



BAM Report 2022/23

Transformation
gemeinsam gestalten

BAM Report
2022/23

EDITORIAL

Liebe Leser*innen,

vom Umbau des Energiesystems über die Nachhaltigkeit der Wirtschaft bis hin zu den Veränderungen unserer Städte und der Mobilität: Das Wort Transformation ist wohl neben der „Zeitenwende“ das derzeit mit am häufigsten gebrauchte. Wir sind zweifellos in einer neuen Wirklichkeit angekommen, die sich nicht umdeuten lässt, sondern die aktiv von uns gestaltet werden muss.

Aber sind wir überhaupt in der Lage, unsere ökonomische Basis zu schützen und gleichzeitig unsere Aufmerksamkeit auf den Erhalt von Ressourcen statt deren Ausnutzung zu richten? Ich glaube fest daran, dass wir das können. Produzieren hieße dann z. B., Lösungen im Sinne einer zirkulären Wirtschaft zu finden. Zur grünen Transformation leistet die BAM, deren Auftrag es ist, die deutsche Wirtschaft zu fördern, bereits heute vielfältige Beiträge: durch Grundlagenforschung, die den schnellen Weg in die Anwendung findet. Aber auch durch unsere Vielfalt und Spezialisierung, die es uns erlauben, eine übergreifende Perspektive zu entwickeln. Denn: Lösungen für den Wandel zu finden, bedeutet auch eine Veränderung des Denkens.

So sind wir z. B. beteiligt an der Entwicklung smarterer Tools bei der Qualitätssicherung moderner Wasserstofftechnologien, nachhaltiger Batteriematerialien für leistungsstarke E-Akkus oder sicherer Konstruktionen für noch größere und effizientere Windenergieanlagen. Langfristig erfolgreich werden wir dabei nur sein, wenn wir uns selbst transformieren.

So sind wir in der BAM dabei, unsere Expertisen in weiteren disziplin- und branchenübergreifenden Kompetenzzentren zu bündeln, neue ganzheitliche Formate der Zusammenarbeit zu erproben und unsere Vernetzung mit relevanten Akteur*innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik weiter auszubauen.

Im neuen BAM Report 2022/23 möchten wir Ihnen gern eine Auswahl unserer aktuellen Projekte vorstellen. Idealerweise ergeben sich aus der Lektüre für Sie Anknüpfungspunkte für gemeinsame Vorhaben und Initiativen, mit denen wir zusammen die Transformation sicher gestalten können. Lassen Sie uns darüber ins Gespräch kommen!

Ihr
Prof. Dr. Ulrich Panne



Präsident
Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)

PS: Erstmals erscheint unsere Jahrespublikation übrigens rein digital, als kleiner Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit.



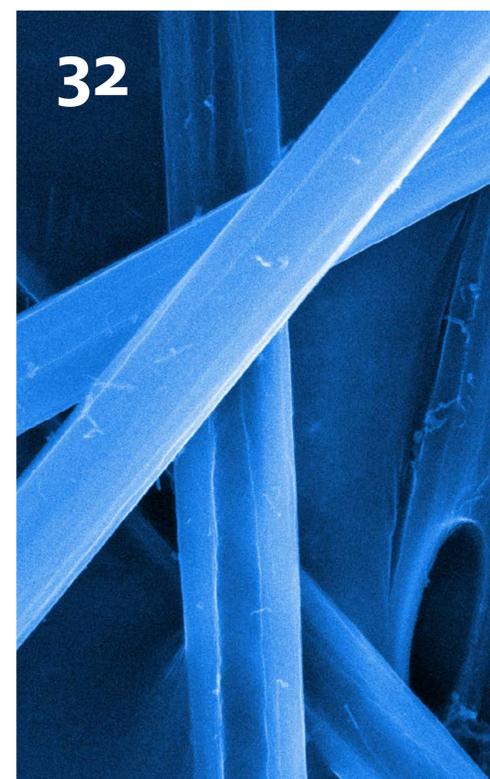
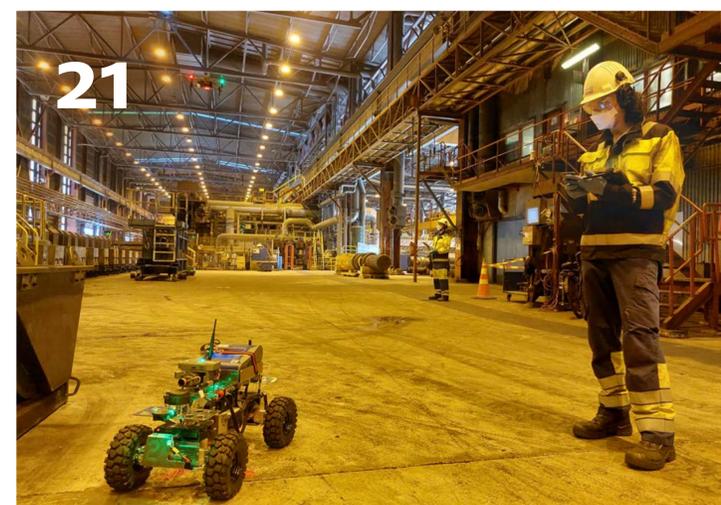
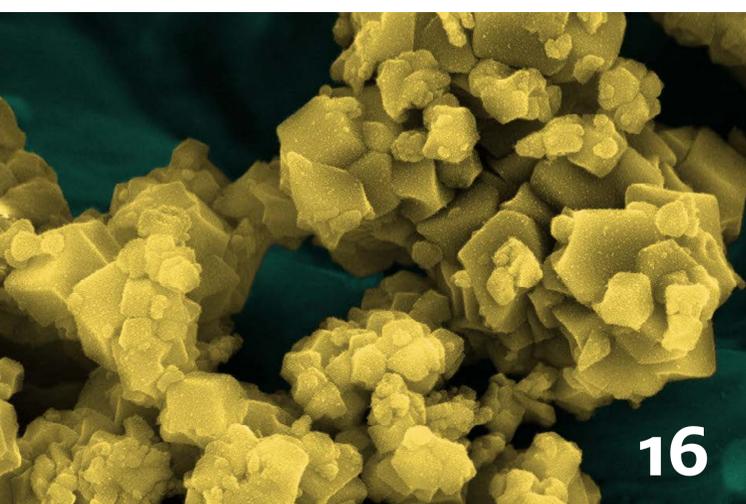
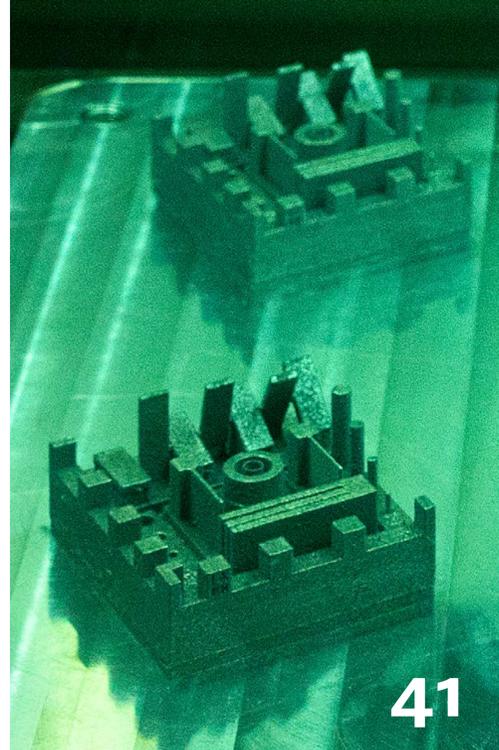


“ Materialwissenschaft – Schlüsseldisziplin der Transformation

Am 18.11.2022 **besuchte Bundesminister Robert Habeck die BAM**, die als Ressortforschungseinrichtung zu seinem Ministerium gehört. Der Minister informierte sich dabei u. a. über die beiden Kompetenzzentren zu **Wasserstoff** und **Windenergie**. „Der Umbau unserer Volkswirtschaft ist eine drängende Aufgabe unserer Zeit. Dafür brauchen wir Innovationen, vor allem im Bereich Nachhaltigkeit, Umwelt- und Klimaschutz“, so Habeck in einer Ansprache vor Mitarbeitenden der BAM. „Die Materialwissenschaft ist eine Schlüsseldisziplin der Transformation, vor allem die Arbeiten der BAM zu Wasserstoff und Windenergie helfen, den Umbau in Deutschland voranzubringen.“



INHALT



Editorial	2
Schlüsseldisziplin Materialwissenschaft	3
Die BAM und ihre fünf Themenfelder	5

Energie	
Wasserstoff digital	7
Windausbau beschleunigen	12
Innovative Batteriematerialien	16

Infrastruktur	
Smarte Sensornetzwerke	21
Nachhaltiger Flammenschutz	24
Intelligente Brückenüberwachung	28

Umwelt	
Carbonfasern recycelt	32

Material	
Leistungsstarke Nano-Halbleiter	38
Reallabor 3D-Druck	41

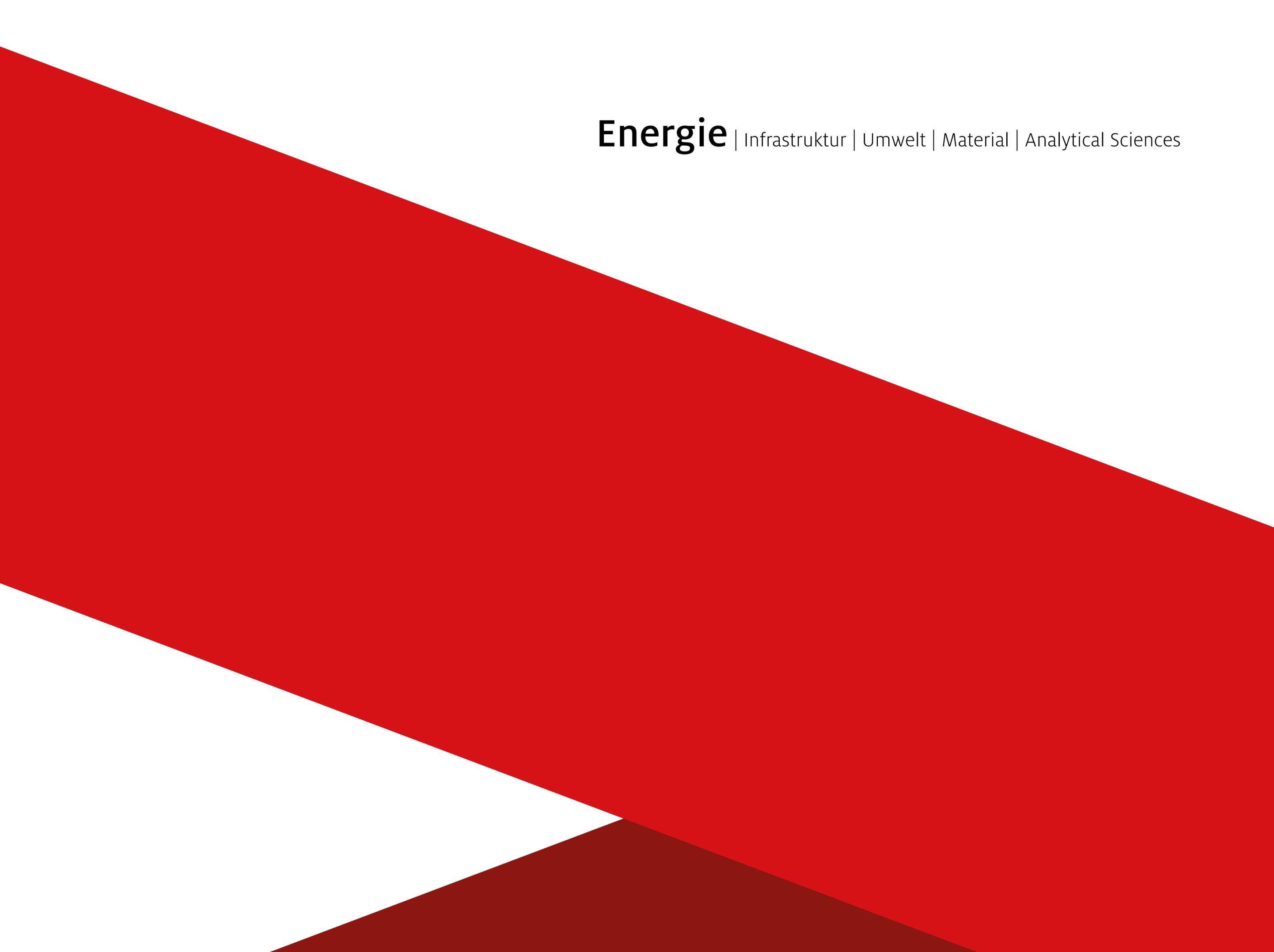
Analytical Sciences	
Werkzeugkasten Chemie	46

Die BAM auf einen Blick	50
Mitglieder des Kuratoriums der BAM	51
Impressum	52



Die BAM und ihre fünf Themenfelder

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.



Energie | Infrastruktur | Umwelt | Material | Analytical Sciences

ENERGIE

Wasserstoff digital



Wasserstoff soll in Zukunft den Lkw-, Schiffs- und Flugverkehr dekarbonisieren. Die BAM testet an einer digital vernetzten Forschungstankstelle die Technik auf Sicherheit und Effizienz.

Der Betrieb einer Wasserstofftankstelle stellt besonders hohe Anforderungen an die Sicherheit: Das Brenngas wird bei bis zu 500 bar in Transportfahrzeugen angeliefert und vor Ort in Druckgasbehältern gespeichert. Vor dem Betanken eines Fahrzeugs muss es auf 1000 bar komprimiert und dann auf minus 40 Grad Celsius abgekühlt werden. All diese Abläufe beanspruchen die Werkstoffe von Druckgas speichern, Rohrleitungen, Kompressoren und Kälteanlagen auf besondere Weise.

Wartung bedeutet Ausfallzeit

Um die Betriebssicherheit der Wasserstofftankstellen in Deutschland zu gewährleisten, werden sämtliche Komponenten in regelmäßigen Intervallen gewartet und inspiziert. Dazu müssen einzelne Teile sogar ausgebaut und geprüft werden; die Prüfungen selbst sind sehr aufwendig. Aktuell sind die Inspektionen daher mit mehrtägigen Ausfallzeiten und entsprechend hohen Kosten verbunden. Kund*innen steht die Tankstelle während dieser Zeit nicht zur Verfügung. „Mit einer Digitalisierung der gesamten Prozesse ließen sich die Inspektionszeiten intelligent steuern und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit, Verlässlichkeit und Verfügbarkeit von Was-



Präsentation des Projekts auf der Hannover Messe 2022

serstofftankstellen deutlich steigern“, so Robert Bock vom **Wasserstoffkompetenzzentrum H₂Safety@BAM** . „Um eine digital gestützte Qualitätssicherung für einen breitflächigen Einsatz zu testen,

errichten wir auf dem Testgelände der BAM 50 Kilometer südlich von Berlin **eine bisher einzigartige Forschungstankstelle für Wasserstoff** , ergänzt sein Kollege Torsten Kehr.

Digitalisierung verkürzt Inspektionen

Dabei werden erstmals alle Komponenten der Tankstelle miteinander vernetzt, Daten zu Druck, Temperatur und Bauteilzustand über Sensoren erfasst und in einem digitalen Zwilling visualisiert und ausgewertet. „Auf diese Weise können wir auch innovative Überwachungskonzepte für die Speicher und andere Komponenten erproben. Mittelfristig wird dies ermöglichen, dass Inspektionen nur dann eingeleitet werden, wenn sie wirklich notwendig sind“, so Torsten Kehr. Zugleich werden die Ergebnisse in Normen und Regelwerke einfließen, damit die digitalen Ansätze auch qualitätsgesichert und rechtskonform angewendet werden können.

Das Forschungsprojekt ist Teil der Initiative Qualitätsinfrastruktur Digital (QI-Digital) [\[3\]](#), mit der die BAM und ihre Partnerinstitutionen den Weg zu einer digital gestützten und integrierten Qualitätssicherung ebnen möchten. Die Wasserstofftankstelle der BAM dient dabei nicht nur als Entwicklungs- und Testumgebung für moderne Prüfverfahren, sondern auch zur digitalen Transformation wesentlicher Elemente einer zeitgemäßen QI: So werden etwa Smart Standards, digitale Zertifikate und Kalibrierscheine sowie eine QI-Cloud als Plattform für diese digitalen Werkzeuge entwickelt.

Angesichts der zunehmenden Digitalisierung der Industrie und weltweit vernetzter Wertschöpfungsketten trägt QI-Digital damit dazu bei, die globale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu sichern.

