

Sicherheit in Technik und Chemie

FORSCHUNGSPROGRAMM

2025 – 2027

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

✉ info@bam.de
☎ +49 30 8104-0
🌐 www.bam.de

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



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	5
2. Auftrag der BAM	6
3. Forschung für Sicherheit in Technik und Chemie	9
3.1 Themenfeld Energie	10
Wasserstoff	10
Windenergie	11
Elektrische Energiespeicher und -umwandlung	12
Kerntechnische Entsorgung	13
3.2 Themenfeld Infrastruktur	14
Verkehrsinfrastrukturen	14
Security	15
Fire Science	15
Green Intelligent Building	16
Leichtbau	17
3.3 Themenfeld Umwelt	18
Biokorrosion	18
Umwelt-Material-Interaktionen	19
Circular Economy	19
Sensorik	20
3.4 Themenfeld Material	21
Additive Fertigung	21
Advanced Materials	22
Materialdesign	23
Degradationsmechanismen	24
3.5 Themenfeld Chemie und Prozesstechnik	26
Chemische Charakterisierung und Spurenanalytik	26
Gefährliche Stoffe	27
Anlagensicherheit und Prozesssimulation	27
4. Forschungsinfrastruktur	29
4.1 Qualität der Forschung	29
4.2 Zentrale Forschungsförderungsprogramme	29
4.3 Graduate Academy der BAM	30
4.4 Vernetzung & Internationalisierung	30
4.5 Ressourcen	31

1. EINLEITUNG

Deutschland steht vor einer Vielzahl drängender Aufgaben – die Dekarbonisierung der Wirtschaft zum Schutz des Klimas, die Instandsetzung der Infrastruktur, der Ausbau von Digitalisierung und Automatisierung, die Stärkung der Verteidigungsfähigkeit sowie die Förderung der Resilienz der Industrie in Zeiten knapper Ressourcen und zunehmender Versorgungsunsicherheiten sind nur einige Beispiele für die Herausforderungen unserer Zeit.

Die Bewältigung dieser komplexen Transformationsprozesse unterstützt die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) im Rahmen ihrer Leitlinie „Sicherheit in Technik und Chemie“. Als wirtschaftlich unabhängige Ressortforschungseinrichtung und mit über 150 Jahren Kompetenz begleitet sie dabei die Entwicklung innovativer Technologien unter sicherheitstechnischen Gesichtspunkten und schafft damit Vertrauen und Akzeptanz in ihre Anwendungen.

Interdisziplinäre Forschung und Entwicklung zur Sicherheit in Technik und Chemie in den Themenfeldern Infrastruktur, Energie, Chemie und Prozesstechnik, Material und Umwelt nimmt frühzeitig relevante technologische Entwicklungen in den Blick und trägt gleichzeitig zum schnellen Transfer von Ergebnissen und Entwicklungen in die Anwendung bei. Die BAM schafft

damit die Grundlage für nachhaltige und leistungsfähige Innovationen, stärkt die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und leistet einen entscheidenden Beitrag zur Zukunftsfähigkeit unseres Landes.

Gemäß Erlass ist die BAM zuständig für die Weiterentwicklung von Sicherheit in Technik und Chemie. Mit ihrer wissenschaftlich-technischen Problemlösung und der Weitergabe ihres Wissens fördert sie die deutsche Wirtschaft. Ihre Forschung dient der Erfüllung öffentlicher Aufgaben. Forschungsprogramme sind sowohl für Forschungseinrichtungen als auch für Fördermittelgebende ein wichtiges Instrument für die Darstellung und Steuerung ihrer Aktivitäten. Dies gilt auch für die Bundeseinrichtungen mit Forschungs- und Entwicklungsaufgaben, zu denen die BAM zählt. Darüber hinaus dienen Forschungsprogramme der Koordinierung der Ressortforschung.

In diesem Forschungsprogramm zeigt die BAM Perspektiven im Bereich ihres Aufgabenfeldes sowie ihrer damit verbundenen Forschungsaktivitäten transparent und politisch nutzbar auf. Das Forschungsprogramm der BAM wird alle zwei Jahre aktualisiert. Es gibt einen Überblick über die aktuellen und zukünftigen Forschungsthemen und die hierfür erforderlichen Rahmenbedingungen.

