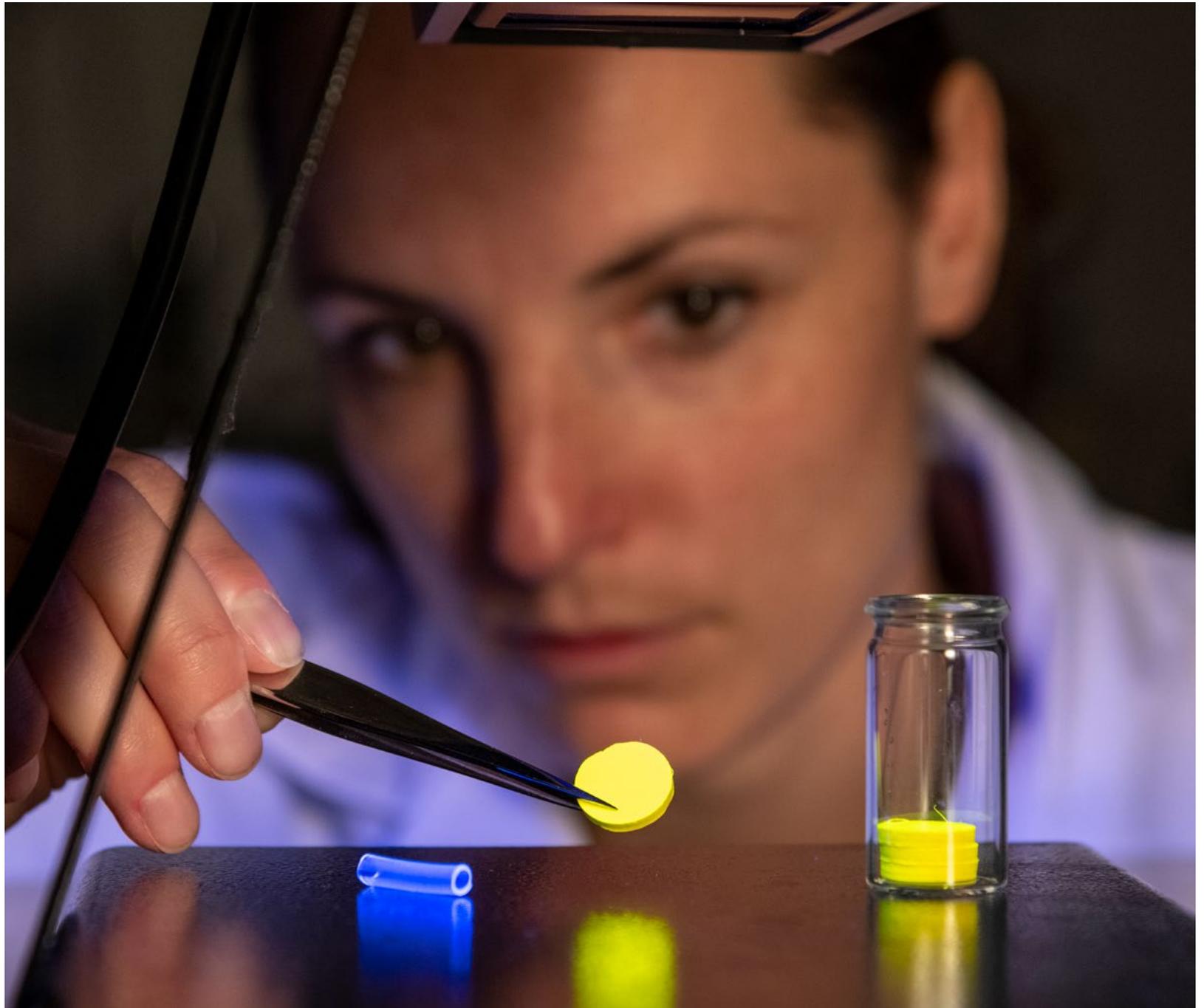
Luminescent materials have a wide range of applications: They are used in medical technology, for example in computer tomography, in photovoltaic systems, in the security codes of banknotes, the displays of television sets, smartphones and in lighting technology. The trend is towards ever smaller particles: from the micrometer range to the nano size, which is only a few millionths of a millimeter. These materials have particularly advantageous scattering properties and can be highly luminescent.

Luminosity is key

“Decisive for all applications of these materials are their luminescence properties, in other words, their luminescence color and luminescence efficiency,” explains Ute Resch-Genger, an expert in biophotonics, nanotechnology, and luminescent materials. “To do this, we measure the number of light quanta that the particles first absorb and then emit and relate these two to each other. This key parameter, termed luminescence quantum yield, describes the luminescence efficiency of a compound. It is a decisive quality criterion for companies that produce or use luminescent materials, as this property can be used to evaluate and compare the performance and suitability of different luminescent nanoparticles.”

The determination of the luminescence quantum yield is complex. It depends on many external factors, such as the temperature or the environment of the particles. Therefore, only one international standard exists so far for this purpose. Complicated measurements of scattering particles are not very well covered. Often particularly such materials are of increasing interest for industrial applications.

Die BAM bestimmt die Leuchtkraft der Materialien.
Sie ist ein entscheidendes Qualitätskriterium.
BAM determines the brightness of the materials.
It is an important quality criterion.



stärkt für industrielle Anwendungen interessant. Diese Messmethoden selbst zu entwickeln, würde jedoch selbst große Unternehmen überfordern.