Die BAM übernimmt hier im Bereich Wasserstoff eine Pionierrolle. Das Pilotprojekt einer digitalen Forschungstankstelle wird mit rund acht Millionen Euro vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. –

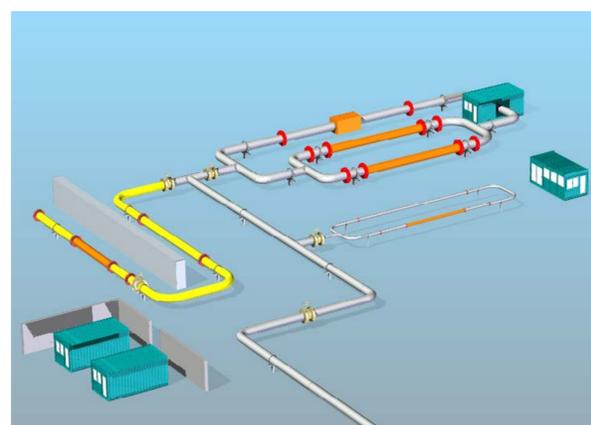


Wasserstoff soll den Flug-, Schwerlast- und Schiffsverkehr dekarbonisieren.



NEUARTIGE TESTPLATTFORM FÜR WASSERSTOFF-PIPELINES

Für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff und Wasserstoff-Erdgas-Gemischen ist ein sicheres Pipelinenetz unabdingbar. Viele der sicherheitstechnischen Fragen, die sich dazu stellen, sowie die Ableitung geeigneter Sicherheitsmaßnahmen lassen sich nur durch Tests unter Realbedingungen beantworten. Die BAM errichtet daher für 3,8 Millionen Euro auf ihrem Testgelände in Brandenburg eine Testplattform [\[1\]](#), die ein in Europa bisher einzigartiges Spektrum an Prüfmöglichkeiten umfasst. Die Anlage bietet Industrie und Gasnetzbetreibern die Möglichkeit, sicherheitstechnische Fragestellungen rund um den Wasserstofftransport mit Pipelines schnell und praxisnah zu lösen. Im Fokus stehen Untersuchungen, die im Realmaßstab und bei kritischen Betriebsbedingungen durchgeführt werden müssen. Die Plattform wird Module zur beschleunigten Vorkonditionierung von Pipeline-Segmenten, zur Untersuchung der Wasserstoffqualität mittels Online-Gasanalytik und für die zerstörende Prüfung enthalten. Erste Teile der Testplattform sollen 2025 in Betrieb gehen.



Die Plattform besteht aus drei Modulen, die Kompatibilität, Qualität und Sicherheit von Wasserstoff testen.

NEUES GRADUIERTENKOLLEG „TRUSTWORTHY HYDROGEN“

Die BAM und die Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) haben 2022 [das gemeinsame Graduiertenkolleg „Trustworthy Hydrogen“ gegründet \[1\]](#). Es soll die Ausbildung exzellenter Nachwuchskräfte im Bereich Wasserstoff langfristig sicherstellen. In dem in Deutschland einzigartigen Programm werden erstmals Wasserstoff-Expert*innen ausgebildet, die nicht nur über eine eingehende Fachexpertise verfügen, sondern die gesamte Wertschöpfungskette sowie die für die Marktdurchsetzung benötigten Rahmenbedingungen und Sicherheits-

standards ganzheitlich betrachten können. Sie erhalten Zugang zu den internationalen Netzwerken von BAM und BTU in Wissenschaft, Politik und Industrie. Soft Skills in Bereichen wie Wissenschaftskommunikation und Politikberatung runden das Programm ab. Die Absolvent*innen verfügen damit am Ende ihrer dreijährigen Ausbildung, die mit einer Promotion endet, über alle Voraussetzungen, um sich als künftige Führungskräfte in der globalen Wasserstoffwirtschaft zu positionieren. Der erste Ausbildungsjahrgang [hat im Wintersemester 2022/23 begonnen \[1\]](#).

500 000

Kilometer an Gasleitungen versorgen Deutschlands Industrie und Haushalte mit Energie. Beim Übergang zu einer Wasserstoffwirtschaft kommt dieser Infrastruktur eine zentrale Rolle zu: Nach und nach soll grüner Wasserstoff fossiles Erdgas in den Leitungen ersetzen. Doch sind die teils jahrzehntealten Systeme überhaupt für Wasserstoff geeignet? Um Pipelinestähle daraufhin zu überprüfen, werden sie bislang aufwendigen Tests in Autoklaven, verschließbaren Druckbehältern, unterzogen: „Die Laborversuche erfordern große Mengen an Wasserstoff, bringen daher einen hohen Sicherheitsaufwand mit sich und sind entsprechend teuer“, so Florian Konert, Wissenschaftler im Wasserstoff-Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM. Der Ingenieur und das Team [entwickeln eine schnellere und kostengünstigere Prüftechnik \[1\]](#): Dabei befüllen sie eine Stahlprobe von innen mit Wasserstoff und setzen sie gleichzeitig einer mechanischen Zugbelastung aus. Die Methode erfordert nur einen Bruchteil der Menge an Wasserstoff. „Wir sind überzeugt, mit unserem Ansatz die Tests für Metalle, die als Werkstoff in Komponenten der Wasserstoffwirtschaft eingesetzt werden, zu vereinfachen. Damit tragen wir zum beschleunigten Markthochlauf von Wasserstoff bei.“

BIS AUF DAS PROMILLE GENAU

Die BAM entwickelt neue, hochpräzise Mischungen von Erdgas und Wasserstoff, die bis auf 0,05 Prozent genau sind. Die Kalibriergase werden benötigt, um in einer künftigen Wasserstoffwirtschaft Messgeräte eichen und damit Verbrauchsmengen und Kosten exakt abrechnen zu können. „Aktuell wird mit mathematischen Modellen gearbeitet, die jedoch nicht ausreichend validiert sind. Angesichts der enormen Mengen, um die es geht, bedeuten bereits Unsicherheiten im Promillebereich erhebliche Kostenunterschiede“, erklärt dazu Dirk Tuma, Chemiker und Experte für metrologische Fragen an der BAM. Mit ihren hochpräzisen Kalibriergasen leistet die BAM einen wichtigen Beitrag zur geplanten Dekarbonisierung des gesamten europäischen Gasnetzes, das mehr als eine Viertelmillion Kilometer umfasst und im Rahmen des Green Deal der Europäischen Union auf Wasserstoff und andere klimaneutrale Energieträger umgestellt werden soll. An dem [von der EU geförderten Verbundprojekt Decarb the gas grid](#) arbeiten neben der BAM 17 weitere namhafte Institutionen aus ganz Europa mit, darunter die nationalen metrologischen Institute Spaniens und Italiens sowie die Universität von Lissabon.



Anlieferung des 60-Kubikmeter-Tanks durch einen Spezialkran

SICHERHEITSTECHNIK FÜR GROSSE H₂-TANKS

Zur sicheren Speicherung und zum gefahrlosen Transport von Wasserstoff werden **Druckbehälter aus Stahl und Kompositwerkstoffen verwendet**. Weil die Nachfrage nach dem Energiegas steigt, werden bald erheblich größere dieser Behälter benötigt. Für die Tanks gelten strenge Sicherheitsvorschriften: Sie müssen in der Wand eine kreisrunde „Berstscheibe“ aus Kunststoff oder Metall besitzen. Bei einem Anstieg des inneren Drucks – etwa durch ein Feuer in der Nähe – birst die Scheibe und lässt den Wasserstoff kontrolliert entweichen. So wird verhindert, dass der gesamte Tank möglicherweise unkontrolliert versagt und z. B. Metallsplitter zur Gefahr werden. Die Vorschriften zu den Berstscheiben sind

aus mathematischen Modellen und Laborversuchen abgeleitet. Unklar ist, ob die Berechnungen auch auf sehr große Druckbehälter oder riesige Schiffstanks für Flüssigwasserstoff übertragbar sind. Um dies zu klären, führen Martin Kluge und sein Team in Kooperation mit BASF Versuche an einem 60-Kubikmeter-Tank durch. Es sind weltweit die ersten systematischen Untersuchungen dieser Art. „Mit unseren Versuchen im Realmaßstab erhalten wir erstmals verlässliche Daten, um die mathematischen Modelle validieren zu können. Unser Ziel ist es, die Sicherheitstechnik für Gastanks großer Volumina optimal auszulegen“, so Martin Kluge.

ENERGIE

Beschleunigter Windausbau



Deutschland will seine Kapazität an Windenergie allein im Offshore-Bereich bis 2045 fast verneunfachen. Die BAM unterstützt das ehrgeizige Ziel mit ihrem neuen Kompetenzzentrum Wind@BAM.

Der beschleunigte Ausbau der Windenergie bringt eine Vielzahl technologischer Herausforderungen mit sich: So werden bei den bis zu 250 Meter hohen Offshore-Windrädern der neuesten Generation Rotorblätter, stählerne Tragstrukturen und die Gründungen im Meeresboden besonders beansprucht. Der Ausbau in Meerestiefen von bis zu 40 Metern, aber auch die angestrebte deutlich längere Betriebszeit stellen ganz neue Anforderungen an die Anlagen, z. B. an den Korrosionsschutz. Auch an Land müssen die aus Stahlbeton gefertigten Türme Schwingungen und Winddruck standhalten. Viele aktuell geltenden technischen Bestimmungen dazu sind zu ergänzen und Verfahren für eine den technischen Möglichkeiten angepasste längere Nutzungsdauer zu entwickeln, damit die Ausbauziele nicht behindert werden.

Innovationen vorantreiben, Potenziale nutzen

Zur Lösung dieser Herausforderungen hat die BAM 2022 ihre langjährige Expertise im Bereich Windenergie **zu einem Kompetenzzentrum Wind@BAM zusammengefasst** [📄](#). „Wind@BAM versteht sich als ‚Enabler‘“, erklärt der Leiter Matthias Baeßler. „Wir wollen einerseits dabei helfen, dass Innovati-

onen und aktuelle Erkenntnisse zu den neuen Größendimensionen der Anlagen möglichst schnell in die Anwendung gelangen, und so den beschleunigten Ausbau der Windenergie unterstützen. Gleichzeitig wirken wir an der Überprüfung bestehender Sicherheitsvorschriften mit. Hier liegt ein oft über-

sehenes Potenzial: Wenn Windenergieanlagen etwa durch den Einsatz intelligenter Sensorik länger sicher betrieben werden können, bringt uns das entscheidend voran.“ Im Kompetenzzentrum Wind@BAM arbeiten bereits heute rund 30 Wissenschaftler*innen an den beiden Lösungen: neue



Mittels Fluoreszenz lassen sich Schweißnähte an den Tragstrukturen von Windrädern auf Risse überprüfen.



Im Großprüfstand des Kompetenzzentrums werden Stahlbauteile gezielt Stresstests ausgesetzt.

“
**Das Einzigartige an Wind@BAM:
 die Vielfalt materialwissenschaftlicher
 Expertise aus einer Hand.**”

Windräder besser und vorhandene Anlagen langlebiger machen. So entwickeln sie automatisierte Schweißtechniken, damit für die neuen Riesentürme dünnere und gleichzeitig stärker belastbare Hochleistungsstähle zum Einsatz kommen können. Erwünschter Nebennutzen: Schon beim Bau von Offshore-Windparks lassen sich **durch Leichtbau große Mengen an Stahl, Energie und damit auch an CO₂ einsparen** ☑.

Intelligente Prüfung und digitales Monitoring

Um Defekte an Rotorblättern möglichst frühzeitig zu erkennen und so lange Ausfallzeiten von Windrädern

zu vermeiden, entwickelt das Kompetenzzentrum Wind@BAM **intelligente Prüfmethode mit Infrarotkameras, Drohnen und künstlicher Intelligenz** ☑. Es testet Werkstoffe unter Realbedingungen auf hoher See, damit die Industrie den Korrosionsschutz optimieren kann. Und die Forscher*innen entwickeln Konzepte für ein umfassendes digitales Monitoring, damit neue und bereits vorhandene Anlagen möglichst lange in Betrieb bleiben können.

„Was unser Kompetenzzentrum dabei einzigartig in Deutschland macht, ist die Vielfalt materialwissenschaftlicher Expertise zur Windenergie und dass wir zugleich alles aus einer Hand anbieten: Forschung

und Entwicklung, Beratung und eine breite Palette teils unikatlicher Prüfmöglichkeiten“, so Matthias Baeßler. „Da Wind@BAM zudem federführend bei nationalen und internationalen Standards und Normen mitwirkt, sorgen wir stets dafür, dass hohe Qualitäts- und Sicherheitsstandards gewährleistet bleiben. Nicht zuletzt stärken wir dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Windindustrie.“ –

STANDHAFTE RIESENTÜRME

Offshore-Anlagen der neuesten Generation erreichen mit bis zu 250 Metern Höhe gigantische Dimensionen. Um sie sicher und standfest errichten zu können, verwendet die Industrie Spezialstähle. Diese erzielen ihre besondere Festigkeit u. a. durch die Beimischung geringer Mengen an Titan, Niob oder Vanadium. Zugleich erlauben sie es, die tragenden Gründungsstrukturen materialsparend in Leichtbauweise zu errichten – was die Riesentürme besonders wirtschaftlich und nachhaltig macht. Seit Langem aber ist bekannt, dass beim Zusammenschweißen der Anlagen aus bis zu Hunderten Einzelteilen ein Problem auftritt: Ausgerechnet die beigemischten Legierungselemente sorgen dafür, dass sich der Stahl in der Zone um die Schweißnaht aufgrund der hohen Temperaturen abweichend verhält. Das wiederum gefährdet die Stabilität der ganzen Anlage. Nina Schröder aus dem Kompetenzzentrum Wind@BAM **untersucht diese metallurgischen Prozesse nun erstmals systematisch** [🔗](#). Sie will herausfinden, in welchen Mengen Titan, Niob oder Vanadium den Legierungen beigemischt werden können, ohne dass es zu den sogenannten Erweichungszonen kommt. Ihre Grundlagenforschung soll später in Normen und Vorschriften eingehen, damit auch die Offshore-Anlagen der neuesten Generation Wind und Wellen sicher standhalten können.



17 verschiedene Werkstoffe und Korrosionsschutzsysteme werden drei Jahre lang bei Wind und Wetter geprüft.

HÄRTETEST AUF HOHER SEE

Windräder in Offshore-Windparks kämpfen mit besonders rauen Bedingungen. Vor allem „atmosphärische“ Korrosion, verstärkt durch die maritime Witterung, setzt den metallischen Teilen oberhalb der Wasserlinie zu. Trotz langer Forschung sind die für solche Korrosionsprozesse wesentlichen Faktoren noch nicht hinreichend verstanden. Auch bei scheinbar verlässlichen Werkstoffsystemen zeigen sich immer wieder unerwartet Probleme – weil sie bisher vor allem im Labor oder in Klimakammern auf ihre Korrosionsbeständigkeit geprüft werden. Gemeinsam mit der Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) **hat die BAM 2022 einen in Deutschland bisher einzigartigen Versuch gestartet** [🔗](#). Um die atmosphärische Korrosion unter Realbedingungen zu erforschen, werden 17 verschiedene Werkstoffe und Korrosionsschutzsysteme in einem Windpark mitten in der Nordsee drei Jahre lang auf ihre Beständigkeit geprüft. Die Ergebnisse sollen es der Industrie ermöglichen, den Korrosionsschutz optimal auszulegen, sodass Offshore-Anlagen möglichst lange, aber auch wirtschaftlich, sicher und nachhaltig betrieben werden können.

VERBESSERTES MONITORING

Windenergieanlagen sind ein zentrales Element für die Energiewende. Gewöhnlich haben sie jedoch nur eine Lebensdauer von 20 Jahren. Vor allem der Turm, der bei Onshore-Anlagen vielfach aus Spannbeton gefertigt wird, ist infolge des Winds ständigen Schwingungen ausgesetzt. Dies kann zur Ermüdung des Betons und schließlich zu Rissen führen. Wie sich diese Schädigungen z. B. mittels Ultraschall- und Schallemissionsmessungen erfassen lassen, hat die BAM in den vergangenen Jahren bereits erforscht. In einem **neuen Verbundprojekt mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie** [🔗](#) sollen die im Labor bewähr-

ten Methoden jetzt so weiterentwickelt werden, dass Windenergieanlagen vor Ort über ihre gesamte Lebensdauer noch besser und effizienter überwacht werden können. „Unser Ziel ist es, den Zustand der Türme dauerhaft im Blick zu behalten“, so Marc Thiele, Experte für Betonermüdung an der BAM. „Auf diese Weise können Instandhaltungen besser geplant und das Potenzial vorhandener Windenergieanlagen optimal genutzt werden. Damit sollten sie idealerweise auch über die vorgesehene Lebensdauer von 20 Jahren hinaus betrieben werden und einen noch größeren Beitrag zur Energiewende leisten können.“

ENERGIE

Innovative Batteriematerialien

Synthetische Kohlenstoffe verbessern
die Leistung von Natrium-Batterien.

Tim Fellingner ist Experte für Energiematerialien. Im Gespräch erklärt er, worauf es ankommt, um bei Batterien Innovations sprünge zu erzielen.

Weltweit arbeiten Labors an der Weiterentwicklung elektrischer Batterien. In welche Richtung geht der Trend?

Die größte Herausforderung besteht noch immer darin, höhere Speicherdichten zu erzielen. Gleichzeitig sind wir mit einem zunehmenden Rohstoffmangel konfrontiert. Viele Unternehmen und Labore forschen daher an Alternativen zu den gängigen Batteriematerialien wie Graphit oder Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxiden. Neben der Renaissance von Lithiumeisenphosphat-Akkus liegen Natrium-Ionen-Batterien aktuell im Trend, denn sie enthalten leicht verfügbare Rohstoffe. Zwar besitzen sie eine etwas geringere Speicherkapazität, arbeiten dafür aber auch bei niedrigen Temperaturen zuverlässig.