2. AUFTRAG DER BAM

Technologischer Wandel ist ein Garant für den Wohlstand unserer Gesellschaft. Neue Technologien sind die Basis für die erfolgreiche Weiterentwicklung des Wirtschaftsstandortes Deutschland und für eine Wertschöpfung in globalen Märkten. Die Sicherheit neuer und nachhaltiger Technologien schafft das Vertrauen der Bürgerinnen und Bürger in den Wandel und sichert unsere Zukunft. In den Spitzen- und Schlüsseltechnologien Materialwissenschaft, Werkstofftechnik und Chemie leistet die BAM einen entscheidenden Beitrag zur technischen Sicherheit von Produkten, Prozessen und der Lebens- und Arbeitswelt der Menschen. Dazu forscht, prüft und berät die BAM mit ihrer fachlichen Kompetenz und langjährigen Erfahrung an den Schnittstellen von Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Politik.

Die Kompetenzen der BAM entstehen aus interdisziplinärem Wissen und aus eigener Forschung in hoher Qualität und Kontinuität. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM erforschen gemeinsam über unterschiedliche Größenordnungen hinweg Themen aus der Chemie, der Materialwissenschaft und der Werkstofftechnik.

Mit ihrer Leitlinie „Sicherheit in Technik und Chemie“ leistet die BAM einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung der deutschen Wirtschaft. Als Bundesoberbehörde ist die BAM wirtschaftlich unabhän-

gig und fungiert als neutrale Moderatorin externer Entscheidungsprozesse. Darüber hinaus ermöglicht die BAM den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in den öffentlichen Bereich für die Politikberatung und die Erfüllung öffentlicher Aufgaben. Die Arbeit der BAM trägt dazu bei, dass die Transaktionskosten für die Umsetzung politischer Entscheidungen verringert werden.

Mit ihrem Auftrag ist die BAM zuständig für die

- Weiterentwicklung der Sicherheit in Technik und Chemie,
- Erfüllung hoheitlicher Funktionen zur technischen Sicherheit, insbesondere im Gefahrstoff- und Gefahrgutbereich,
- Beratung der Bundesregierung, der Wirtschaft sowie der nationalen und internationalen Organisationen im Bereich Technik und Chemie,
- Mitarbeit bei der Entwicklung einschlägiger gesetzlicher Regelungen, z. B. bei der Festlegung von Sicherheitsstandards und Grenzwerten,
- Entwicklung und Bereitstellung von Referenzmaterialien, Referenzverfahren und Referenzdaten insbesondere der analytischen Chemie und der Prüftechnik,
- Unterstützung der Normung und anderer technischer Regelsetzungen für die Beurteilung von Substanzen, Werkstoffen, Bauteilen, Komponenten und Anlagen sowie natürlichen und technischen Systemen im Hinblick auf Sicherheit, Gesundheit, Umweltschutz und den nachhaltigen Erhalt volkswirtschaftlicher Werte,
- Berücksichtigung von Sicherheitsbelangen in gemeinsamen Projekten mit Hochschulen, Forschungseinrichtungen und der Wirtschaft,
- Förderung des Wissens- und Technologietransfers in ihren Arbeitsgebieten.

In den nachfolgend angeführten Gesetzen und Verordnungen wurden der BAM übertragene Aufgaben geregelt¹:

- Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe und Verordnungen zum Sprengstoffgesetz
- Beschussgesetz und -verordnung



¹Rechtliche Grundlagen für die Aufgaben der BAM:

https://www.bam.de/_SharedDocs/DE/Downloads/Rechtliche-Grundlagen/bam-rechtl-grundlagen.html

- Gefahrgutbeförderungsgesetz
- Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
- Gefahrgutverordnung See
- Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
- Ortsbewegliche-Druckgeräte-Verordnung
- Strahlenschutzgesetz und -verordnung
- Chemikaliengesetz
- Gefahrstoffverordnung
- Deponieverordnung
- Gesetz über die Akkreditierungsstelle
- Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
- Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz
- Gesetz zur Beschleunigung des Einsatzes verflüssigten Erdgases

Die Erkenntnisse der BAM dienen nicht nur dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE), dem die BAM nachgeordnet ist. Die BAM erfüllt auch Aufgaben für andere Ressorts, insbesondere für das Bundesministerium für Verkehr (BMV), das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN), das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) und das Bundesministerium des Innern (BMI).

Die BAM kommuniziert sicherheitstechnische Problemlösungen und bringt diese in die Regelsetzung und Normung ein. Beratung, Information und Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien gehören daher zu ihren wesentlichen Aufgaben. Seit mehr als 150 Jahren entwickelt und validiert die BAM Analyseverfahren, Prüfverfahren und Bewertungsmethoden sowie Modelle und erforderliche Standards. Darüber hinaus erforscht, überprüft und bewertet die BAM Substanzen, Materialien, Werkstoffe, Bauteile, Komponenten und Anlagen sowie natürliche und technische Systeme auf sicheren Umgang und Betrieb.