Die BAM forscht seit vielen Jahren zu lumineszenten Materialien, entwickelt Referenzmethoden und -materialien in diesem Bereich und stellt Referenzdaten bereit. Ute Resch-Genger koordiniert ein Verbundprojekt zu lumineszierenden Nanopartikeln, das wissenschaftliche Erkenntnisse schnell in die Normung und damit in die Anwendung bringen will. Finanziert wird es vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Förderprogramms „Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen“.

Neue Konvertermaterialien im Fokus

„In Kooperation mit der Schott AG, die seit mehr als 100 Jahren optische Materialien herstellt, entwickeln wir verlässliche Methoden zur Ermittlung der Quantenausbeute lumineszenter Partikel. Im Fokus stehen dabei neuartige Konvertermaterialien, die z. B. im Zusammenspiel von blauem Laser- und LED-Licht Autoscheinwerfern eine sehr hohe Lichtausbeute sowie gleichzeitig eine angenehme optische Wahrnehmung verleihen. Diese Materialien werden in der Industrie für viele verschiedene Applikationen intensiv nachgefragt“, so Resch-Genger.

Die BAM-Wissenschaftlerin und ihr Team entwickeln Messprozeduren und Referenzmaterialien, die für eine industrielle Prozesskontrolle geeignet sind. Ziel ist es dabei, Einflüsse des Messgeräts auf das Ergebnis zu erfassen und gleichzeitig Proben mit bekannter Leuchtkraft bereitzustellen, die zur Kalibrierung dienen können. Die Messvorschriften wiederum sollen standardisierbar sein, damit sie zeitnah in die internationale Normung überführt werden können.

However, developing and optimising such measurement methods is frequently too time-consuming even for large companies.

BAM has been doing research on different types of luminescent materials for many years, developing reference methods and materials in this field and providing reference data. Currently, Ute Resch-Genger coordinates a joint project on the reliable determination of the luminescence quantum yield of luminescent nanoparticles which aims to timely transfer these scientific findings in standardization to support industry. It is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action as a part of the funding programme “Knowledge and Technology Transfer through Patents and Standards”.

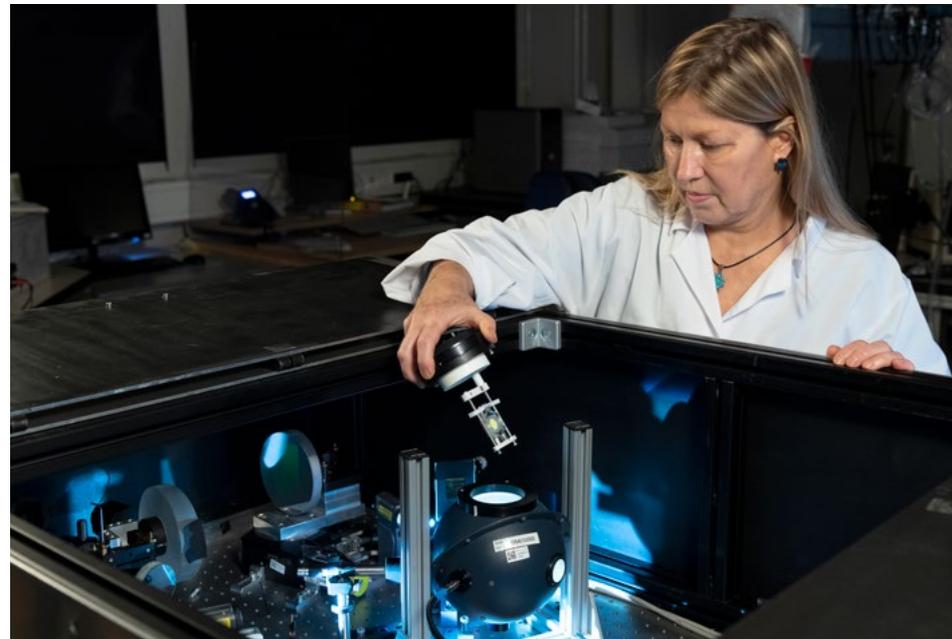
Focus on new converter materials

“In cooperation with Schott AG, which has been producing optical materials for more than 100 years, we are developing reliable methods for determining the quantum yield of luminescent particles. The focus is on novel converter materials which, for example, give car headlights a pleasant yellowish glow in combination with a blue laser or light emitting diode (LED). These materials are in high demand in industry for many different applications,” says Resch-Genger.

With this focus, the BAM scientist and her team are developing measurement procedures and reference materials which are suitable for industrial process control. The aim is to determine the influences of the measuring device on the result and at the same time to provide samples with known luminescence spectra and quantum yields which can be used for calibration. The measurement procedures, in turn, should be standardisable so that they can be transferred to international standardisation in a timely manner.

In einer Ulbricht-Kugel ermittelt Ute Resch-Genger die Zahl der emittierten und der absorbierten Photonen.

In an integrating sphere, Ute Resch-Genger determines the number of emitted and absorbed photons.



„Mit dem Projekt schließen wir eine wichtige Lücke, um mittelfristig die Marktposition deutscher Unternehmen in diesem Bereich zu stärken“, so Ute Resch-Genger. „Denn wir erleichtern ihnen die Auswahl besonders leistungsfähiger Leuchtmaterialien und die Überprüfung ihrer Messtechnik.“ –

“With this project, we are closing an important gap in order to strengthen the market position of German companies in this field,” says Ute Resch-Genger. “Because we are making it easier for them to select particularly high-performance luminescent materials and to validate and control their measurement technology.” –

Analytical Sciences Analytical Sciences

Toxisch? Mögliche Gefährdungen durch Mikro- und Nanoplastik

Toxic? Possible hazards from
micro- and nanoplastics



Partikel von Polyethylenterephthalat (PET), etwa ein Hundertstel Millimeter groß (l.). Korinna Altmann (r.) stellt daraus ein Referenzmaterial her.
Particles of polyethylene terephthalate (PET), about one hundredth of a millimetre in size (l.). Korinna Altmann (r.) uses them for a reference material.