Worauf kommt es besonders an, um Innovations sprünge zu erzielen?

Um leistungsfähigere, sichere und idealerweise auch nachhaltigere Akkus entwickeln zu können, ist es für Start-ups und andere Unternehmen wichtig, die verwendeten Materialien für Anoden und Kathoden und deren Verhalten bei der Speicherung von Energie möglichst präzise zu bestimmen. Be-

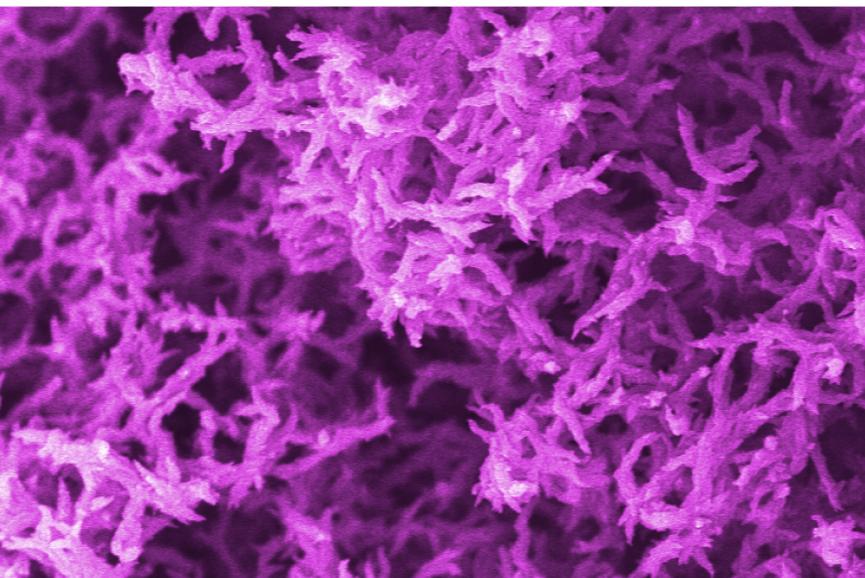
reits etablierte Methoden wie z. B. die Röntgenkristallografie stoßen hier zunehmend an ihre Grenzen, da die in Batteriezellen verbauten Komponenten immer komplexer werden und bis auf die Nanoebene verstanden werden müssen.

Welchen Beitrag kann die BAM hier leisten?

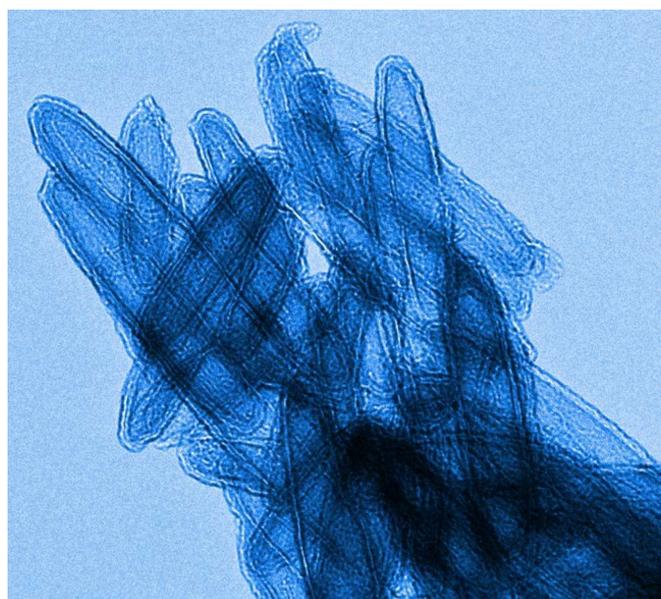
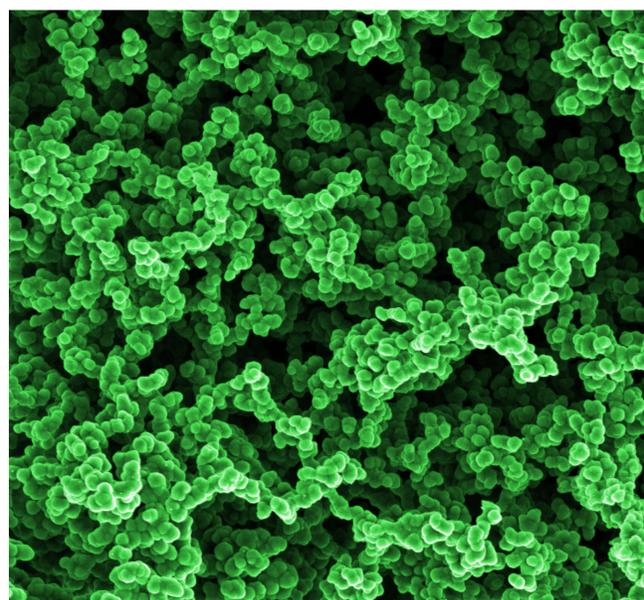
Neuerdings rückt, wenn es um die Charakterisierung von Energiematerialien und Batteriekomponenten geht, die Kernspinresonanzspektroskopie in den Blick. Sie erlaubt eine besonders tiefgehende Untersuchung sowohl gängiger Lithiumbatterien als auch neuer Batteriekonzepte, wie beispielsweise Natrium-Ionen-Batterien. Wir bauen gerade **an der BAM eine leistungsfähige Kernspinresonanzspektroskopie auf**. Damit wollen wir Unternehmen im Batteriebereich und in der Wissenschaft einen



Tim Fellingner ist Experte für Energiematerialien.



Form und Struktur synthetischer Kohlenstoffe lassen sich gezielt designen, um einzelne Batteriekomponenten zu optimieren.



schnellen und unkomplizierten Zugang zu dieser hochmodernen Messtechnik samt unserer Expertise bieten. Eine solche Infrastruktur selbst aufzubauen und sie mit Fachpersonal zu betreiben, wäre von vielen Unternehmen im Bereich der Batteriezellproduktion aufgrund der hohen Kosten gar nicht zu leisten.

Warum sind diese Messungen so wichtig?

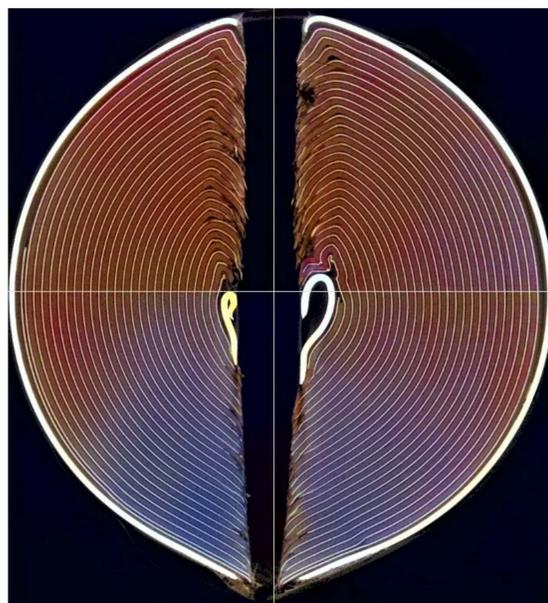
Eine herausragende Infrastruktur für die Analytik von Batteriematerialien ist unverzichtbar, um Innovationen gemeinsam voranzutreiben. Sie kann Unternehmen und Start-ups ermutigen, neue und nachhaltige Akku-Materialien auch jenseits der gängigen Lithium-Ionen-Technologie schnell und unkompliziert zu testen. Das begünstigt Innovationsschübe in der Batterieforschung in Deutschland insgesamt. Unsere Kernspinresonanzspektroskopie wird zudem über die Vernetzung mit den bereits vorhandenen Kompetenzclustern im Batteriebereich leicht verfügbar sein.

Wie nutzen Sie und Ihr Team die Kernspinresonanzspektroskopie für die eigene Forschung?

Wir werden mit unseren Forschungspartnern **z. B. Natrium-Ionen-Akkus, die als nachhaltige Alternative zu Lithiumbatterien gelten** [☞](#), untersuchen. Aktuell interessieren uns insbesondere die sogenannten Hard Carbons, ein besonders vielversprechendes Energiespeichermaterial auf Kohlenstoffbasis. Wir wollen die Speicherfähigkeit dieser Materialien steigern, sodass sie eines Tages das fossile Graphit ablösen können. **—**

AKKUS SCHOCKGEKÜHLT

Nils Böttcher vom Batterietestzentrum der BAM erforscht, wie sich kritisch defekte Lithium-Ionen-Batterien in Zukunft sicherer transportieren lassen. Dazu werden beschädigte Akkus bis auf -80 °C schockgekühlt. Erste Untersuchungen zeigen, dass mit dieser Methode das gefährliche thermische Durchgehen, bei dem Brände mit extrem hohen Temperaturen sowie toxische Gase entstehen können, verzögert werden kann. Das thermische Durchgehen von Elektrobatterien, ausgelöst z. B. durch Überladung oder durch einen Unfall, ist eine der größten Gefahrenquellen für Einsatzkräfte vor Ort und stellt auch die Hersteller von Lithium-Ionen-Akkus vor Probleme. Die BAM legt in Deutschland die Sicherheitsvorschriften für den Transport solcher kritisch defekten Akkus fest. Gleichzeitig **forscht sie in ihrem Batterietestzentrum umfassend zum State of Safety**, der Sicherheit von Akkus, und entwickelt dazu neue technische Lösungen. Nils Böttcher untersucht aktuell, ob sich das thermische Durchgehen durch Schockkühlung ganz stoppen lässt.



Beschädigungen (hier simuliert) können das thermische Durchgehen einer Batteriezelle auslösen.

MEHR LITHIUM DURCH RECYCLING

Lithium ist unverzichtbar für die Energiewende. Weltweit wird der Bedarf an diesem wichtigen Leichtmetall in den kommenden Jahren weiter stark steigen. Viele Batteriehersteller bauen daher schon jetzt Recyclingketten auf. Für ein Viertel aller Lithium-Ionen-Batterien existiert jedoch bisher keine praktikable Recyclingmethode; insbesondere für Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien (LFP), die in tragbaren elektronischen Geräten, in E-Autos und Großspeichern verwendet werden. „Bei bisherigen Verfahren werden LFP von Recyclingunternehmen eher als Störfaktor gesehen, da sie die Abläufe erschweren. Sie sortieren den Batterietyp aus und führen ihn einem ‚Downcycling‘

zu – das enthaltene Lithium ist damit für die Kreislaufwirtschaft verloren“, so Anita Schmidt vom Batterietestzentrum der BAM. Die novellierte EU-Batterieverordnung, die 2023 in Kraft treten soll, schreibt jedoch auch für LFP zwingend ein Recycling vor. Die BAM, die sich u. a. mit thermochemischen Verfahren zur Rückgewinnung kritischer Rohstoffe beschäftigt, will diese daher auch für LFP nutzbar machen. Dabei werden die Wertstoffe in LFP bei hohen Temperaturen separiert. Das zurückgewonnene Lithium kann dann wieder als Rohstoff für künftige Batterien eingesetzt werden.

FRÜHWARNSYSTEM MELDET AKKUBRAND

Batteriebrände können schnell zur Gefahr für die Insassen von E-Autos werden. Daher regeln gesetzliche Vorschriften in der EU, aber auch in Chi-



na, dass ein Akku mindestens fünf Minuten vor einem sogenannten thermischen Durchgehen ein optisches oder akustisches Warnsignal abgeben muss. Gesteuert wird es z. B. vom Batteriemanagementsystem der Batterie. Der bisher hauptsächlich verwendete Lösungsansatz liegt in der Verwendung von Sensoren, die z. B. auf verdächtige Temperatur- oder Druckveränderungen innerhalb der Batterie reagieren. Der Nachteil: Damit die Sensoren einen Alarm auslösen können, muss bereits eine gravierende Schädigung der Zelle erfolgt sein. Das thermische Durchgehen der Batterie und damit ihre Zerstörung sind zu diesem Zeitpunkt meist unvermeidlich. In Kooperation mit einem Hersteller von Batteriemanagementsystemen forscht die BAM an einem Frühwarnsystem, das kritische Veränderungen rechtzeitig anzeigt, sodass die Zelle abgeschaltet und ein Brand oder Totalverlust vermieden werden kann. Das schafft einerseits mehr Sicherheit und spart gleichzeitig Kosten und wertvolle Ressourcen. Grundlage des neuen Frühwarnsystems ist ein Messverfahren, mit dem fortwährend der frequenzabhängige elektrische Widerstand in der Zelle gemessen und analysiert wird. Idealerweise soll es sich in Batterietypen jeglicher Art integrieren lassen.

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

INFRASTRUKTUR

Smarte Sensornetzwerke



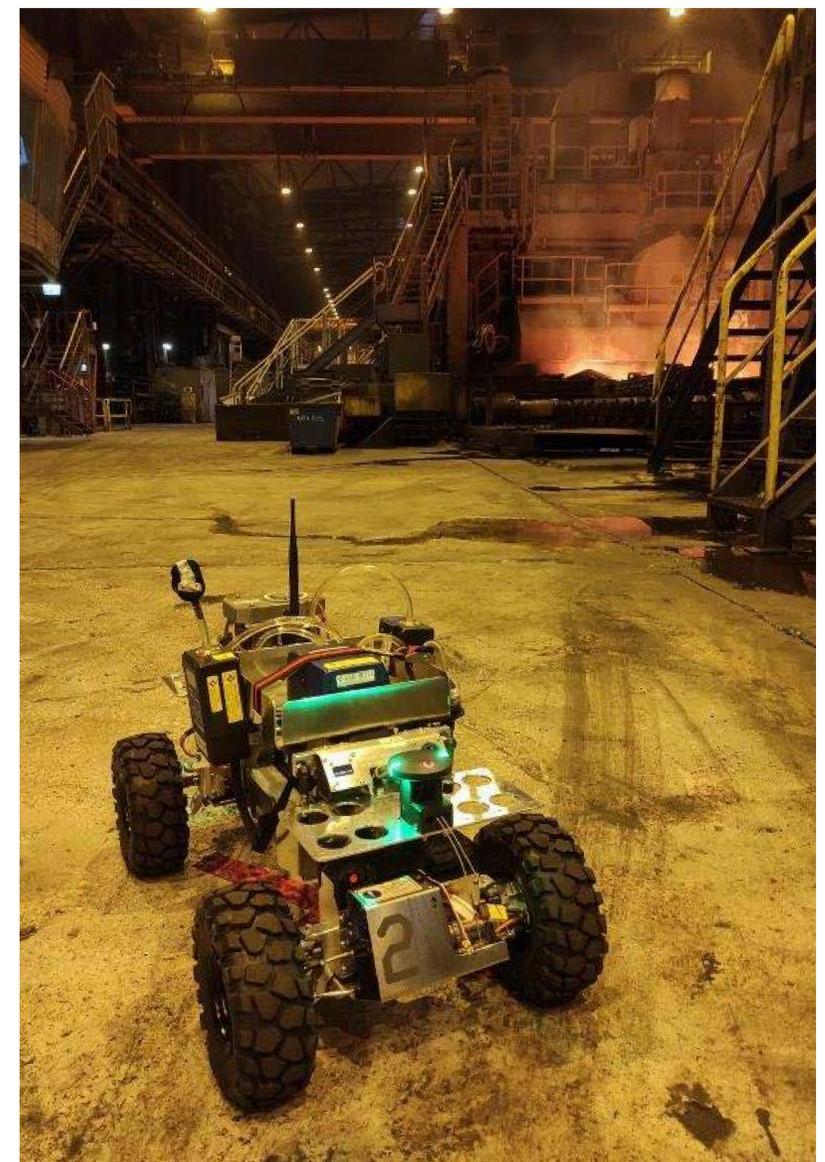
In Industrieanlagen können toxische Gase und Feinstäube freigesetzt werden. Ein von der BAM entwickeltes smartes Sensornetzwerk hilft, den Schadstoffgehalt der Luft genauer zu ermitteln und Menschen zu schützen.

Feinstaub oder Stickoxide sind winzige, für das Auge nicht sichtbare Luftschadstoffe. Sie werden vor allem durch die Industrie, bei der fossilen Energieproduktion und im Verkehr freigesetzt und können die Gesundheit gefährden. Um die konkreten Risiken zu bestimmen und geeignete Schutzmaßnahmen zu implementieren, werden meist an einzelnen Tagen Messkampagnen durchgeführt. Allerdings ergeben diese nur eine Momentaufnahme und erfassen die Substanzen oft nur unvollständig, da die meisten der eingesetzten Sensoren nur punktuell messen. Zudem wird der Anteil von Luftschadstoffen durch viele verschiedene Parameter beeinflusst und kann von Tag zu Tag variieren.