In nationalen und internationalen Netzwerken betreibt die BAM Technologietransfer, indem eigene Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung weitergegeben werden. Gleichzeitig nutzt die BAM die Kompetenzen und wertvollen Impulse aus den Netzwerken für die aktuelle Arbeit und die zukünftige Ausrichtung der BAM. Die BAM arbeitet für eine ausgeprägte Sicherheitskultur in Deutschland und Sicherheitsstandards, die auch in Zukunft höchsten Anforderungen genügen.

Ihrem differenzierten Aufgabenspektrum kann die BAM auf hohem wissenschaftlich-technischen Niveau nur durch umfangreiche eigene Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten gerecht werden, die konsequent am gesetzlichen Auftrag der BAM und am Bedarf von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft ausgerichtet sind.

Im Rahmen der gesetzlichen und gesellschaftspolitischen Aufgaben identifiziert die BAM Anforderungen an die Sicherheit in Technik und Chemie für die Gesellschaft von morgen. Die Leistungserbringung erfolgt in vier Geschäftsfeldern, die die Produkte der BAM bündeln.



GESCHÄFTSFELD
**Forschung und
Entwicklung**

Forschung und Entwicklung

Voraussetzung für die wissenschaftliche und technische Leistungsfähigkeit der BAM ist eigene Forschung und Entwicklung in hoher Qualität und Kontinuität. Forschung und Entwicklung ist die Basis für die wissenschaftlich-technischen, hoheitlichen und öffentlichen Leistungen der BAM sowie für den Wissens- und Technologietransfer. Grundlagenforschung und angewandte Forschung fallen ebenso darunter wie die Entwicklung neuer Produkte und Prozesse.



GESCHÄFTSFELD
**Hoheitliche und
öffentliche Leistungen**

Hoheitliche und öffentliche Leistungen

Hoheitliche und öffentliche Leistungen sind durch Gesetz übertragene Aufgaben. Zulassungen und Genehmigungen gehören ebenso dazu wie die Politikberatung und die Mitarbeit in Gremien, insbesondere zur Normung, Regelsetzung und Standardisierung. Diese Leistungen erbringt die BAM zum Wohle der Allgemeinheit.



GESCHÄFTSFELD
**Wissenschaftlich-technische
Dienstleistungen**

Wissenschaftlich-technische Dienstleistungen

Wissenschaftlich-technische Dienstleistungen sind entgeltliche Leistungen, die die BAM auf der Grundlage von gesicherten Erkenntnissen und Methoden

anbietet. Dadurch leistet die BAM einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung der deutschen Wirtschaft. Neben der Durchführung von Prüfungen und Analysen sowie der Erstellung von Gutachten trägt die BAM auch zur Qualitätssicherung durch Konformitätsbewertungen und die Bereitstellung von Referenzmaterialien, -verfahren und -daten bei.



Wissens- und Technologietransfer

Durch Wissens- und Technologietransfer stellt die BAM ihre Erkenntnisse, Technologien und Verfahren interessierten Stakeholdern, der deutschen Wirtschaft und der Allgemeinheit zur Verfügung. Gemeinsam mit ihren Partnern entwickelt die BAM entsprechend ihres Produktionsmodells die Forschungsergebnisse zu innovativen Produkten, Prozessen, Dienstleistungen und passenden Transferangeboten weiter. Um wissenschaftliche Ergebnisse möglichst zügig in Wirtschaft und Gesellschaft zu überführen, hat die BAM verschiedene Transferkanäle und -produkte etabliert.

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der BAM können in einem einfachen Produktionsmodell unterschiedlichen Stufen zugeordnet werden. Das Produktionsmodell der BAM beschreibt die Verschränkung der

vier Geschäftsfelder. Es illustriert die Erzeugung, Anwendung und Weitergabe des Wissens. Konsequenterweise angewendet, gewährleistet das Produktionsmodell die Qualität der Arbeit der BAM. Die Erzeugung von neuem Wissen erfolgt im Rahmen der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und der Technologieentwicklung.