Plastikmüll zerfällt in der Umwelt zu Partikeln, die oft nur wenige Tausendstel oder Millionstel Millimeter messen. Die Risiken dieser Substanzen für den menschlichen Organismus sind weitgehend unbekannt. Die BAM forscht in zwei großen EU-Konsortien zur Toxizität von Mikro- und Nanoplastik.

In the environment, plastic waste breaks down into particles that often measure only a few thousandths or millionths of a millimetre. The risks of these substances for the human organism are largely unknown. BAM is researching the toxicity of micro- and nanoplastics in two large EU projects.

Besonders faserförmige Partikel von Mikro- und Nanoplastik stehen im Verdacht, schädlich zu sein. Über die Atemluft oder die Nahrung gelangen sie in den menschlichen Organismus. „Nanopartikel sind klein genug, um auch in einzelne Zellen eindringen zu können“, so Korinna Altmann, Chemikerin an der BAM. „Erste Daten aus ökotoxikologischen Laboruntersuchungen weisen darauf hin, dass sie zu Reizungen der Atemwege, chronischen Entzündungen sowie Schädigungen der Lunge führen können.“

Keine Daten für eine Risikobewertung

Doch bislang fehlen belastbare Daten für eine umfassende Risikobewertung. Denn Mikro- oder Nanoplastik in der Umwelt zu messen und exakt zu quantifizieren, ist sehr kompliziert – nicht zuletzt weil die winzigen Partikel so schwierig aufzuspüren sind. Hier setzt das Projekt „Polyrisk“ an, das vom EU-Förderprogramm Horizon 2020 mit 5,9 Millionen Euro unterstützt wird. Es soll Risiken von Mikro- und Nanoplastik grundlegend erforschen. Beteiligt sind neben der BAM mehrere staatliche metrologische Institute, öffentliche und private Forschungseinrichtungen sowie Universitäten zahlreicher europäischer Länder.

Die BAM forscht seit mehreren Jahren intensiv zu Mikroplastik und hat bereits ein innovatives und schnelleres Nachweisverfahren für die Polymerpartikel in Umweltproben sowie die weltweit ersten Referenzmaterialien entwickelt. „Für Polyrisk werden wir insbesondere unsere Test- und Referenzmaterialien für Mikroplastik weiterentwickeln und solche für Nanoplastik ganz neu herstellen“, erklärt Altmann, die das Projekt an der BAM leitet. „Sie sind die Voraussetzung, um Messmethoden zu validieren. So werden wir u. a. erstmals ein Referenzmaterial für Polyethylenterephthalat (PET), das z. B. für Trinkflaschen verwendet wird, entwickeln.“

Fibrous particles of micro- and nanoplastics in particular are suspected of being harmful. They enter the human organism via the air we breathe or the food we eat. “Nanoparticles are small enough to penetrate even individual cells,” says Korinna Altmann, a chemist at BAM. “Initial data from ecotoxicological laboratory tests indicate that they can lead to irritation of the respiratory tract, chronic inflammation as well as damage to the lungs.”

No data for risk assessment

So far there is a lack of reliable data for a comprehensive risk assessment. Measuring and accurately quantifying micro- or nanoplastics in the environment is very challenging, because the tiny particles are so difficult to detect. This is where the “Polyrisk” project comes in, which is supported by the EU’s Horizon 2020 funding programme with 5.9 million euros. It aims to fundamentally research the risks of micro- and nanoplastics. In addition to BAM, several national metrological institutes, public and private research institutions and universities from numerous European countries are involved.

BAM has been conducting intensive research on microplastics for several years and has already developed an innovative and fast detection method for the polymer particles in environmental samples as well as the world’s first reference materials. “For Polyrisk, we will in particular further develop our test and reference materials for microplastics and create those for nanoplastics,” explains Altmann, who heads the project at BAM. “They are the prerequisite for validating measurement methods. Among other things, we will develop a reference material for polyethylene terephthalate (PET), which is used to create drinking bottles.”