Innovatives Umweltmonitoring

Das **Projekt RASEM (Roboter-gestützte Umweltüberwachung zur Beurteilung der Luftqualität)** setzt auf einen ganz neuen Ansatz beim Umweltmonitoring: Ein System aus stationären Sensoren und mobilen Robotern im Innen- und Außenbereich von Industrieanlagen erfasst dauerhaft umfangreiche Daten. Durch die kontinuierliche Überwachung der Umgebung wird so auch der Einfluss von Temperaturschwankungen oder Abweichungen während des

Fertigungsprozesses berücksichtigt. Diese Faktoren können das Messsignal beeinflussen. „Indem wir stationäre Sensoren, Drohnen und Bodenroboter kombinieren, können wir die räumliche und zeitliche Verteilung von Stäuben und Gasen viel exakter als bisher messen“, erklärt Patrick Neumann, Experte für Sensorik an der BAM. „Bodenroboter fahren dabei vorab definierte Bereiche im Produktionsgelände ab, während gleichzeitig Drohnen Schadstoffe in der Umgebungsluft registrieren. Bei den stationären Sensoren ist die optimale Platzierung wichtig, um die Schadstoffkonzentration genau zu ermitteln.“

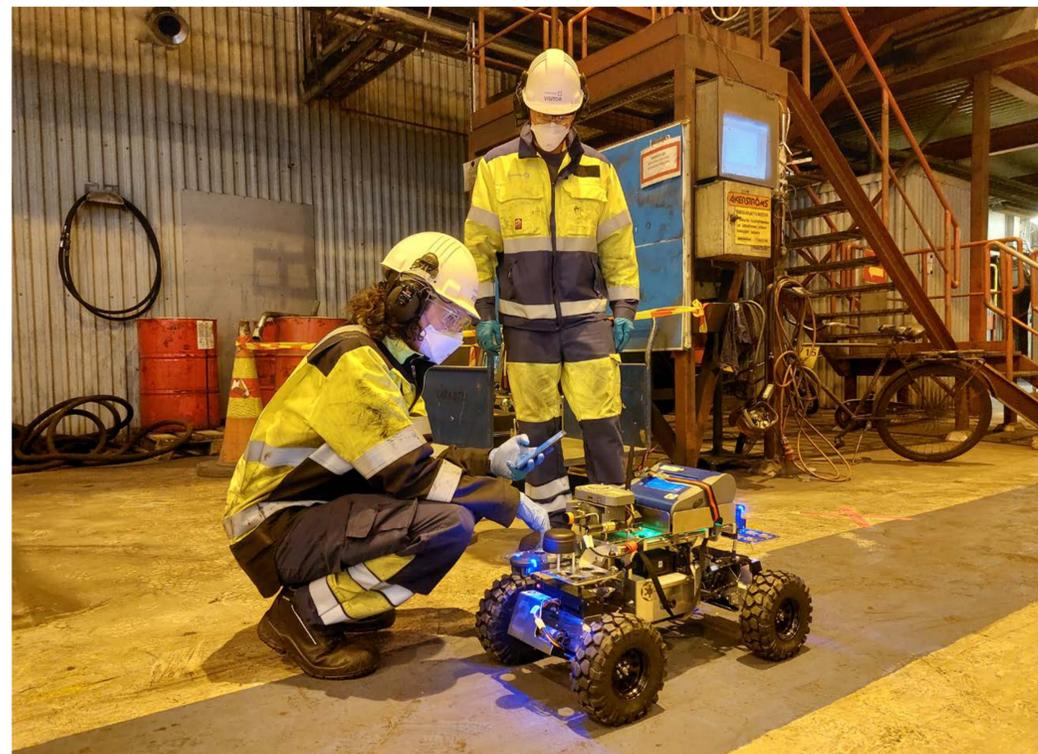


In einem Stahlwerk in Finnland kam ein mobiler Bodenroboter zum Einsatz.

Bessere Vorhersagen durch KI

Aus den Messdaten erstellt das Team mithilfe KI-basierter Algorithmen dreidimensionale Verteilungskarten von Luftschadstoffen. Im Vergleich zu konventionellen numerischen Lösungen, die individuell angepasst werden müssen und entscheidend von der genauen Kenntnis der Umgebung zu jedem Zeitpunkt abhängen, sollen die neuen Modelle möglichst einfach und schnell an neue Szenarien oder verschiedene Industrien anpassbar sein. „Wir nutzen dafür Methoden des Machine Learning bzw. neuronale Netze“, so Neumann. „Unsere Modelle ‚erlernen‘, wie sich Luftparameter in der Regel verhalten, und so können wir Verteilungs-

karten genauer und schneller erstellen.“ Erste Ergebnisse konnte das Team in einem Stahlwerk in Finnland sammeln. Dort haben Neumann und seine Kolleg*innen 16 Sensormodule für Staub, Gas, Temperatur und Feuchtigkeit installiert und über mehr als ein Jahr Messdaten erhoben und ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass ein Sensornetzwerk den Ausfall einzelner Sensoren gut kompensieren kann. „Durch den Einsatz von KI-Methoden können wir Sensornetzwerke nicht nur effizienter gestalten, sondern auch Datensicherheit schaffen und so den Schutz für Mensch und Umwelt verbessern“, resümiert Neumann. Zukünftig will das Team weitere Anwendungsfälle für sein Sensorsystem testen. –



Durch die Kombination von Robotern, Drohnen, stationären Sensoren und KI lassen sich dreidimensionale Karten der Schadstoffverteilung erstellen.

INFRASTRUKTUR

Nachhaltiger Flammschutz



Ein Team der BAM will die Ökobilanz von Flammenschutzmitteln verbessern. Dafür nutzt es die Flammsechutzeigenschaften der Natur.

Kunststoffe sind im Alltag allgegenwärtig – von Dämmstoffen in Gebäuden über Karosserien von Autos bis hin zu elektronischen Geräten. Da diese Stoffe leicht entflammbar sind, werden Flammenschutzmittel und -beschichtungen eingesetzt, um Brände zu verhindern oder zu verzögern. Allerdings weisen diese oft eine suboptimale Ökobilanz auf. Forscher*innen der BAM arbeiten deshalb an **einer neuen Generation von Flammenschutz aus natürlichen Rest- und nachwachsenden Rohstoffen** □, der umweltverträglich und nachhaltig ist.

Enormes Potenzial

Eine Möglichkeit, Flammenschutz ökologisch zu gestalten, besteht darin, weniger Kunststoff zu verwenden und durch Füllstoffe bzw. Zusatzstoffe auf Naturfaserbasis zu ersetzen, da diese meist nicht so gut brennen. „Biogene Flammenschutzmittel, etwa aus Industrieabfällen oder nachwachsenden Quellen, haben ein enormes Potenzial“, so Alexander Battig, Flammenschutz-Experte an der BAM. „Wenn wir es schaffen, Flammschutzmaterialien effizient und gleichzeitig nachhaltig zu gestalten, leisten wir einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft und zu einer klimaneutralen Wirtschaft“, ergänzt Battig.

Die Verarbeitung biogener Zusatzstoffe in Flammenschutzmitteln stellt bislang jedoch noch eine Herausforderung dar, da sie die Materialeigenschaften des Kunststoffs nicht beeinflussen sollen. „Oft verändern Zusatzstoffe die Eigenschaften von

Kunststoffen, so z. B. deren Dichte. Manche Flammenschutzmittel benötigen daher hohe Füllmengen“, so Battig. „Wir untersuchen, wie die Komponenten im Brandfall miteinander interagieren und wie wir Füllmengen optimieren können.“ Ziel ist es, den



Alex Battig entwickelt nachhaltige Flammenschutzmittel z. B. aus Lederresten.



Biogene Flamm- schutzmittel, etwa aus Indus- trieabfällen oder nachwachsenden Quellen, haben ein enormes Potenzial.

Flammschutz aus Lederfasern (l.) entwickelt im Brandfall eine verkohlte Oberfläche (r.), die wie ein Hitzeschild wirkt.



Flammschutz zu maximieren und gleichzeitig Materialeigenschaften zu verbessern.

Vielfältige Bio-Materialien mit individuellen Vorteilen

Die BAM-Forscher*innen experimentieren u. a. mit **Industrieabfällen wie Lederresten** und Eierschalen sowie nachwachsenden Rohstoffen wie Algen. „Jeder dieser Zusatzstoffe bietet individuelle Vorteile für den Flammschutz“, erklärt Battig. Bei den Flammschutzmaterialien mit Lederfasern entwickelte sich z. B. beim Brennen eine verkohlte Schicht, die als Hitzeschild fungiert und die Kunststoffoberfläche vor Wärmestrahlung und weiterer Brandausbreitung schützt. Positiv wirken dabei die im Lederabfall enthaltenen Proteine, die Kollagene, die den Flammschutz noch verstärken. In einem gerade gestarteten Forschungsvorhaben werden außerdem

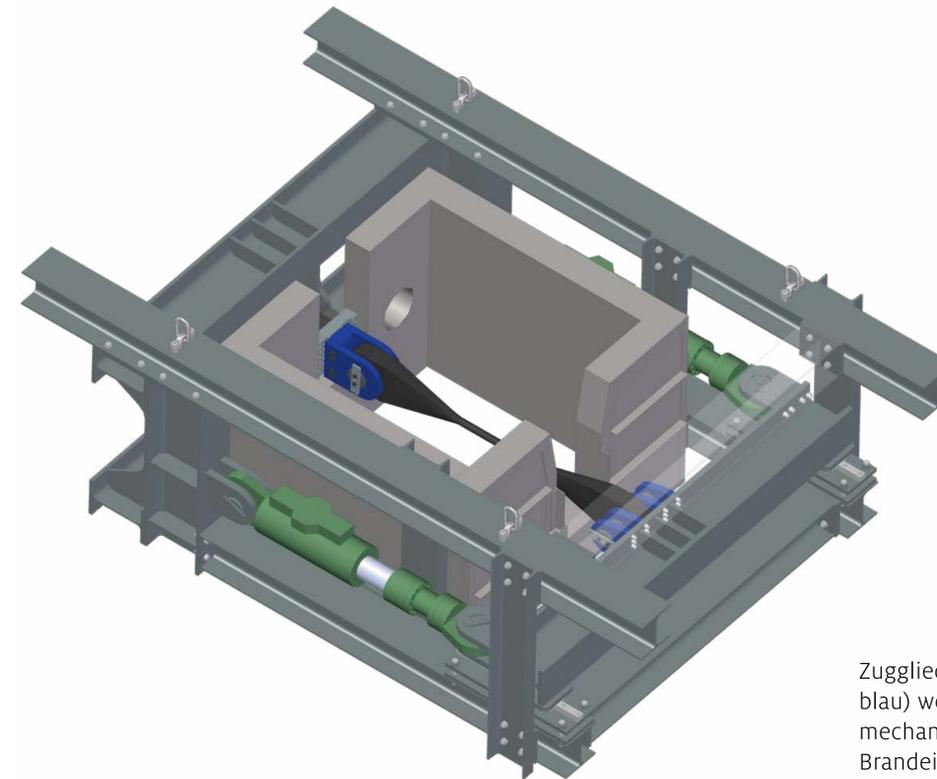


Algen als Zusatzstoff für Flammschutzmittel untersucht, genauer: Meeresalgen sowie phosphorreiche Algen aus Kläranlagen werden hinsichtlich ihrer Flammschutzeignung analysiert. Da sie viel Phosphor enthalten, sollen die Algen als eine Art Schwamm fungieren und so eine Flammschutzbarriere aufbauen.

„Unsere Untersuchungen zeigen, dass durch das Upcycling, also die Wiederverwertung von Abfallprodukten oder die Nutzung nachhaltiger Ressourcen, die Ökobilanz von Flammschutz deutlich verbessert und gleichzeitig eine hohe Brandschutzwirkung erzielt wird“, resümiert Alexander Battig. Zukünftig könnten noch andere natürliche Rohstoffe eingesetzt werden – von Kork bis Muscheln –, sie bieten weitere Potenziale für ökologische Flammschutzmaterialien. –

BRANDSICHERE ZUGGLIEDER FÜR DEN LEICHTBAU

Bogenbrücken für den Eisenbahnverkehr werden mit stählernen Zuggliedern errichtet. Eine Alternative dazu sind Carbonfasern. Diese sind nicht nur leichter, sondern ermöglichen weitere Materialeinsparungen beim Beton und Stahl der gesamten Brücke – so kann zugleich CO₂ eingespart werden. Voraussetzung ist allerdings, dass die Carbonzugglieder allen Sicherheitsanforderungen gerecht werden. Im [Verbundprojekt NeZuCa](#) haben sich die BAM, die Technische Universität Berlin, das Karlsruher Institut für Technologie, die Universität Stuttgart, das Ingenieurbüro Schlaich Bergermann Partner und die Deutsche Bahn zusammengeschlossen, um das Ermüdungsverhalten sowie den Feuerwiderstand von Carbonzuggliedern zu untersuchen. An der BAM kam dabei ein spezieller Prüfstand zum Einsatz, an dem sich simultan die Beanspruchung durch Zug und Brandeinwirkung testen lässt. So zeigte sich, bis zu welcher Grenze Zugglieder aus Carbon belastbar sind und wie sich ihr Feuerwiderstand weiter verbessern lässt. Die Erkenntnisse können künftig dazu beitragen, den Einsatz von Carbonzuggliedern im Brückenbau oder auch im Hochbau zu etablieren.



Zugglieder aus Carbon (hier: blau) werden im Prüfstand auf mechanische Belastung und Brandeinwirkung geprüft.

NEUE PRÜFNORM FÜR REAKTIVE BRANDSCHUTZSYSTEME

Um den Feuerwiderstand von Stahlkonstruktionen, wie z. B. in Hochhäusern, Lagerhallen oder Industriebauten, zu verbessern, werden häufig sogenannte reaktive Brandschutzsysteme (RBS) verwendet. Diese dünnen Beschichtungen, die aus mehreren Komponenten bestehen, erzeugen im Brandfall eine schaumartige Dämmschicht, wodurch die Erwärmung des Stahls verzögert wird. Dadurch bleibt die Tragfähigkeit des Gebäudes länger erhalten, um Lösch- oder Rettungsmaßnahmen durchzuführen. Für die Anwendung von RBS-Beschichtungen auf Stahlzuggliedern fehlte jedoch bisher ein standardisiertes Prüf- und Bewertungsverfahren. Im [Projekt FIRESTEMIC](#) haben Wissenschaftler*innen der BAM zusammen mit

zwei Unternehmen, die solche Beschichtungen herstellen, einen konkreten Vorschlag für eine neue europäische Prüfnorm für RBS auf Stahlzuggliedern erarbeitet. Dazu hat das Team umfangreiche Brandversuche unter Zugbeanspruchung im Realmaßstab durchgeführt. Die Ergebnisse gaben Aufschluss darüber, wie genau die Prüfungen durchgeführt werden müssen, um aussagekräftig zu sein. Die Erkenntnisse sollen möglichst bald in die nationale und europäische Normung zum Brandschutz eingehen. So können sie dazu beitragen, ein einheitliches Sicherheitsniveau für die Anwendung von RBS auf Stahlzuggliedern zu etablieren.



Reaktive Brandschutzsysteme erzeugen eine schaumartige Dämmschicht. Sie verzögert die Erwärmung des Stahls.

INFRASTRUKTUR

Intelligente Brückenüberwachung



Belastungstest an einer Mainbrücke
mit einer 85 Tonnen schweren E-Lok

Brücken werden in Deutschland durch analoge Methoden überwacht. Mithilfe digitalen Monitorings und neuester Prüfverfahren ließen sich Sperrungen und Abrisse oft vermeiden.

Brücken werden in Deutschland heute noch weitgehend „händisch“ auf ihre Sicherheit überprüft. Dabei wird das Bauwerk vor Ort in Augenschein genommen, die Befunde und deren Bewertung manuell in Datenbanken und Bauwerksbücher eingetragen. Auf dieser Grundlage entscheiden Expert*innen anschließend über erforderliche Reparaturen oder Sperrungen.