In die Themenplanung sowie in die Erstellung des Forschungsprogramms sind die wissenschaftlichen Beiräte und das Kuratorium der BAM eingebunden. In einer Zielvereinbarung mit dem BMWF wird die strategische Ausrichtung der BAM festgeschrieben, die im Forschungsprogramm und im Rahmen des Strategiezyklus der BAM konkretisiert wird. Mit Hilfe des Strategiezyklus identifiziert die BAM im Rahmen eines systematischen und kontinuierlichen Prozesses relevante Trends und Entwicklungen in der Außenwelt und berücksichtigt diese in ihren fachlichen Arbeiten innerhalb der Themen- und Aktivitätsfelder. Zur Koordinierung der ressortübergreifenden Forschungsaktivitäten sowie zur Generierung von Synergien stimmt sich die BAM in thematischen Bereichen an der Schnittstelle zu anderen Ressorts eng mit den relevanten Forschungseinrichtungen ab. Die Leitlinie „Sicherheit in Technik und Chemie“ macht die Aufgaben der BAM in der Forschung und in allen anderen Tätigkeiten für Auftraggeber und Partner wie für die Mitarbeitenden der BAM anschaulich.

3. FORSCHUNG FÜR SICHERHEIT IN TECHNIK UND CHEMIE

Die BAM integriert Forschung, Bewertung und Beratung in Technik und Chemie unter einem Dach. Im Rahmen ihrer gesetzlichen und gesellschaftspolitischen Aufgaben identifiziert die BAM Anforderungen an die Sicherheit in Technik und Chemie für die Gesellschaft von morgen. Forschung bildet die Grundlage der Expertise für die Bewertung und Beratung. Diese kann langfristig nur mit kontinuierlichen Qualitätsstandards gewährleistet werden. Der strategischen Ausrichtung dieser Vorlaufforschung wird daher ein besonders hoher Stellenwert beigemessen.

Der Fokus aller Forschung an der BAM liegt auf den fünf abteilungsübergreifenden Themenfeldern: Energie, Infrastruktur, Umwelt, Material sowie Chemie und Prozesstechnik. Diese Themenfelder stellen Bedarfssfelder mit Herausforderungen unserer Gesellschaft dar, für welche die Forschung der BAM entsprechend ihrem Auftrag von grundlegender Bedeutung ist. Die Themenfelder Material sowie Chemie und Prozesstechnik sind Schlüsseltechnologien für die Sicherheit in Technik und Chemie. Sie haben übergreifende Bedeutung für die Forschung der BAM in den genannten Bedarfssfeldern, sind aber auch Treiber für Innovationen und die Grundlage für neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in weiteren Anwendungsfeldern. Forschung und Entwicklung in Schlüsseltechnologien spielen eine wichtige Rolle für Transformationsprozesse.

Darüber hinaus ist der Auf- und Ausbau digitaler Dateninfrastrukturen und des Forschungsdatenmanagements als ein zentraler Fokus der BAM fest in den Forschungsarbeiten aller Themenfelder integriert. Im Rahmen nationaler und internationaler Initiativen arbeitet die BAM dabei mit Partnern und relevanten Stakeholdern an einheitlichen Datenstandards und Datenräumen für Forschung und Industrie.

Die Darstellung der Forschungsthemen der BAM im vorliegenden Forschungsprogramm erfolgt entlang ihrer fünf Themenfelder. Mit Hilfe ihres Strategiezyklus identifiziert die BAM im Rahmen ihres Auftrags für jedes Themenfeld wichtige thematische Schwerpunkte, die als Aktivitätsfelder bezeichnet werden. In diesen Aktivitätsfeldern strukturiert die BAM ihre Arbeit und leistet durch abteilungsübergreifende Zusammenarbeit und die Fokussierung von Expertisen und Kompetenzen auf gemeinsame Ziele einen Beitrag für ihre Stakeholder.

In thematischen Bereichen mit einer besonderen strategischen Bedeutung hat die BAM Kompetenzzentren eingerichtet, in denen sie ihre abteilungsübergreifenden Kompetenzen bündelt. Für Partner und Kunden der BAM stellen die Kompetenzzentren auf die thematischen Schwerpunkte abgestimmte Expertise, Produkte und Dienstleistungen zur Verfügung. Kompetenzzentren sind wie Aktivitätsfelder einem Themenfeld zugeordnet. Aktuelle Kompetenzzentren der BAM befassen sich mit den Themen:

- Wasserstoff: Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM
- Windenergie: Kompetenzzentrum Wind@BAM
- Advanced Materials: Kompetenzzentrum AdvancedMaterials@BAM
- Additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM): Kompetenzzentrum AM@BAM

Die Forschung an der BAM in den einzelnen Aktivitätsfeldern wird in diesem Forschungsprogramm für jedes Themenfeld kurz beschrieben. Daneben liefert die Datenbank ReSEARCH BAM² einen Überblick über ausgewählte Forschungsprojekte sowie Forschungsthemen und Aktivitäten der BAM in bestimmten Förderprogrammen.