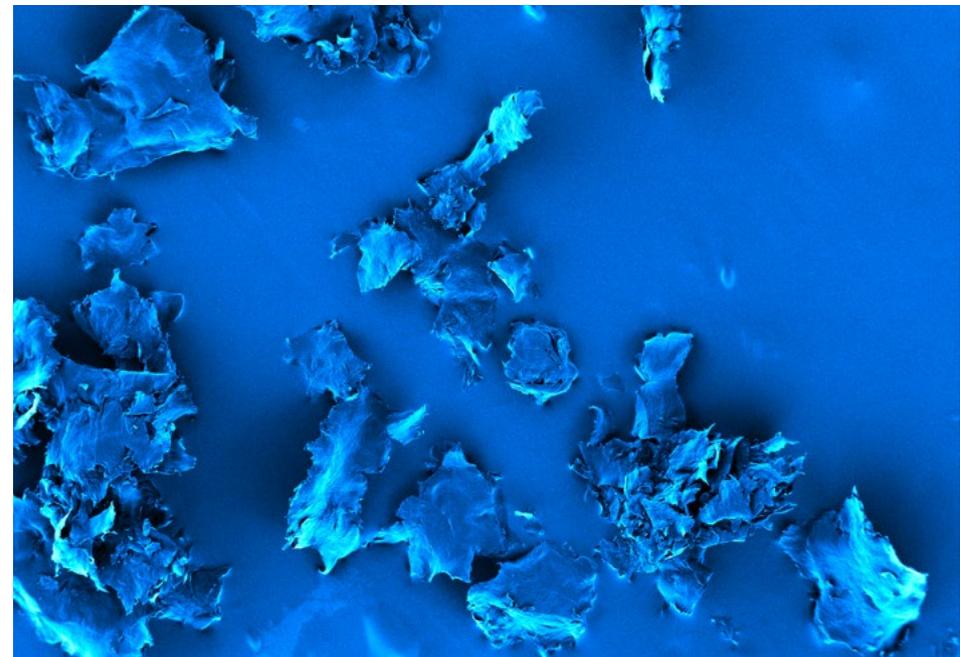
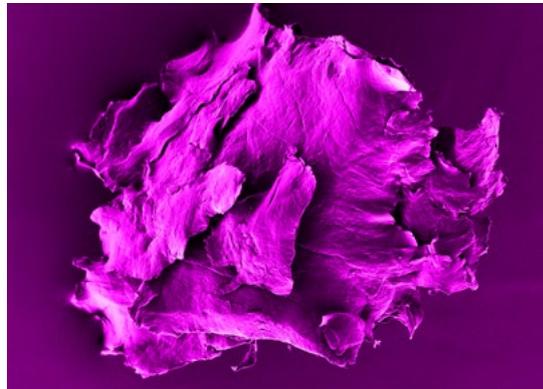
Korinna Altmann kühlt Kunststoff-Pellets mit Stickstoff, um sie zu Mikroplastik für Referenzmaterialien zu zermahlen.
Korinna Altmann cools plastic pellets with nitrogen to grind them into microplastics for reference materials.

Wissenschaftliches Neuland

Eine ideale thematische Ergänzung zu Polyrisk ist das EU-Projekt „PlasticsFatE“, ebenfalls von Horizon 2020 mit 5,9 Millionen Euro gefördert. In diesem EU-weiten Cluster, der darauf zielt, die gesundheitlichen Auswirkungen von Mikro- und Nanoplastik besser zu verstehen, unterzieht die BAM die neuen Referenzmaterialien einer umfassenden Charakterisierung. „Das ist wissenschaftliches Neuland“, so Vasile-Dan Hodoroaba, Nanowissenschaftler an der BAM. „Wir werden dafür neue Messverfahren entwickeln, mit denen sich Größe, Form und chemische Zusammensetzung der Partikel erfassen lassen. Dabei kommen uns unsere langjährige Expertise auf dem Gebiet Nano sowie die exzellente Ausstattung der BAM zugute.“

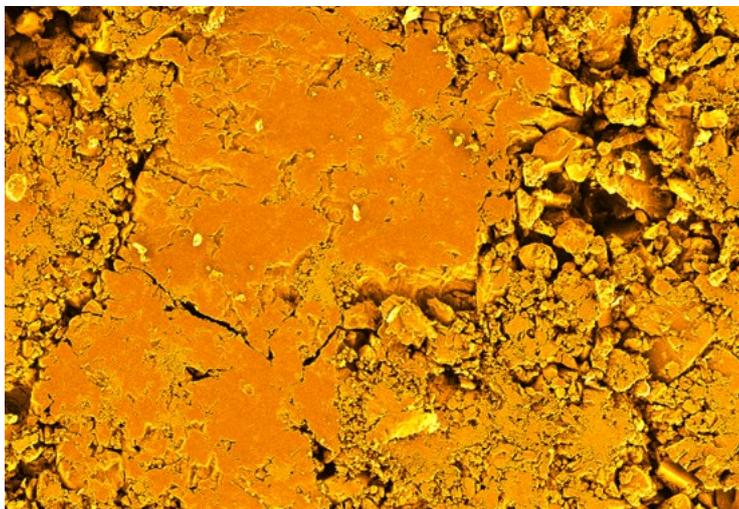
Breaking new ground

An ideal thematic complement to Polyrisk is the EU project “Plastics-FatE”, also funded by Horizon 2020 with 5.9 million euros. In this EU-wide cluster, which aims to better understand the health effects of micro- and nanoplastics, BAM is subjecting the new reference materials to comprehensive characterisation. “We’re breaking new ground,” says Vasile-Dan Hodoroaba, nanoscientist at BAM. “We will develop new measurement methods for this, which can be used to determine the size, shape and chemical composition of the particles. Our many years of expertise in the field of nano as well as BAM’s excellent equipment will reward us here.”



Besonders gefragt sein wird auch die Erfahrung der BAM bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Ringversuchen im Rahmen von VAMAS, dem 1982 gegründeten Versailles Project on Advanced Materials and Standards. VAMAS unterstützt den Welt-handel mit Produkten, die auf fortschrittlichen Werkstofftechnolo-gien beruhen. Neben den neuen Referenzmaterialien wird die BAM exakte Protokolle für die einheitliche Probenpräparation, Messung und Auswertung entwickeln und allen teilnehmenden Organisatio-nen zur Verfügung stellen.