Schädigungsprozesse frühzeitig erkennen

„Zustandserfassung und Bewertung von Brücken und anderen Infrastrukturbauwerken sollen in Zukunft digitalisiert und durch effizientere Konzepte verbessert werden“, so Ronald Schneider, Experte für Bauwerksmanagement an der BAM. „Ein digitales Monitoring ermöglicht idealerweise auch eine vorausschauende Instandhaltung, damit Inspektionen und Baumaßnahmen optimal geplant werden können. Wenn Schädigungsprozesse frühzeitig erkannt werden, lassen sich aufwendige Brückensperrungen reduzieren.“

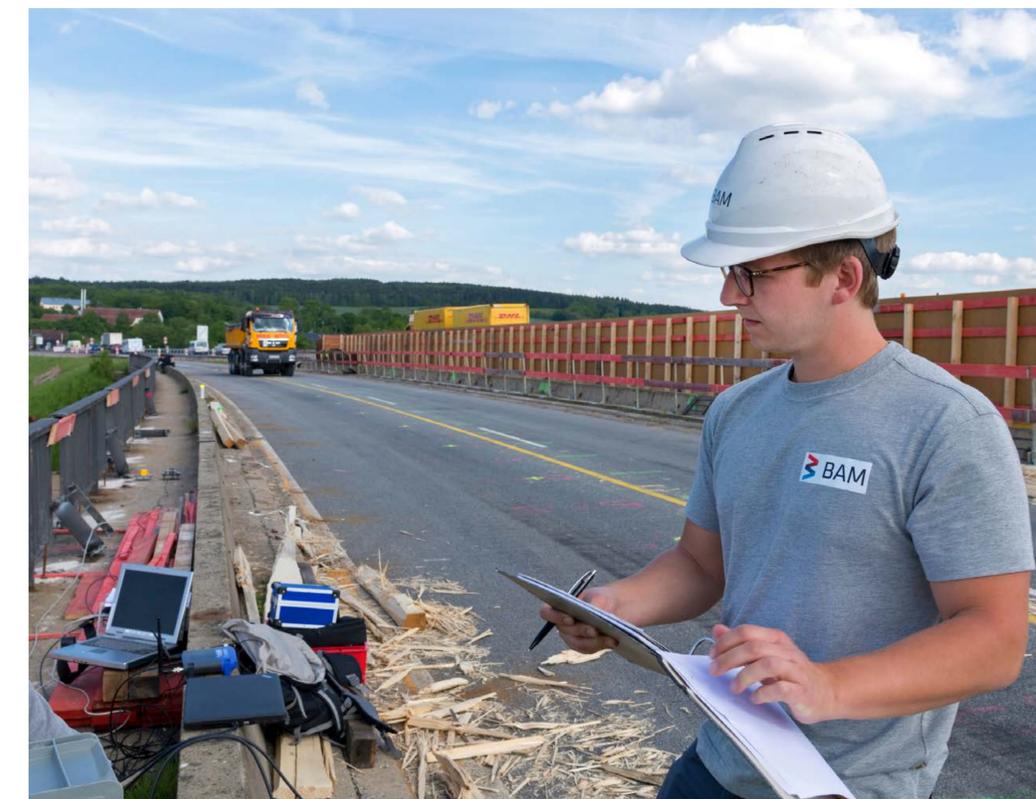
Schneider und sein Team haben dazu **im Forschungsprojekt AISTEC** zusammen mit Kooperationspartner*innen aus Wissenschaft und Wirt-

schaft eine vollständig digitale Lösung entwickelt. Sie ermöglicht eine automatische Überwachung von Brücken auf der Basis kontinuierlicher Sensordaten. Das Monitoringsystem ermöglicht sogar einen Blick in die Zukunft: Es erlaubt, künftige Schäden vorherzusagen, indem die Sensordaten mit Prognosemodellen für die relevanten Schädigungsprozesse verknüpft werden. Erfolgreich erprobt wurde das sensorbasierte Monitoringsystem der BAM an einer fast 800 Meter langen Eisenbahnbrücke in Bayern.

Lebensdauer verlängern

Nutzungseinschränkungen lassen sich auch **durch den Einsatz modernster Prüfmethode** vermeiden, da die Sicherheit von Bauwerken durch das zusätzliche Wissen besser beurteilt werden kann. Deren Tragfähigkeit wird mit statischen Berechnungen überprüft, um abzuschätzen, ob ein Bauwerk weiterhin dem stetig steigenden Verkehrsaufkommen gewachsen ist. „Dabei beruhen die Berechnungen bisher in den allermeisten Fällen nicht auf aktuellen Messdaten zum Zustand des Bauwerks, sondern stützen sich auf Unterlagen aus der Zeit der Erbauung oder auch auf Annahmen, wenn die alten Pläne fehlen oder lückenhaft sind“, so Stefan Kütten-

baum, Experte für Bauwerksuntersuchungen an der BAM. „Moderne zerstörungsfreie Prüfmethode erlauben eigentlich längst eine viel detailliertere Beurteilung von Brücken. Bislang sind diese Methoden



Stefan Küttenbaum und das Team testen modernste Methoden der Bauwerksprüfung.



“
” **Wenn Schädigungsprozesse frühzeitig erkannt werden, lassen sich aufwendige Brückensperrungen reduzieren.**

Mit aktuellen Messdaten von Sensoren lässt sich genauer einschätzen, ob ein Bauwerk den Belastungen noch gewachsen ist.



jedoch nicht Bestandteil der offiziellen Richtlinien für die Durchführung der statischen Berechnungen. Das wollen wir ändern.“ **Das Forschungsprojekt ZfPStatik**  hat sich zum Ziel gesetzt, die modernsten Methoden der Bauwerksprüfung gemeinsam mit Partner*innen aus Wirtschaft und Wissenschaft in die Berechnungen und Regelwerke zu integrieren. Dazu analysiert das BAM-Team Stärken und Schwächen verschiedener zerstörungsfreier Prüfmethoden und bewertet deren Qualität. Unternehmen sollen durch das Projekt Verfahren und Prozesse zugänglich gemacht werden, mit denen sich zerstörungsfreie Prüfungen vor Ort wirtschaftlich und zuverlässig umsetzen und vorzeitige Abrisse vielfach vermeiden lassen. –

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

UMWELT

Carbonfasern recycelt

Durch Recycling geschädigte Carbonfasern
unter dem Rasterelektronenmikroskop

Weltweit steigt der Bedarf an Carbonfasern für Leichtbauanwendungen. Bislang fehlt jedoch eine geschlossene Kreislaufwirtschaft für den Hochleistungswerkstoff.

Er ist für die Luft- und Raumfahrt unverzichtbar, wird in Rotorblättern von Windrädern, im Automobilbau und für zahlreiche Anwendungen im Freizeitbereich eingesetzt. Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) ist zu einem universell genutzten Leichtbaumaterial geworden. Bei der Transformation zur Klimaneutralität kommt CFK eine besonders wichtige Rolle zu: Er hilft, Masse, Material und damit gleichzeitig Ressourcen, Energie und CO₂ einzusparen. In Zukunft wird der Werkstoff z. B. auch für robuste und leichte Wasserstofftanks benötigt.

Kreislaufwirtschaft fehlt

Weltweit liegt der jährliche Verbrauch des Hochleistungswerkstoffs schon jetzt bei rund 130 000 Tonnen und steigt weiter. Angesichts dieses wachsenden Bedarfs ist es umso gravierender, **dass für CFK noch keine geschlossenen Kreislaufsysteme existieren** [☐](#). Zwar ist es längst möglich, gebrauchte Carbonfasern mittels Pyrolyse, also der thermischen Spaltung chemischer Verbindungen, wieder aus der sie umgebenden Kunststoffmatrix zu lösen und sie zu einem Ausgangsmaterial von hoher Qualität zu verarbeiten. Doch die Nachfrage nach recycelten Carbonfasern ist gering. Ihr Marktanteil liegt

bei unter fünf Prozent. „In der Industrie gibt es Bedenken gegenüber der Leistungsfähigkeit von Bauteilen auf Basis recycelter Carbonfasern“, erklärt Florian Loose, Chemiker an der BAM. „Viele Unternehmen, die CFK einsetzen, verwenden lieber neue Fasern, weil bisher wenig darüber bekannt ist, wel-

chen Einfluss das Recycling der Carbonfasern auf die Performance des fertigen Bauteils hat. Hinzu kommt, dass keine aussagekräftigen Standards zur Qualitätssicherung recycelter Carbonfasern existieren, die die Vorbehalte ausräumen könnten. So wird das Material aktuell entweder einem wenig nach-



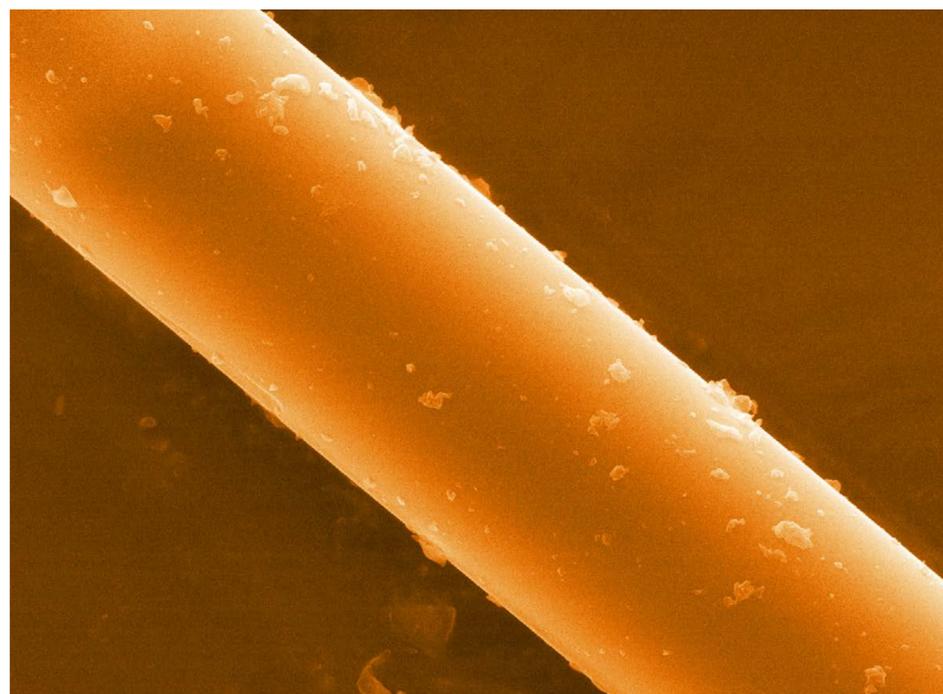
Florian Loose möchte Qualitätsstandards für das Recycling von Carbonfasern schaffen.

haltigen Downcycling unterzogen und z. B. zu Parkbänken verarbeitet oder entsorgt.“ Florian Loose und seine Kolleg*innen wollen das ändern. Sie untersuchen den Recyclingprozess genauer und wollen verlässliche Standards für recycelte Carbonfasern erarbeiten.

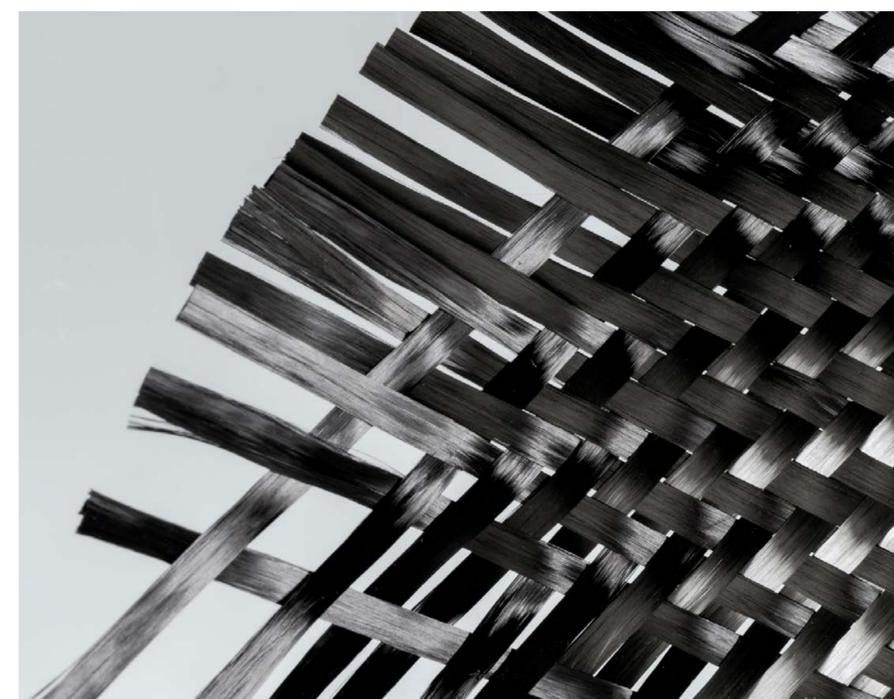
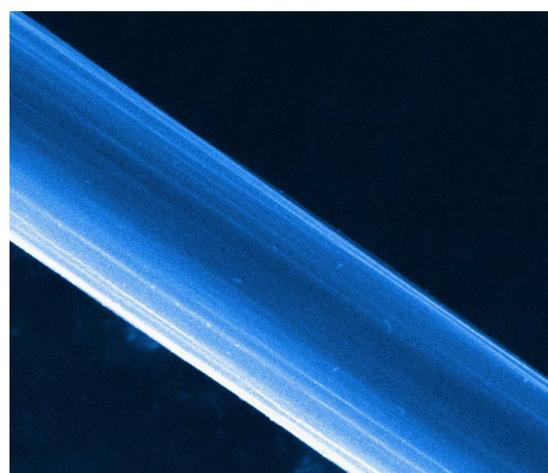
Direkter Performance-Vergleich

Im direkten Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie erhebt das Team dazu die Kenngrößen und Materialeigenschaften, auf die es in der Praxis ankommt. Diese Parameter beobachtet es dann über den gesamten Lebenszyklus eines CFK-Prüfkörpers: von dessen Fertigung und Einsatz über die Rückgewinnung der Fasern mittels Pyrolyse bis zu deren erneuter Verwendung in einem baugleichen Werkstück. Bei diesem direkten Performance-Vergleich von Alt und Neu werden vor allem mechanische Eigenschaften wie die Zwischenfaserbruch- und Schwingfestigkeit ermittelt. Sie sind für den Einsatz des recycelten Materials besonders relevant, weil sie über seine Belastbarkeit entscheiden, und wurden bislang kaum systematisch untersucht.

Genauer betrachten will das Team auch den Prozess des Recyclings selbst, um Beziehungen zu den Bauteileigenschaften zu verstehen. „Schließlich wollen wir Standards zur Qualitätssicherung recycelter Carbonfasern und deren Einsatz entwickeln, um die Akzeptanz am Markt zu steigern und eine geschlossene Kreislaufwirtschaft von CFK zu erreichen – bei einem verlässlich hohen Sicherheitsniveau“, so Florian Loose. –



Fast wie neu: Recycelte Fasern (u.l.) sind verarbeitet ähnlich leistungsfähig wie neue Fasern im CFK-Verbund (o., u.r.).



39 Jahre beträgt die durchschnittliche Lebensdauer eines Gebäudes in Europa. Dann wird es abgerissen – obwohl es oft noch weiter genutzt werden könnte. Dabei entstehen gewaltige Mengen an Bauabfällen, fast ein Drittel des gesamten Abfalls in Europa. Sabine Kruschwitz, BAM-Expertin für das Recycling von Baustoffen und **Mitkoordinatorin des europäischen Großprojekts „Reincarnate“**, will das ändern. 16 Organisationen aus acht Ländern haben sich in dem Projekt zusammengeschlossen. Das Ziel: die Idee der Kreislaufwirtschaft in der europäischen Bauindustrie verankern, sodass langfristig 80 Prozent weniger Bauschutt anfallen. Gleichzeitig könnte durch die Aufbereitung und anschließende Wiederverwertung bereits einmal genutzter Materialien der CO₂-Fußabdruck des Bausektors um 70 Prozent gesenkt werden. Dazu sollen die Recyclingpotenziale von Bauteilen und Baustoffen in digitalen Modellen erfasst und mit der Planungssoftware von Architekt*innen verknüpft werden. So können die Informationen bereits beim Entwurf berücksichtigt werden. Wichtig für die Verlängerung von Gebäudelebenszyklen sind auch zerstörungsfreie Prüfmethode, mit denen sich der Zustand von Bauwerken erfassen lässt, sowie datengesteuerte Modellierungsansätze zum Recycling von Baustoffen – beides Kernkompetenzen der BAM.



Bauabfälle ließen sich durch Kreislaufwirtschaft um 80 Prozent reduzieren.



Mit Stahlschlacken können in der Zementindustrie viele Millionen Tonnen CO₂ eingespart werden.

CO₂ SPAREN MIT STAHLSCHLACKEN

Hochfenschlacke, die als Nebenprodukt der Stahlerzeugung anfällt, wird bisher **als wertvoller und zugleich nachhaltiger Rohstoff in der Zementindustrie** genutzt: Als sogenannter Hüttensand ersetzt sie den Klinker und hilft so allein in Deutschland, jedes Jahr rund 4,5 Millionen Tonnen CO₂ einzusparen. Mit der anstehenden Transformation der Stahlindustrie zu einer CO₂-armen, wasserstoffbasierten Erzeugung ergeben sich hier eine Änderung und gleichzeitig eine Herausforderung: Der bisherige Hüttensand fällt in dem neuen Verfahren nicht mehr an. Stattdessen entsteht eine andersartige Stahlschlacke, die nicht ohne Weiteres wie bisher verwertet werden kann. Zusammen mit der Salzgitter Manesmann Forschung GmbH sowie dem Institut für

Baustoff-Forschung e. V., der Friedrich Rohstoffe GmbH, der Holcim Deutschland GmbH und der LOI Thermprocess GmbH erforscht die BAM, wie die Eigenschaften der neuen Schlacke so verändert werden können, dass diese auch weiterhin den Anforderungen der Zementindustrie gerecht wird. „Dazu gilt es, die chemische Zusammensetzung der Schlacke zu modifizieren und ihr durch sogenannte Zuschlagstoffe und einen kontrollierten Abkühlungsprozess die gewünschten Eigenschaften, etwa eine hohe Festigkeit, zu verleihen“, so Projektleiter Christian Adam. „So stellen wir sicher, dass die künftig in großer Menge verfügbare neue Stahlschlacke hochwertig genutzt wird und das erzielte Volumen an CO₂-Einsparung erhalten bleibt.“

INTERNATIONALES NETZWERK

Mikrobiell beeinflusste Korrosion oder kurz MIC (Microbiologically Influenced Corrosion) kann wichtige Infrastrukturen und Einrichtungen der Energieversorgung wie Brücken, Hafenanlagen, Autobahnen, Strommasten, Windräder oder Gaspipelines schädigen. Um dem entgegenzuwirken, hat die BAM-Biologin Andrea Koerdt ein internationales Forschungsnetzwerk ins Leben gerufen, das interdisziplinär Strategien gegen MIC erforscht und von der europäischen Förderorganisation Cooperation in Science and Technology (COST) unterstützt wird. Im August 2022 fand

an der BAM die erste internationale Konferenz **des neuen Euro-MIC-Netzwerks** mit Teilnehmenden aus der ganzen Welt statt, von China über die USA bis Südamerika. Im Fokus der zahlreichen Vorträge und Workshops: die Verbesserung des Wissensaustauschs zwischen Industrie und akademischer Welt sowie die neuesten Forschungsansätze gegen MIC. „Nur mithilfe eines vernetzten und interdisziplinären Ansatzes können wir die weltweiten Herausforderungen durch MIC lösen“, so Andrea Koerdt.