²<https://fdb.bam.de/ForschungDB/ForschungDB/Recherche?0>



3.1 Themenfeld Energie

Eine sichere, zuverlässige und wirtschaftliche Versorgung mit Energie ist ein Schlüsselfaktor für die Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland und damit ein Garant für den Wohlstand unserer Gesellschaft. Der Ausbau erneuerbarer Energien, die Entwicklung effizienter Energiespeichertechnologien sowie die Gewährleistung der Versorgungssicherheit sind dabei besondere Herausforderungen. Durch die Forschungsaktivitäten auf den Gebieten Wasserstoff, Windenergie, elektrische Energiespeicher und -umwandlung sowie der kerntechnischen Entsorgung leistet die BAM im Themenfeld Energie an zahlreichen Stellen wichtige sicherheitstechnische Beiträge zur Energiewende.

Wasserstoff

Vertrauen schaffen in den Energieträger der Zukunft

Für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist Wasserstoff als vielfältig einsetzbarer Energieträger ein entscheidendes Schlüsselmolekül. Zur Schaffung von Vertrauen und Akzeptanz in den Energieträger Wasserstoff und seine Derivate ist für den Markthochlauf eine sicherheitstechnische Begleitung entscheidend. Die BAM hat dazu ihre Forschungsak-

tivitäten auf dem Gebiet der Wasserstoffsicherheit im Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM gebündelt. Darin forscht die BAM zu sicherheitstechnischen Fragestellungen über die gesamte Wertschöpfungskette von Wasserstoff und seinen Derivaten und unterstützt so den Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und der EU sowie im internationalen Kontext. Ihre Forschungsaktivitäten hat die BAM in vier Kompetenzfeldern zusammengefasst.

Im Kompetenzfeld Prozess- und Anlagensicherheit wird ganzheitlich der sichere Betrieb von Wasserstoffanlagen sowie die Sicherheit von Prozessen zur Herstellung, zum Transport und zur Speicherung sowie der Nutzung von Wasserstoff betrachtet. Dies umfasst neben der sicherheitstechnischen Beurteilung von gasförmigem, flüssigem und gebundenem Wasserstoff sowie von Wasserstoffgemischen auch die Untersuchung ihrer sicherheitstechnischen Eigenschaften und ihre sichere Prozessführung. Auf Grundlage experimenteller Ergebnisse werden Modelle für die Auslegung von Explosionsschutzmaßnahmen und die Beurteilung von Unfallauswirkungen entwickelt und validiert. Die Experimente und Modelle dienen z. B. der Festlegung von explosionsgefährdeten Bereichen, der Zündquellenbewertung, der Auslegung von Sicherheitsabständen oder der Risikobeurteilung. Schwerpunkte sind z. B. die Untersuchung sicherheitstechnischer Aspekte bei Elektrolyseanlagen, dem Transport und der Lagerung von Flüssigwasserstoff, die Gefährdungsbeurteilung und Auswirkungsbetrachtung bei unfallbedingter (Hochdruck-)Freisetzung von Wasserstoff oder seiner Derivate sowie die Entwicklung von Explosionsschutzmaßnahmen für Wasserstoffanwendungen.

Im Kompetenzfeld Bauteilprüfung, -sicherheit und Zulassung werden die sicherheitstechnischen Eigenschaften von Komponenten und Systemen für Wasserstofftechnologien betrachtet. Dabei spielen digitalisierte Zulassungsprozesse und die zugehörige Weiterentwicklung der Normen und Rechtsvorschriften im Rahmen der Ressortberatung eine wesentliche Rolle. Die Bauteilprüfung unter Berücksichtigung von Alterungsmechanismen hinsichtlich Bauteilintegrität und Lebensdauer ist dafür unverzichtbar. Insbesondere die Entwicklung neuer Prüfmethoden



für die Beurteilung der Bauteilsicherheit, die Vorhersage der Lebensdauer und das Unfallverhalten von Wasserstoffspeichern sowie die zerstörungsfreie Prüfung sind dabei ein Fokus. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung digitaler Werkzeuge zur Betriebsüberwachung und der Verwaltung der zugehörigen Daten am Beispiel einer Wasserstoff-tankstelle. Als Versuchsplattform und Reallabor dient sie der Entwicklung effizienter und zuverlässiger digitaler Lösungen für die Qualitätssicherung und Sicherheit einer Wasserstoffinfrastruktur.