Die Ergebnisse der beiden Projekte sollen in Empfehlungen für Normen und Gesetze einfließen, um die Bürger*innen der EU vor möglichen gesundheitlichen Risiken durch Mikro- und Nanoplastik effektiv zu schützen. —



BAM's experience in planning, carrying out and evaluating interlabo-ratory tests within the framework of VAMAS, the Versailles Project on Advanced Materials and Standards, founded in 1982, will also be in particular demand. VAMAS supports world trade in products ba-sed on advanced materials technologies. In addition to the new refer-ence materials, BAM will develop exact protocols for uniform sample preparation, measurement and evaluation, and will make them avail-able to all participating organisations.

The results of the two projects will be incorporated into recommen-dations for standards and legislation to effectively protect EU citizens from potential health risks posed by micro- and nanoplastics. —



Nanoplastik unter dem Rasterelektronen-Mikroskop (l.).
Vasile-Dan Hodoroaba (r.) entwickelt neue Messverfahren,
um das Material zu charakterisieren.
Nanoplastics under the scanning electron microscope (l.).
Vasile-Dan Hodoroaba is developing new measurement
methods to characterise the material.

Analytical Sciences Analytical Sciences

Besserer Schutz vor Luftschadstoffen in Innenräumen

Better protection from indoor
air pollutants



Flüchtige Schadstoffe im Innern von Gebäuden können Krankheiten auslösen.
Volatile pollutants inside buildings can trigger diseases.



Möbel, Bodenbeläge, Farben und andere Produkte können flüchtige gesundheitsschädliche Substanzen freisetzen. Matthias Richter entwickelt in einem EU-Projekt Referenzmaterialien für Luftschadstoffe, damit diese sich besser eindämmen lassen.

Furniture, floor coverings, paints and other products can release volatile substances that might be harmful to health. Matthias Richter is developing reference materials for air pollutants in an EU project so that they can be better contained.

Seit Langem ist das Phänomen bekannt, dass Menschen, die einen großen Teil ihrer Zeit in Büros oder anderen geschlossenen Räumen verbringen, über gesundheitliche Probleme klagen. Zu den häufigen Beschwerden zählen tränende Augen, Schleimhautreizungen, Kopfschmerzen, Atemnot oder Asthma. Die Forschung spricht von der Building Related Illness.

Als Auslöser gelten u. a. sogenannte flüchtige organische Verbindungen, Volatile Organic Compounds (VOCs). VOCs sind gasförmige Emissionen, die etwa von Fußbodenbelägen, Möbeln, Wandfarben oder Lacken freigesetzt werden können. Zu ihnen zählen Substanzen wie Formaldehyd, aber auch Lösungsmittel und unterschiedlichste Additive, die Produkteigenschaften verbessern sollen.

80 Prozent Lebenszeit in geschlossenen Räumen

Die Gefährdung durch VOCs hat an Bedeutung gewonnen, weil Menschen in Europa inzwischen mehr als 80 Prozent ihrer Lebenszeit in geschlossenen Räumen verbringen. Zudem reduzieren dichte Fenster und immer bessere Dämmungen den natürlichen Luftaustausch und begünstigen das Phänomen.

Grundsätzlich gilt zwar, dass von Möbeln oder Baustoffen keine gesundheitlichen Gefahren ausgehen dürfen. Doch verpflichtend sind Tests auf VOCs nur für bestimmte Produktgruppen. Hinzu kommt ein grundsätzliches Problem: VOCs sind als flüchtige Substanzen häufig schwierig zu messen und zu quantifizieren. „Bislang gibt es für VOCs zwar einheitliche Prüfvorschriften, jedoch bestehen noch Lücken bei der Rückführbarkeit dieser Tests. Das bedeutet, dass die Genauigkeit der Messwerte nicht immer bekannt und daher die Vergleichbarkeit der Ergebnisse schwierig ist“, erklärt Matthias Richter, Experte für Luftschadstoffe an der BAM.

It has long been a known phenomenon that people who spend a large part of their time in offices or other enclosed spaces complain of health problems. Common complaints include watery eyes, mucous membrane irritation, headaches, shortness of breath or asthma. Researchers refer to this as Building Related Illness.

Among other things, so-called volatile organic compounds (VOCs) are considered to be the triggers. VOCs are gaseous emissions that can be released by floor coverings, furniture, wall paints or varnishes. They include substances such as formaldehyde, but also solvents and a wide variety of additives that are supposed to improve product properties.

80 percent lifetime in closed rooms

The danger posed by VOCs has gained in importance because people in Europe nowadays spend more than 80 percent of their lifetime indoors. In addition, airtight windows and better insulation reduce natural air exchange and worsen the issue.

In principle, furniture and building materials must not pose a health risk. But tests for VOCs are only mandatory for certain product groups. In addition, there is a fundamental problem: as volatile substances, VOCs are often difficult to measure and quantify. “Up to now, there have been uniform test regulations for VOCs, but there are still gaps in the traceability of these tests. This means that the accuracy of the measured values is not always known and therefore the comparability of the results is difficult,” explains Matthias Richter, expert for air pollutants at BAM.

Matthias Richter überprüft, ob das Referenzmaterial eine genau definierte Menge an VOCs freisetzt.

Matthias Richter tests whether the reference material releases a defined amount of VOCs.



Entscheidend ist die Rückführbarkeit der Ergebnisse. Erst dadurch werden Messwerte vergleichbar und aussagekräftig.
The traceability of the results is crucial. Only then do measured values become comparable and meaningful.