BIOZIDE SICHER UND NACHHALTIG VERWENDEN

Korrosion an Öl- und Gaspipelines und anderen wichtigen Infrastrukturen der Energie- und Wasserversorgung verursacht jedes Jahr weltweit Schäden in Höhe von mehreren Billionen Euro. Schuld sind u. a. Mikroorganismen, genauer: Sulfat reduzierende Bakterien. Sie produzieren bei ihrem Stoffwechsel Schwefelwasserstoff, der z. B. Leckagen in stählernen Rohrleitungen verursachen kann. Um das zu verhindern, bekämpfen Unternehmen die schädlichen Einzeller mit Bioziden, gegen die die Einzeller jedoch Resistenzen entwickeln können – gerade bei wiederholtem Einsatz. Für Sulfat reduzierende Bakterien wurde diese Überlebensstrategie bisher jedoch noch nie genauer erforscht. Daher widmet die BAM der Entschlüsselung von Biozidresistenzen bei den Mikroorganismen ein eigenes Forschungsprojekt. „Ziel ist es, molekulare Mechanismen zu verstehen, um den Einsatz von Bioziden besser und nachhaltiger steuern zu können“, so die **BAM-Biologin Lydia-Yasmin Sobisch**.



August 2022: Erste Konferenz des neuen Euro-MIC-Netzwerks an der BAM

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

MATERIAL

Leistungsstarke Nano-Halbleiter



Für die Nutzung von Windenergie und E-Mobilität werden leistungsfähige und zuverlässige Halbleiter benötigt. Die BAM entwickelt Prüfverfahren für die neueste Generation der Chips.

„Wide Bandgap“-Halbleiter (WBG) erlauben den Betrieb von Geräten bei höheren Spannungen und Temperaturen als bisher und weisen gleichzeitig sehr geringe Energieverluste auf. Mit der zunehmenden Miniaturisierung der Chips, die heute schon auf kleinstem Raum Milliarden von Schaltkreisen enthalten, steigt jedoch auch die Fehleranfälligkeit. Das führt nicht nur zu erhöhten Produktionskosten, sondern auch zu Sicherheitsrisiken: Defekte Bauteile können zur Gefahr für Menschen und Umwelt werden.

Anomalien im Nanobereich erkennen

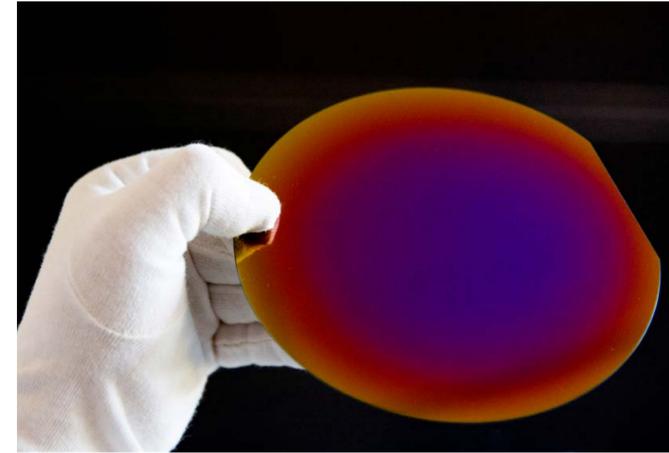
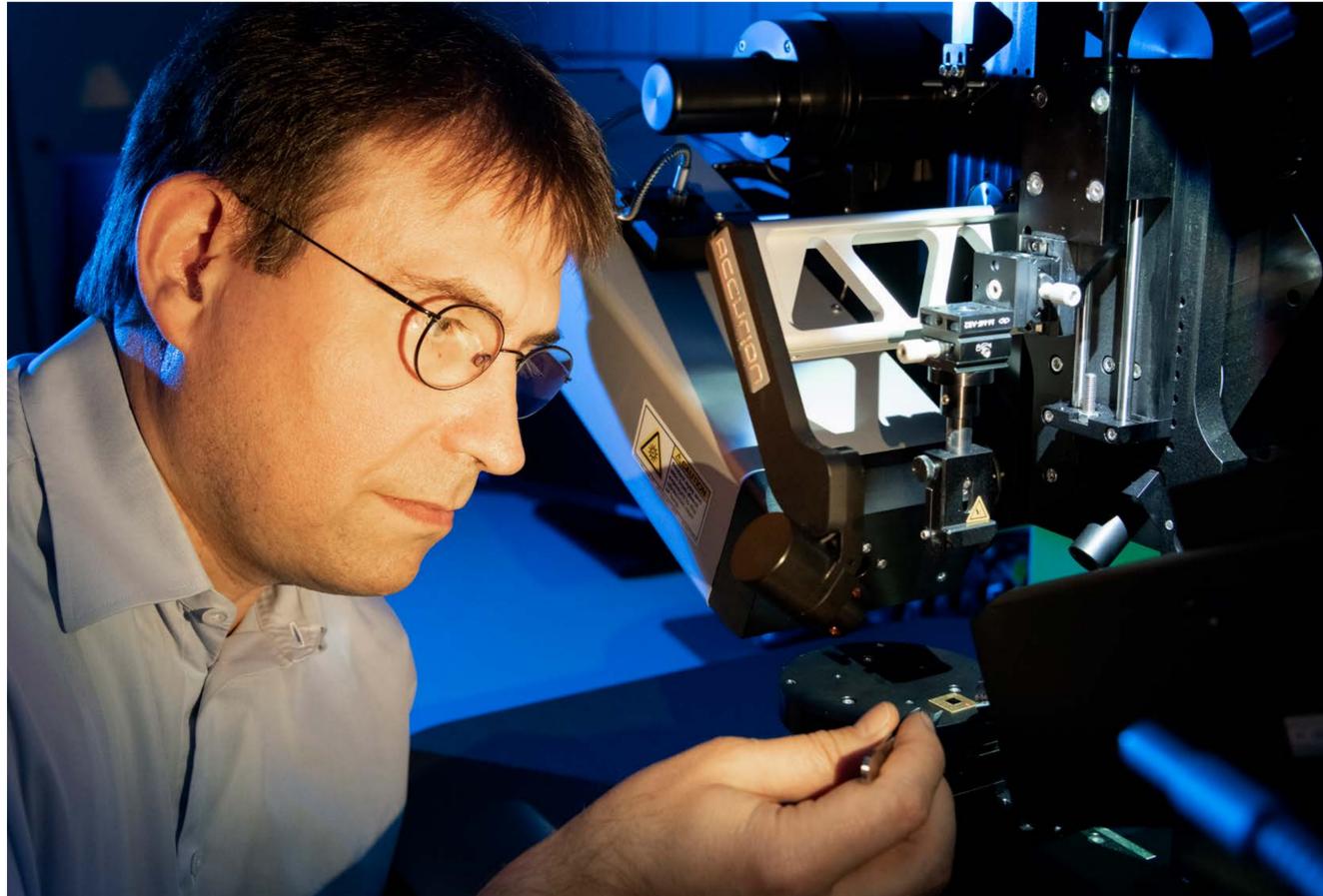
„Fehler zuverlässig zu erkennen, ist, neben der Steigerung der Ausbeute, ein zentraler Fokus der Industrie, um die Leistungsvorteile dieser Halbleiter voll ausschöpfen zu können“, so Andreas Hertwig von der BAM, die auf diesem Gebiet eines der führenden Forschungslabore in Europa betreibt. Hertwig und sein Team untersuchen **Verbindungshalbleiter mit verschiedenen spektroskopischen und optischen Verfahren auf Anomalien im Nanobereich** [☐](#). Im Projekt **PowerElec** [☐](#) erarbeiten sie Messmethoden und Standards, um die Qualität der Halbleiter zuverlässig zu ermitteln.

Ziel ist es, mögliche Fehler bereits während der Produktion zu erkennen. „Dafür kombinieren wir verschiedene Imaging-Methoden. So können wir elektronische und optische Eigenschaften der Materialien messen“, so Andreas Hertwig. Ein Lichtstrahl ermittelt dazu die Dicke der einzelnen

Schichten. Materialabweichungen werden unter Nutzung komplexer Algorithmen und der „Compressed Sensing“-Methode sekundenschnell erkannt. „Das Verfahren ähnelt der Komprimierung von Bilddateien“, erklärt Hertwig. „Die Datenmenge wird bereits während der Messung reduziert



Im Spektrometer lassen sich Fehler im Nanobereich erkennen.



Durch die Kombination mehrerer Imaging-Methoden werden Anomalien im Material sekundenschnell erkannt.

und mittels Algorithmen zu einem vollständigen Gesamtbild zusammengesetzt.“

Entscheidend ist auch die elektrische Leitfähigkeit der Chips, denn je höher diese ausfällt, desto leistungsfähiger und energieeffizienter arbeitet ein Gerät bzw. Bauteil. „Sie genau und effizient zu messen, ist momentan eine der großen Herausforderungen in der Elektronikindustrie“, erklärt Hertwig. „Dazu entwickeln wir in dem zweiten Projekt [ELENA](#) 

geeignete Verfahren.“ Diese sollen in der Zukunft schnellere und energieeffizientere Digitaltechnik ermöglichen.

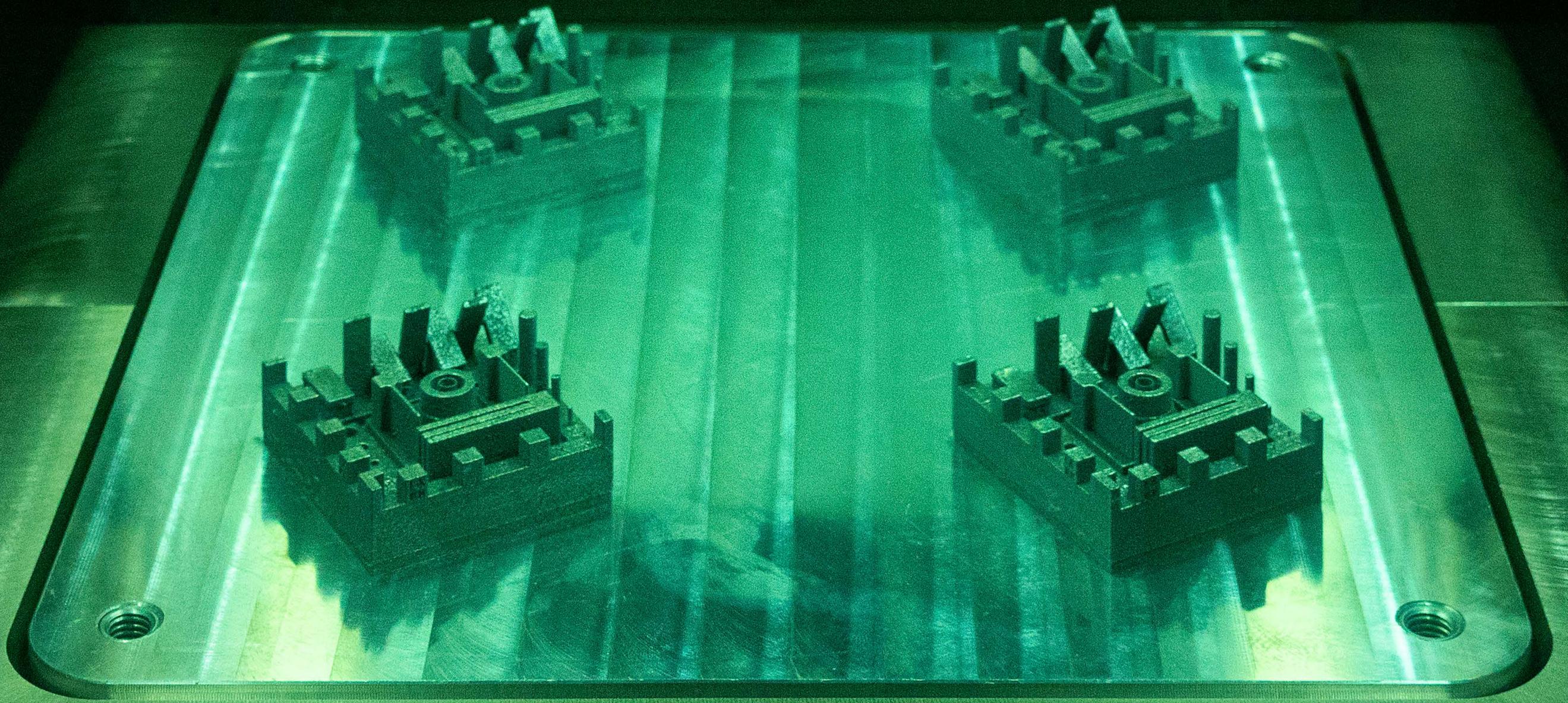
Schnellere Bewertung von Bauteilen

An beiden Forschungsprojekten sind insgesamt 20 europäische Partner*innen aus Wissenschaft und Industrie beteiligt. Gefördert werden sie durch das Europäische Metrologieprogramm für Innovation

und Forschung (EMPIR). Erste Ergebnisse zeigen, dass sich durch kombinierte Abbildungsverfahren Fehler besser erkennen lassen. „Besonders vielversprechend ist, dass wir auch die Häufigkeit und Größe von Defekten ermitteln können“, so Andreas Hertwig. „Damit werden zukünftig schnelle Messungen mit direkten Aussagen zur Qualität von Bauteilen möglich.“ In Zusammenarbeit mit Hersteller*innen von Halbleitern sollen die Analysemethoden zur Praxisreife entwickelt werden. —

MATERIAL

Reallabor 3D-Druck



Der 3D-Druck von Metallen entwickelt sich zur neuen Schlüsseltechnologie. Im Reallabor der BAM wird der gesamte Produktionsprozess digitalisiert, um eine konstante Qualität der Bauteile zu gewährleisten.

Bei der pulverbettbasierten additiven Fertigung von Metallen wird ein Pulver Schicht für Schicht auf eine Plattform aufgetragen und mittels Laserstrahls verschmolzen. Durch den schichtweisen Aufbau lassen sich hochkomplexe, stabile und leichte Geometrien mit Hohlräumen und Wabenstrukturen realisieren, z. B. Leichtbauteile für Flugzeuge.

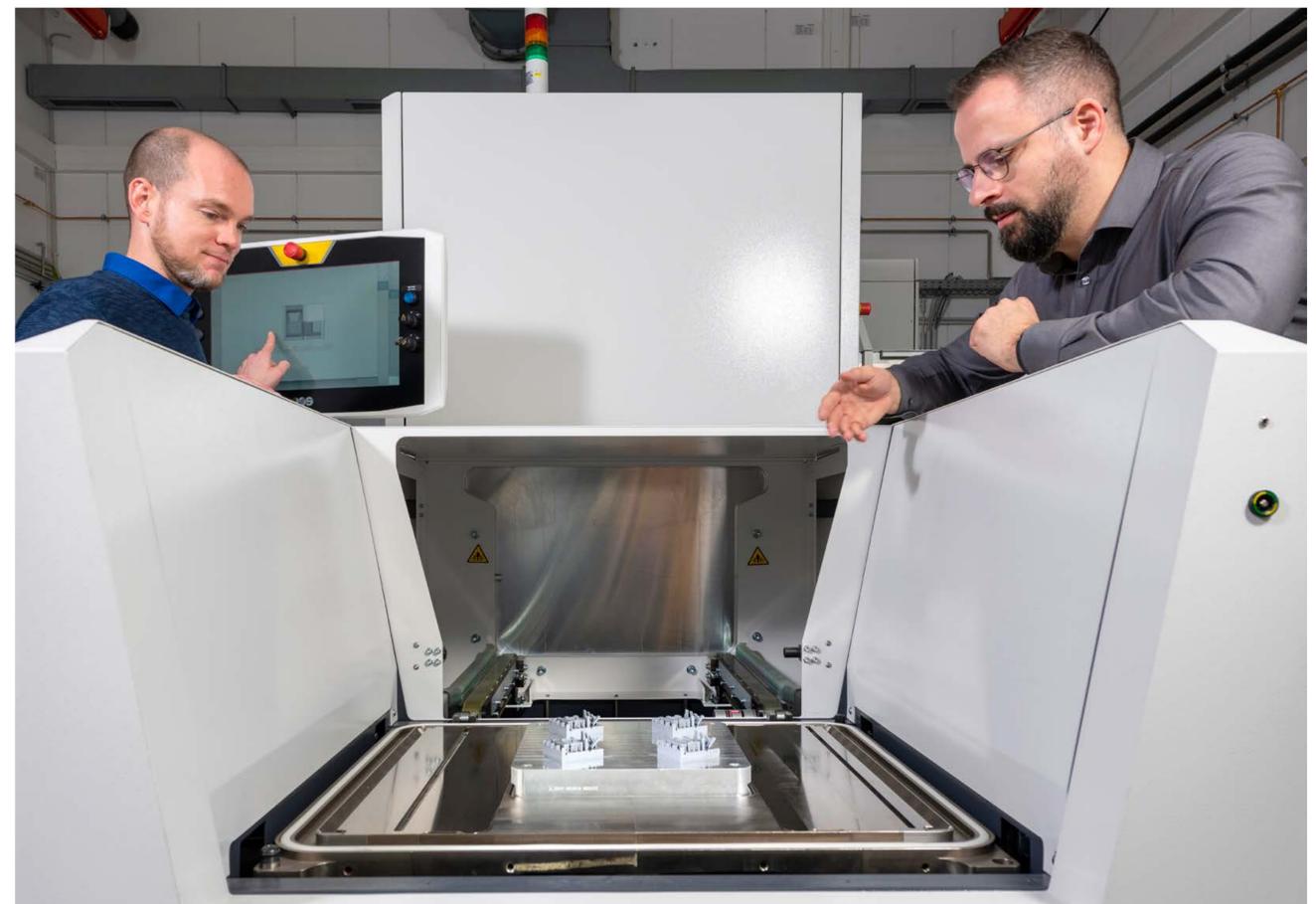
Mit der Komplexität steigt jedoch auch die Fehleranfälligkeit: „Die Qualitätssicherung stößt hier an ihre Grenzen“, erklärt Kai Hilgenberg, **Leiter des Kompetenzzentrums Additive Fertigung** der BAM. „Um Defekte auszuschließen, müssen Unternehmen sehr zeit- und kostenintensive Prüfungen durchführen. Für eine Serienproduktion ist die additive Fertigung von Metallen daher bislang in vielen Fällen nicht wirtschaftlich.“

Durchgehend vernetzter Produktionsprozess

Im neuen Reallabor des Kompetenzzentrums erarbeitet die BAM im Rahmen eines Pilotprojekts der Initiative Qualitätsinfrastruktur Digital (QI-Digital) **Lösungen für eine qualitätsgesicherte additive Fertigung metallischer Bauteile**. BAM-Wissenschaftler*innen forschen hier zusammen mit Partnerin-

stitutionen der deutschen QI und interessierten Unternehmen praxisnah und ausgerichtet an den Anforderungen des Markts. „Wir wollen den gesamten Fertigungsprozess digitalisieren – vom Aus-

gangsmaterial über den Herstellungsprozess bis zum fertigen Bauteil und den nachgelagerten zerstörungsfreien Prüfungen“, fasst der Koordinator des Pilotprojekts Martin Epperlein zusammen.



Im Reallabor der BAM wird der gesamte Fertigungsprozess digitalisiert.

„Unsere Daten bilden die Basis für die Entwicklung verlässlicher Sicherheitsstandards.“

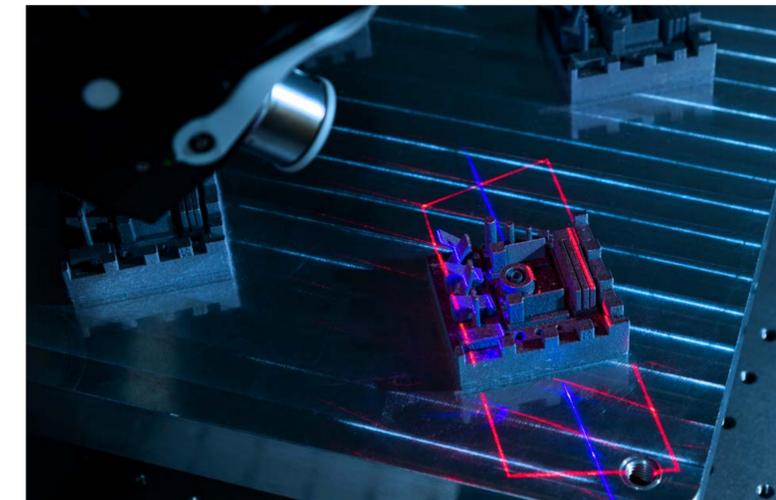
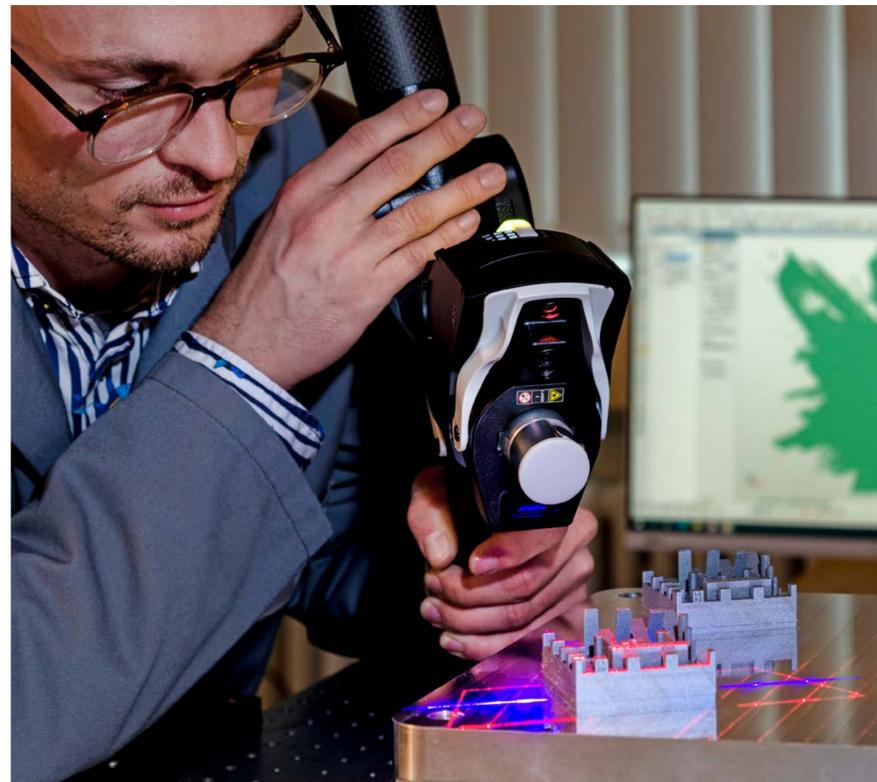
Dafür hat das Team in State-of-the-Art-Anlagen investiert: Eine Multilaser-Anlage gepaart mit Kameras zur Prozessüberwachung ermöglicht die gezielte Auswertung qualitätsrelevanter Daten noch während des Druckprozesses. Bei der laufenden Fertigung erkennen diese Spezialkameras automatisch Fehlstellen, wie Hohlräume, nicht geschmolzenes Pulver oder Risse, die nach dem Druck noch einmal computertomografisch abgeglichen werden. Das fertige Bauteil wird außerdem per 3D-Scanner vermessen. Dabei wird geprüft, ob es die vorgeschriebenen Toleranzen einhält.

Standards und Zertifikate aus der Cloud

Aus der Vielzahl der Daten, die während des gesamten Druckprozesses anfallen, ermittelt das Team mithilfe künstlicher Intelligenz diejenigen Informationen, die qualitätsrelevant sind. In Kooperation mit den QI-Digital-Partner*innen entstehen daraus Prototypen digitaler Normen und Smart Standards. Die Vernetzung aller Anlagen im Reallabor ermöglicht zudem eine digitale Prüfung des Fertigungsprozesses per QI-Cloud. Das Ergebnis wird in Form eines digitalen Zertifikats bescheinigt.

„Mit unserer Arbeit wollen wir kleinen und mittelständischen Unternehmen den Einstieg in die additive Fertigung von Metallen erleichtern“, erklärt Epperlein. „So tragen wir dazu bei, das gesamte Innovationspotenzial dieser Zukunftstechnologie für die industrielle Produktion auszuschöpfen.“ –

“**Wir wollen das gesamte Innovationspotenzial des 3D-Drucks für die industrielle Produktion ausschöpfen.**”

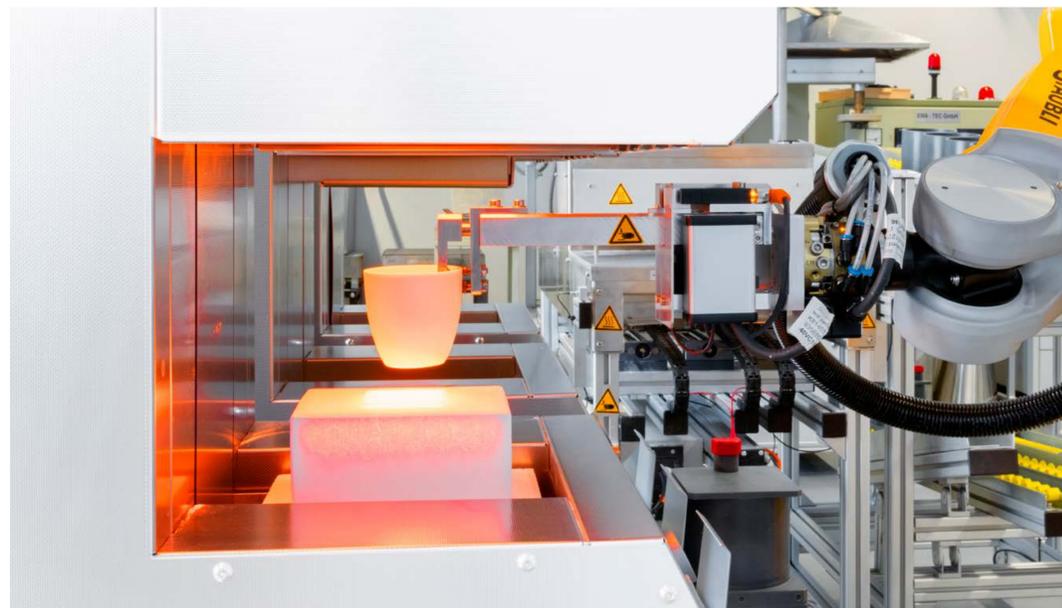


Die Spezialkamera erkennt automatisch Fehlstellen im Bauteil während des laufenden 3D-Drucks.

DIGITALER WORKFLOW FÜR GLAS

Der Werkstoff Glas zeichnet sich durch eine variable chemische Zusammensetzung, vielfältige Formbarkeit sowie ein breites Spektrum spezifischer Eigenschaften aus, die sich gezielt einstellen lassen. Diese Eigenschaften machen Glas zu einer Schlüsselkomponente für moderne Hochtechnologien. Die Glasentwicklung ist jedoch meist sehr kosten-, energie- und zeitintensiv. Das wollen Ralf Müller, Leiter des Fachbereichs Glas an der BAM, und sein Team ändern: Im Rahmen **des Verbundprojekts GlasDigital** erarbeiten sie zusammen mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena, dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg und der

Technischen Universität Clausthal neue digitale Werkzeuge zur datengetriebenen Glasentwicklung in Deutschland. Dazu wird der Prototyp einer robotischen Glasschmelzanlage mit Sensorik zur Prozessüberwachung, Machine Learning sowie lernfähigen Algorithmen zur Schmelzüberwachung ausgestattet und mit der Plattform MaterialDigital verbunden, einem digitalen Raum für Werkstoffdaten, der Forschung und Industrie offensteht. „Insgesamt wollen wir durch einen datengetriebenen Workflow die Entwicklung von Hochleistungsgläsern deutlich beschleunigen“, so Ralf Müller.



Prototyp einer robotischen Glasschmelzanlage an der BAM



Prof. Dr. Birgit Skrotzki ist neue Präsidentin der DGM.

GEWÄHLT

Prof. Dr. Birgit Skrotzki ist seit 1. Januar 2023 **neue Präsidentin der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM)**. Die DGM blickt auf eine über 100-jährige Geschichte zurück und ist mit mehr als 2200 Mitgliedern europaweit eine der größten Fachgesellschaften im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Birgit Skrotzki, die an der BAM den Fachbereich Metallische Hochtemperaturwerkstoffe leitet, teilt sich ihr Amt mit Prof. Dr. Heilmaier vom Karlsruher Institut für Technologie. **Im Zentrum ihrer Amtszeit** sollen die Themen Nachhaltigkeit und Digitalisierung sowie die Transformation zur Klimaneutralität stehen: „Die Materialwissenschaft ist ein wichtiger Schlüssel zur Lösung gesellschaftlicher Zukunftsaufgaben: um z. B. neue, verbesserte Batteriematerialien für E-Autos zu entwickeln, um mit Leichtbauwerkstoffen Windenergieanlagen langlebiger und effizienter zu machen oder um eine künftige Wasserstoffwirtschaft zu realisieren. Daneben sind mir die Nachwuchsförderung und die Stärkung von Frauen in den Materialwissenschaften besondere Anliegen“, so die neue DGM-Präsidentin.

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

ANALYTICAL SCIENCES

Werkzeugkasten Chemie



Die Spitzenchemie stellt jeden Tag neue Herausforderungen. Im Fachbereich „Instrumentelle Analytik“ entwickelt ein interdisziplinäres Team maßgeschneiderte Lösungen.

Die Anforderungen an die moderne Chemie werden immer komplexer und spezieller. In der Spitzenforschung ergeben sich fast jeden Tag neue Aufgaben. Gleichzeitig wird die Zeit kürzer, um auf diese Entwicklungen reagieren zu können. Drängende Fragen der Zeit erfordern rasche Lösungen, die möglichst reif für die Anwendung vor Ort sind.

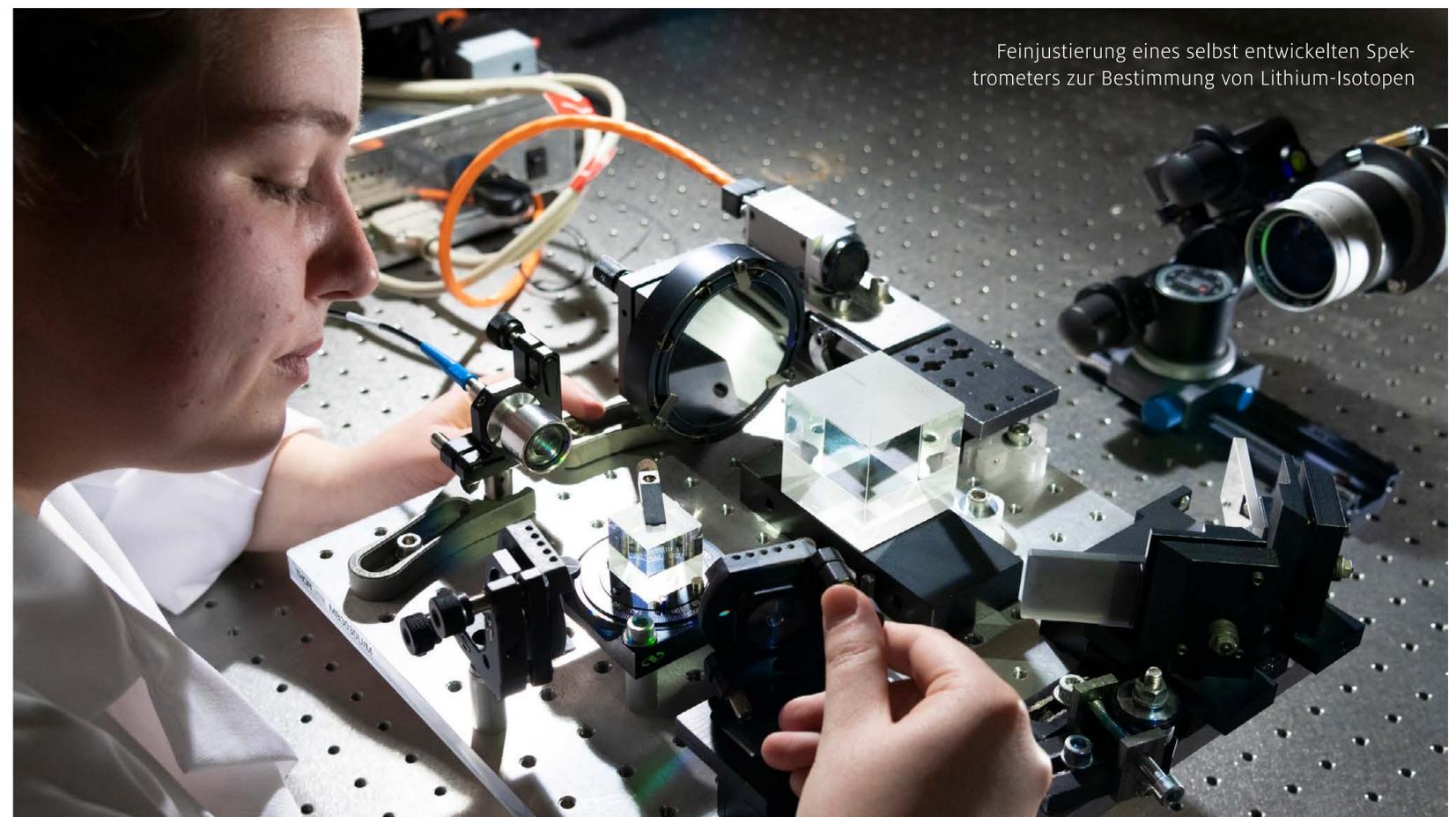
Wie etwa lässt sich feststellen, woher das Lithium stammt, das in Akkus verbaut ist – so wie es der neue EU-Batteriepass künftig vorschreibt? Wie lässt sich in der Stahlerzeugung fossiler Kohlenstoff durch grünen Wasserstoff ersetzen – ohne dass die Qualität des erzeugten Stahls leidet? Und wie bestimmt man, woher gealtertes Mikroplastik stammt, das sich in Flüssen und Seen bis zur Unkenntlichkeit verändert hat und sich unter Schichten von Biofilm verbirgt?