Schutz vor VOCs

Die Europäische Kommission hat im Bereich der VOCs 2020 einen besonderen Forschungsbedarf identifiziert. Die BAM koordiniert dazu ein Projekt mit metrologischen Instituten, universitären und außeruniversitären Einrichtungen sowie Testlabors aus sieben Ländern. Gefördert wird es vom European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR). „Wir wollen ein Referenzmaterial entwickeln, das über einen längeren Zeitraum eine definierte Menge verschiedener VOCs freisetzt, die oft in Innenräumen vorkommen“, erklärt Matthias Richter, der das Projekt leitet. „Mit diesem Material sollen Unternehmen, die Testkammern betreiben, überprüfen können, ob ihre Messeinrichtungen auch wirklich genau arbeiten. Zugleich wollen wir zertifizierte Referenzgasstandards entwickeln,

Protection against VOCs

The European Commission has identified a particular need for research in the area of VOCs in 2020. BAM is coordinating a project with partners from metrological institutes, university and non-university institutions and test laboratories from seven countries. It is funded by the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR). “We want to develop a reference material that releases a defined amount of different VOCs, which are often found indoors, over a longer period of time,” explains Matthias Richter, who leads the project. “With this material, companies that operate test chambers will be able to check whether their measuring equipment really works accurately. At the same time, we want to develop certified reference gas standards, i.e. substances with which laboratories

»Mit unserer Forschung wollen wir Menschen vor den Gefährdungen durch VOCs schützen.«

»With our research we want to protect people from hazards caused by VOCs.«

Substanzen also, mit denen die Labore ihre Messgeräte für VOCs in Zukunft exakt kalibrieren können. Insgesamt sollen die praktizierten Prüfungen damit vergleichbarer und die Daten validierbar werden.“

Die Entwicklung von Referenzmaterialien und Standards in diesem Bereich ist technisch herausfordernd, langwierig und damit kostenintensiv und von der Privatwirtschaft kaum zu leisten. Die BAM dagegen ist auf Referenzprodukte und die Erforschung von VOCs spezialisiert und besitzt das erforderliche Know-how. „Mit unserer Forschung wollen wir zum Gesundheitsschutz und gleichzeitig zur Sicherheit für herstellende Unternehmen beitragen“, so Matthias Richter. „Am Ende geht es darum, dass Menschen in Innenräumen weitgehend vor Gefährdungen durch VOCs geschützt sind.“ –

can calibrate their measuring devices for VOCs exactly in the future. Overall, this should improve both comparability of product tests and validation of the data.”

The development of reference materials and standards in this area is technically challenging, time-consuming and thus cost-intensive and can hardly be done by the private sector. BAM, on the other hand, specialises in reference products and research on VOCs and has the necessary know-how. “With our research we want to contribute to health protection and at the same time to safety for manufacturing companies,” says Matthias Richter. “In the end, the aim is to ensure that people indoors are largely protected from hazards caused by VOCs.” –



BAM

Fragen an die Zukunft

Questions for
the future

Die Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft zur Klimaneutralität sowie ein nachhaltigerer Umgang mit den globalen Ressourcen stellen die Wissenschaft vor neue Herausforderungen. Forscher*innen der BAM arbeiten an Lösungen für die Welt von morgen. Zusammen mit einigen von ihnen werfen wir einen Blick in die Zukunft.

The transformation of the economy and society towards climate neutrality and a more sustainable use of global resources poses new challenges for science. BAM researchers are working on solutions for the world of tomorrow. Together with some of them, we take a look into the future.



Paulina Szymoniak

Hat in im polnischen Szczecin Nanotechnologie sowie in Berlin und Potsdam Polymerwissenschaften studiert und in der Physik der weichen Materie promoviert. Sie ist seit 2016 an der BAM und arbeitet im Fachbereich Physik und chemische Analytik der Polymere.

[Studied nanotechnology in Szczecin, Poland, and polymer science in Berlin and Potsdam and earned a doctorate in soft matter physics. She has been at BAM since 2016 and works in the Department of Physics and Chemical Analytics of Polymers.](#)

Wie können wir den CO₂-Ausstoß von Flugzeugen senken?

How can we reduce CO₂ emissions from aircraft?

»Ich forsche an Polymer-Nanokompositen, die für die moderne Luftfahrt von großer Bedeutung sind. Polymer-Nanokomposite werden durch Zugabe geringer Mengen anorganischer Nanofüllstoffe in eine Polymermatrix hergestellt, was zu einer drastischen Verbesserung der Eigenschaften führt: Das Material behält das geringe Gewicht von Polymeren, seine mechanischen Eigenschaften sind jedoch mit denen von Metallen wie z. B. Aluminium vergleichbar. Durch solche Verbundwerkstoffen könnte man das Gewicht und damit auch den Treibstoffverbrauch von Flugzeugen erheblich senken.«

»I'm doing research on polymer nanocomposites, which are of high demand for modern aviation. Polymer nanocomposites are obtained by introducing small amounts of inorganic nanofillers into a polymer matrix, which results in dramatic improvement in properties: The material retains the light weight of polymers, but its mechanical properties are comparable to those of metals, e.g. aluminium. Composites of this kind could significantly reduce the weight and thus the fuel consumption of aircraft.«

Wie entwickeln wir Baustoffe, die das Klima weniger belasten?

How do we develop building materials which are less harmful for the climate?