Ein Team mit Doppelbegabungen

„Für all diese Fragestellungen gibt es keine dafür vorbestimmten Messgeräte, die Interessierte bei einem einschlägigen Unternehmen bestellen könnten“, erklärt Jens Riedel, physikalischer Chemiker an der BAM. „Daher sind die damit verbundenen

Analysen aufwendig und es wird viel improvisiert. In der Regel muss eine geeignete Apparatur sogar erst ganz neu erdacht und zusammengebaut werden.“ Die BAM hat genau für solche Spezialfälle

unter Jens Riedels Leitung den neuen Fachbereich „Instrumentelle Analytik“ geschaffen. Er ist eine Art Innovationshub und Versuchslabor, ein kreativer Werkzeugkasten der Chemie.



Feinjustierung eines selbst entwickelten Spektrometers zur Bestimmung von Lithium-Isotopen

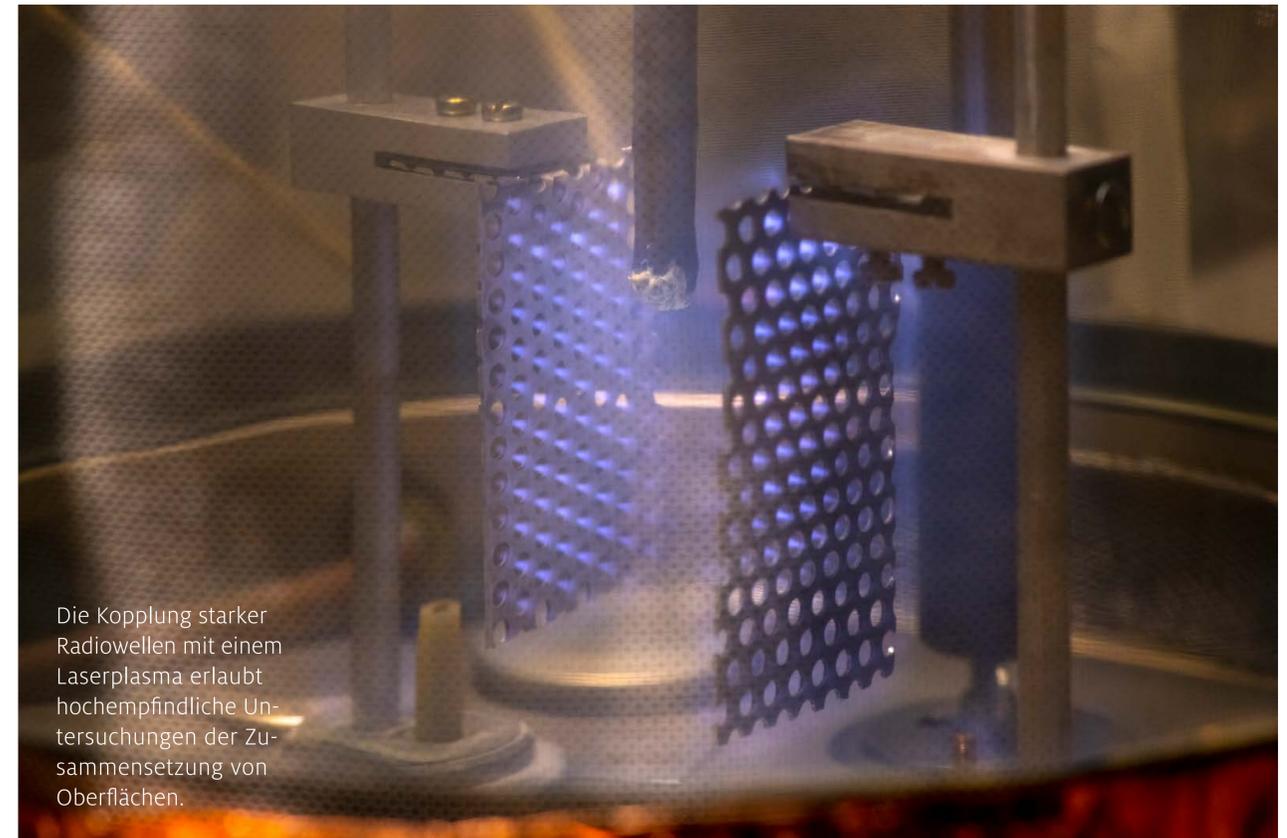
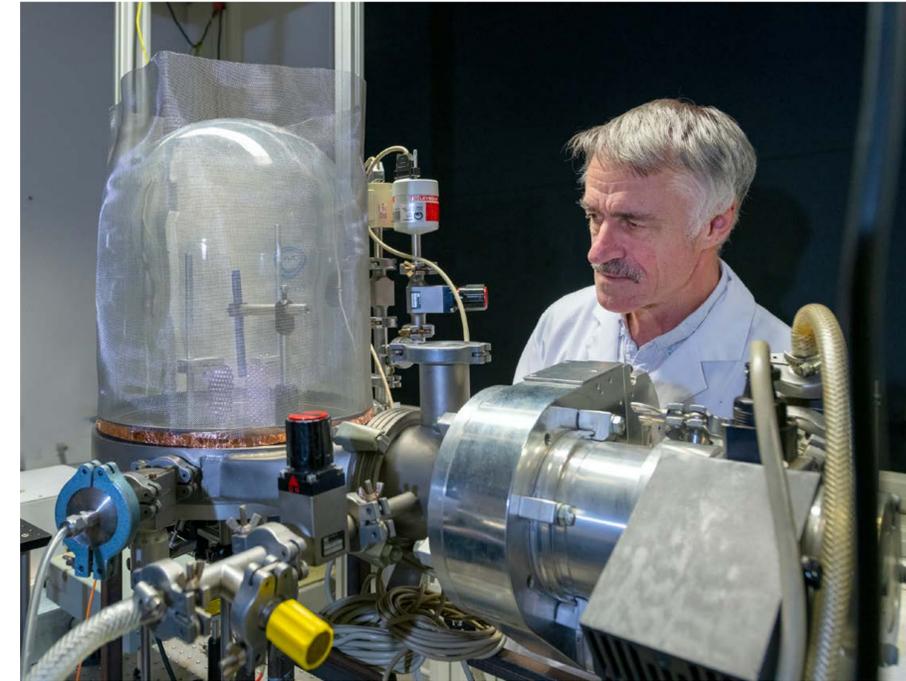
Jens Riedel hat sich dafür ein interdisziplinäres Team mit vielen „Doppelbegabungen“, wie er es nennt, zusammengestellt. So arbeitet ein Mineraloge, der auch Software programmiert, neben einer analytischen Chemikerin, die ein Talent für anorganische Synthesen mitbringt. Ein weiterer Chemiker kennt sich bestens mit Mechatronik und Feinwerktechnik aus. Gemeinsam entwickelt das Team maßgeschneiderte Lösungen für hochspezielle Anforderungen und setzt sie bis zu einem Prototypen oder Demonstrator um.

Die Wissenschaft beschleunigen

Um die Herkunft von Lithium bestimmen zu können, hat das Team ein besonders hochauflösendes optisches Spektrometer entwickelt, wie es sonst in der Astronomie eingesetzt wird. Das Instrument wurde so konzipiert, dass es gezielt die für eine Herkunftsbestimmung entscheidenden Elemente detektieren kann. Ganz ähnlich lassen sich in der Stahlindustrie Proben exakt charakterisieren und die Rezepturen dem klimaneutralen Energieträger Wasserstoff anpassen.

Und für die Bestimmung von Mikroplastik haben Riedel und seine Kolleg*innen ein neuartiges Instrument entworfen, das auf der Raman-Spektroskopie aufbaut. Mit ihm kann man die charakteristische Streuung von Licht an Molekülen messen. Dem Team ist es dabei gelungen, ein störendes Fluoreszieren, das von den die Mikroplastikpartikel umhüllenden Biofilmen ausgeht, zu unterdrücken. Die neue Methode ist nicht nur sehr kostengünstig, das Gerät ist auch so leichtgewichtig, dass es mobil

eingesetzt werden kann. Sehr viel schneller als bisherige Verfahren ist die Methode auch, sodass sehr viele Proben in kurzer Zeit analysiert werden können. „Die Beschleunigung der Wissenschaft ist ein ganz entscheidender Faktor für uns“, erklärt Jens Riedel. „Wir möchten Dinge schnell voranbringen, um bei der Lösung ganz konkreter Zukunftsfragen zu helfen.“ –



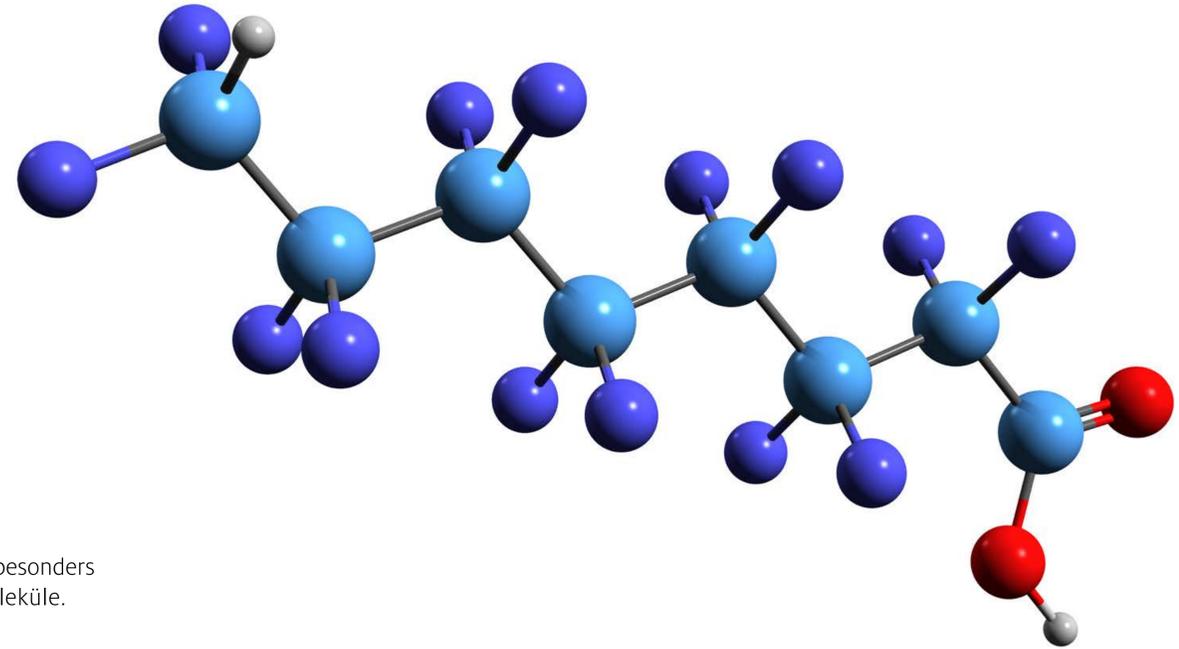
Die Kopplung starker Radiowellen mit einem Laserplasma erlaubt hochempfindliche Untersuchungen der Zusammensetzung von Oberflächen.

HOCHGENAUE ENERGIEGASE

Im Energiebereich ist höchste Genauigkeit entscheidend: um den sicheren Betrieb von Anlagen und Komponenten zu gewährleisten, aber vor allem um Verbraucher*innen Sicherheit bei Preisen und Abrechnungen zu geben. Die BAM, die seit **über 100 Jahren Referenzmaterialien herstellt** [☐](#), ist jetzt als Herstellerin von Energiegasen wie z. B. wasserstoffhaltigen Erdgasgemischen durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiert. „Unsere selbst hergestellten Referenzgase dienen als nationale Normale der Gaszusammensetzung“, erklärt Heinrich Kipphardt aus dem Themenschwerpunkt Gasanalytik der BAM. „Sie werden als Maß und Vergleichsgröße in Messverfahren oder bei Prüfungen eingesetzt.“ So lassen sich z. B. Messgeräte genau kalibrieren und überprüfen oder Stoffdaten für wissenschaftliche und technische Fragestellungen gewinnen. Hochgenaue Kalibriergase werden in Forschung und Entwicklung besonders bei der Transformation zu einer Wasserstoffwirtschaft benötigt.



Mithilfe eines Wägeroboters stellt die BAM hochgenaue Kalibriergase her.



PFAS sind besonders stabile Moleküle.

FLUORIERTE SCHADSTOFFE REDUZIEREN

Fluorierte organische Verbindungen (PFAS) kommen in zahlreichen Produkten des Alltags vor: Sie sind in rund einem Viertel aller Pharmazeutika enthalten, in Outdoorbekleidung, Verpackungen, Kosmetika, Reinigungsmitteln und Feuerlöschschäumen. Rund 4800 dieser Substanzen sind bisher bekannt. Über Abfallströme und Abwässer gelangen sie in die Umwelt – und von dort über die Nahrungskette und das Trinkwasser in den menschlichen Organismus. **PFAS sind nicht nur chemisch besonders stabil** [☐](#), viele der Verbindungen gelten auch als toxisch oder

sogar krebserregend. In mehreren Projekten forscht die BAM in Kooperation mit dem Umweltbundesamt, auf welchen Eintragswegen PFAS in die Umwelt gelangen, wie sie sich überwachen, nachweisen und am Ende entsorgen lassen. „Unser Ziel ist es, analytische Methoden zu entwickeln, auf deren Basis wir Empfehlungen ableiten können, um das Auftreten dieser Schadstoffe in der Umwelt zu verringern“, so der Chemiker Björn Meermann, der die Projekte an der BAM leitet.

DIE BAM AUF EINEN BLICK

1622 Beschäftigte

52 Nationalitäten

56 Auszubildende

153 Promovierende

20 Professuren und Juniorprofessuren

485 Referierte Publikationen

36 Patente

74 Zertifizierte Referenzmaterialien

165,8 Mio. € Grundfinanzierung

20,8 Mio. € Drittmittel

4 Standorte in Berlin/Brandenburg

MITGLIEDER DES KURATORIUMS DER BAM

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

ehemals BASF SE, Senior Vice President, Technical Expertise,
Ludwigshafen

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

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

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

Vorsitzender des Direktoriums des Leibniz-Instituts 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
Cottbus-Senftenberg

Professor Dr. rer. nat. Detlef Günther

ETH Zürich, Departement Chemie und Angewandte
Biowissenschaften, 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

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

Dr. Klaus-Jürgen Richter

Vertriebsvorstand der Saarstahl AG, Völklingen

Dr. Carla Seidel

Senior Vice President Material Physics, Analytics &
Formulation, BASF SE, Ludwigshafen

Dr. Sopna Sury

Chief Operating Officer Hydrogen, RWE Generation SE,
Essen

Professorin Dr. rer. nat. habil. Brigitte Voit (stellv. Vorsitzende)

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

Dr. Silke Wagener (stellv. Vorsitzende)

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

Impressum

Herausgeber

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

Oliver Perzborn (Leitung), Ralf Berhorst (Konzeption,
Projektmanagement, Texte), Janina Buchholz (Texte),

Karina Fast (Layout), Dora Kolar-Bosnjak und

Julia Pöpke (Fotografie)

Lektorat

Wissenschaftslektorat Zimmermann

Bildnachweis

S. 3: Michael Danner; S. 8: Carolyn Franks/Adobe Stock; S. 10: muratat/
Adobe Stock (oben), Lukas Gojda (Mitte), aerial-drone/Adobe Stock (unten);
S. 16: EnBW AG; S. 36: Sina Ettmer/AdobeStock (links), DedMityay/Adobe
Stock (rechts); S. 37: corlaffra/Adobe Stock; S. 39: SweetBunFactory/Adobe
Stock; S. 45: Michael Danner (rechts); S. 50: kseniyaomega/Adobe Stock
(rechts). Alle anderen Fotos: BAM

ISSN 2940-7532



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

www.bam.de 

BAM Newsletter 

@BAMResearch 

LinkedIn 

YouTube 