»Ich forsche dazu, wie man die experimentelle Materialwissenschaft durch einen datengesteuerten Ansatz beschleunigen kann. Mein Schwerpunkt liegt dabei auf Baumaterialien wie Zement und Beton, deren Herstellung aktuell für ca. 15 Prozent des weltweiten Ausstoßes an CO₂ verantwortlich ist. Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen könnten wir in Zukunft deutlich schneller Zement und Betone entwickeln, die CO₂-neutral sind. Dazu habe ich mit meinen Kolleg*innen eine App programmiert, die Wissenschaftler*innen frei nutzen können.«

»My research is about accelerating experimental materials science through a data-driven approach. My focus is on building materials such as cement and concrete, whose manufacturing production is currently responsible for about 15 percent of the world's CO₂ climate gas emissions. By using artificial intelligence and machine learning, we could develop cement and concrete that are CO₂-neutral much faster in the future. Together with my colleagues, I have programmed an app that scientists can use freely.«

Christoph Völker

Hat in Leipzig Konstruktiven Ingenieurbau studiert und in Saarbrücken promoviert. Er ist seit 2013 an der BAM und arbeitet im Bereich Zerstörungsfreie Baustoffprüfung.

Studied structural engineering in Leipzig and obtained his doctorate in Saarbrücken. He has been at BAM since 2013 and works in the area of non-destructive testing of building materials.





Janine George

Studierte und forschte in Aachen und im belgischen Louvain-la-Neuve im Bereich der computergestützten Festkörperchemie, der Festkörperphysik und Materialwissenschaften. Seit Mai 2021 leitet sie an der BAM die Nachwuchsgruppe Computergestütztes Materialdesign.

Studied and conducted research in Aachen and Louvain-la-Neuve in Belgium in the field of computational solid-state chemistry, solid-state physics and materials science. Since May 2021, she has been head of the junior research group Computational Material Design at BAM.

Wie finden wir mit maschinellem Lernen neue Werkstoffe für Batterien und Solarzellen?

How do we use machine learning to find new materials for batteries and solar cells?

»Heute lassen sich Eigenschaften bekannter und unbekannter Materialien sehr gut mithilfe physikalischer Theorien und Methoden des maschinellen Lernens vorhersagen. Das macht es möglich, am Computer gezielt nach neuen Werkstoffen z. B. für Anwendungen im Bereich elektrischer Batterien oder Solarzellen zu suchen – ohne dass wir diese Materialien mit großem Zeitaufwand im Labor synthetisieren und experimentell charakterisieren müssen. So können wir viel schneller als bisher zu neuen und nachhaltigeren Materialien gelangen und Innovationen beschleunigen.«

»Today, the properties of known and unknown materials can be predicted very well with the help of physical theories and machine learning methods. This makes it possible to search specifically for new materials on the computer, e.g. for applications in the field of electric batteries or solar cells – without having to synthesise and experimentally characterise these materials in the laboratory at great expense of time. In this way, we can arrive at new and more sustainable materials much faster than before and accelerate innovations.«

Wie produzieren wir auf hoher See sicher und nachhaltig grünen Wasserstoff?

How will we safely and sustainably produce green hydrogen offshore?

»In Zukunft will Deutschland direkt auf hoher See Wasserstoff aus emissionsfreier Energie erzeugen. Dazu werden Windräder, Verteiler- und Wartungsstationen sowie Elektrolyseure benötigt. All diese Anlagen sind oberhalb und unterhalb der Wasserlinie extremer Korrosivität ausgesetzt. Das gefährdet ihren sicheren Betrieb und eine wirtschaftliche Lebensdauer. Ich erforsche, wie sich sämtliche Strukturen wirkungsvoll gegen Korrosion schützen lassen – ohne dass der Schutz selbst zur Belastung für die Umwelt wird. Ziel ist es, mit diesen Offshore-Bauwerken mindestens 25 Jahre lang sicher und zuverlässig nachhaltige Energie und daraus grünen Wasserstoff erzeugen zu können.«

»In the future, Germany wants to produce hydrogen directly offshore from emission-free energy. This will require wind turbines, distribution and maintenance stations as well as electrolyzers. All these plants are exposed to extreme corrosivity above and below the waterline. This jeopardises their safe operation and economic lifespan. I am researching how all structures can be effectively protected against corrosion – without the protection itself becoming a burden on the environment. The goal is to be able to use these offshore structures to safely and reliably generate sustainable energy and green hydrogen for at least 25 years.«

Martin Babutzka

Hat in Magdeburg Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Produktionstechnik studiert und in Aachen über Atmosphärische Korrosion promoviert. Seit 2014 arbeitet er im Fachbereich Korrosion und Korrosionsschutz der BAM.

Studied mechanical engineering in Magdeburg with a focus on production technology and earned his doctorate on atmospheric corrosion in Aachen. Since 2014 he has been working in the Corrosion and Corrosion Protection Department at BAM.





Andressa Adame

Studierte und promovierte an der Universität São Paulo in analytischer Chemie, mit Schwerpunkt auf Umwelt- und Agraranwendungen. Seit 2020 forscht sie im Fachbereich Prozessanalytik der BAM.

Studied and obtained her doctorate in analytical chemistry at the University of São Paulo, with a focus on environmental and agricultural applications. Since 2020, she has been conducting research at BAM's Process Analytics department.

Wie schützen wir Böden vor Überdüngung?

How do we protect soils from too much fertiliser?

»Ich forsche an der Entwicklung neuer Methoden für die Bodenanalyse unter Verwendung eines tragbaren Röntgenfluoreszenzgeräts. Damit kann man durch eine schnelle Multielementanalyse den Nährstoffgehalt direkt auf dem Feld bestimmen. Diese neue Messmethode wird es uns ermöglichen, vor Ort den Nährstoffstatus des Bodens in Echtzeit zu bewerten und standortspezifische Empfehlung für die Düngung abzugeben. Das verbessert zum einen die Produktivität der Böden und fördert gleichzeitig eine nachhaltige Nutzung der begrenzten Ressource Boden.«

»I am researching the development of new methods for soil analysis using a portable X-ray fluorescence device. This will allow us to determine nutrient content directly in the field through rapid multi-element analysis. This new measurement method will allow us to assess the nutrient status of the soil on site in real time and make site-specific recommendations for fertilisation. This improves soil productivity soil productivity and promotes at the same time sustainable use of soil as a limited resource.«

Wie nutzen wir lokale Ressourcen für mehr Nachhaltigkeit?

How do we use local resources for more sustainability?

»Ich arbeite in einem Projekt mit der ghanaischen Normungsbehörde zusammen. Ziel ist es, die Standards der öffentlichen ghanaischen Prüflabors im Bereich Baustoffe und Chemikalien zu verbessern. Durch die Verwendung lokaler Baumaterialien, die kohlenstoffintensiven Zement teilweise ersetzen, können wir die Lebensgrundlage vieler Menschen vor Ort sichern, Transportkosten senken und den CO₂-Fußabdruck verringern. Indem wir uns auf die Verbesserung der Normen konzentrieren, sodass sie umweltfreundliche Zementersatzstoffe und Zusatzmittel einschließen, gewährleisten wir eine kontinuierliche Nachhaltigkeit.«

»I am working on a collaborative project with the Ghanaian Standards Authority. The objective is to improve the standards of Ghana's public testing laboratories in the field of building materials and chemicals. Using more locally sourced construction materials to partially replace carbon intensive cement, we can ensure security of livelihoods for many local people, reduce transportation costs and the carbon footprint. By focusing on improving standards to be inclusive of environmentally friendly cement replacements and admixtures, we can safeguard continuous sustainability.«

Pheladi Tlhatlha

Hat in Südafrika Umweltwissenschaften und Geografie studiert und an der Universität Pretoria einen Master in Umweltmanagement erworben. Seit 2021 arbeitet sie im Fachbereich Baustofftechnologie der BAM.

[Studied Environmental Sciences and Geography in South Africa and obtained a master's degree in Environmental Management from the University of Pretoria. Since 2021 she has been working in BAM's division Technology of Construction Materials.](#)



Die BAM auf einen Blick

BAM at a glance

1632 Beschäftigte Staff	557 Referierte Publikationen Refereed publications
52 Nationalitäten Nationalities	82 Patente Patents
57 Auszubildende Trainees	102 Zertifizierte Referenzmaterialien Certified reference materials
130 Promovierende PhD students	164,8 Mio. € Grundfinanzierung Basic funding
19 Professuren und Juniorprofessuren Professorships and junior professorships	17,2 Mio. € Drittmittel Third-party funding
58 Lehrveranstaltungen Lectures	4 Standorte in Berlin/Brandenburg Research facilities in Berlin/ Brandenburg

(Die Zahlen beziehen sich auf das Kalenderjahr 2021 bzw. den Stichtag 31.12.2021)

Mitglieder des Kuratoriums der BAM

Members of the BAM Advisory Council

Dr. Daniela Brönstrup (Vorsitzende)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Leiterin 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

Professor Dr.-Ing. habil. Rainer Fechte-Heinen

Vorsitzender des Direktoriums und Hauptabteilungsleiter
Werkstofftechnik, Leibniz-Institut für Werkstofforientierte
Technologien IWT, Direktor Amtliche Materialprüfungsanstalt
der Freien Hansestadt Bremen

Professorin Dr. Claudia Felser

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

Professorin Dr. p. h. habil. Gesine Grande

Präsidentin der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU)
Cottbus-Senftenberg

Professor Dr. rer. nat. Detlef Günther

Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen
der ETH Zürich, Schweiz

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 Energy GmbH & Co. KG, Senior Vice President Technology Products, 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

Professorin Dr. Anke Weidenkaff

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

Christoph Winterhalter

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

Sicherheit im Wandel

Safety in transition



Besuchen Sie unsere Website, abonnieren Sie unseren Newsletter und folgen Sie uns auf Twitter und LinkedIn
Visit our website, subscribe to our newsletter and follow us on Twitter and LinkedIn

www.bam.de

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

 [LinkedIn](https://www.linkedin.com/company/bam-research)

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, Karina Fast und Jennifer Postler (Grafik), Dora Kolar-Bosnjak
und Julia Pöpke (Fotografie), Julia Katharina Scholz

Übersetzung English translation

Nigel Pye, NP Services

Lektorat Proofreading

Wissenschaftslektorat Zimmermann

Druck und Verarbeitung Print

Umweltdruck Berlin GmbH

Bildnachweis Images

S. 3: Michael Danner; S. 28: Adobe Stock/kai; S. 34: istock/alengo;
S. 60: Adobe Stock/JAH; S. 108: istock/chinaface; S. 120: Adobe Stock/
IRStone. Alle anderen Fotos: BAM

Titel: Das Foto zeigt Partikel von Polyethylenterephthalat (PET) unter
dem Elektronenmikroskop

Cover: The photo shows particles of polyethylene terephthalate (PET)
under the electron microscope



Diese Publikation wurde auf FSC-Papieren gedruckt. Der gesamte
Herstellungsprozess erfolgte klimaneutral.
This publication was printed on FSC-certified paper. The entire
production process was climate neutral.

ISSN 0934-9456

Die BAM ist eine wissenschaftlich-technische Bundesober-
behörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums
für Wirtschaft und Klimaschutz.

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



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

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

www.bam.de