Im Kompetenzfeld Sensortechnik, Analytik, und zertifizierte Referenzmaterialien werden Fragen zur Gasanalyse, zu Gaseigenschaften und zur Gasreinheit beantwortet. Ziel ist es, Wasserstoffgase bezüglich ihrer Qualität zu bewerten, Verunreinigungen zu erkennen und zu quantifizieren sowie Leckagen zu detektieren. Die BAM entwickelt hierzu u. a. Prüfverfahren zur Ermittlung der Eignung von Sensoren unter realitätsnahen Bedingungen und stellt zertifizierte Referenzmaterialien für die sensorische und analytische Messtechnik her. Durch die Erweiterung der Kompetenz zur Qualitätsbeurteilung von Reinstwasserstoff und der Herstellung hochgenauer Gasgemische leistet die BAM einen Beitrag zu weltweit anerkannten und harmonisierten Methoden, die eine Exportgrundlage für lokale Technologieanbieter darstellen.

Im Kompetenzfeld Materialeigenschaften und Kompatibilität steht die Charakterisierung und Modellierung der wasserstoffabhängigen Eigenschaften von metallischen Werkstoffen, Kunststoffen, Verbundwerkstoffen und Schmierstoffen über die gesamte Nutzungsdauer im Fokus. Die BAM beschäftigt sich u. a. mit der Untersuchung der Mechanismen wasserstoffinduzierter Schädigung metallischer Werkstoffe sowie geschweißter Bauteile und leitet daraus Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes der jeweiligen Komponenten ab. Zudem werden Werkstoffveränderungen unter normalen bis extremen Bedingungen untersucht und geeignete Prüfmethoden entwickelt. In einem weiteren Schwerpunkt untersucht die BAM die Eignung von Polymeren und Verbundwerkstoffen als Bestandteil sicherer Wasserstofftechnologien, z. B. in Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit von Polymerwerkstoffen und Polymer-Matrix-Kompositen. Darüber hinaus arbeitet die BAM an der Charakterisierung von Werk- und Schmierstoffen für Reibsysteme in Wasserstoffumgebungen.

Windenergie

Für sichere und effiziente Windenergieanlagen forschen

Neben Wasserstoff ist die Windenergie ein entscheidender Baustein bei der Bewältigung der Energiewende. Die stetig steigenden Dimensionen von Windenergieanlagen sowie die teils extremen Bedingungen während ihres Betriebs stellen hohe Anforderungen an die sicherheitstechnischen Eigenschaften der verwendeten Materialien und Konstruktionen. Im Fokus des Themas Windenergie an der BAM stehen deshalb die technische Sicherheit und Lebensdaueranalysen von Windenergieanlagen. Die BAM hat ihre Arbeiten auf dem Gebiet Windenergie in dem Kompetenzzentrum Wind@BAM gebündelt. Die Schwerpunkte der Arbeiten bilden dabei insbesondere die mechanisch beanspruchten Bauteile wie Rotorblätter, Tragstrukturen und Gründungen und deren Untersuchung in Hinblick auf Festigkeit, Ermüdung und Dauerhaftigkeit. Parallel entwickelt die BAM innovative Anwendungen zum Anlagenmonitoring und forscht auf dem Gebiet alternativer Baumaterialien und Fertigungsverfahren sowie dem Recycling von Bauteilen.

Windenergieanlagen sind offshore und an Land extremen Belastungen ausgesetzt. Die Forschungsarbeiten der BAM auf dem Gebiet der Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) umfassen die Optimierung im Design und der Bemessung von Tragstrukturen und Gründungskonstruktionen, die Entwicklung und Optimierung von Überwachungs- und Bewertungsmethoden sowie von Entscheidungstools für den Betrieb und die Ertüchtigung bestehender Strukturen, verbunden mit der Validierung bestehender Vorschriften und der Ableitung von Handlungsempfehlungen. Parallel werden zugehörige numerische Simulationstools weiterentwickelt.

Korrosion und Korrosionsschutz sind ein weiterer Forschungsschwerpunkt der BAM auf dem Gebiet der OWEA. So untersucht die BAM das Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen unter maritimen Bedingungen und erforscht den Einfluss von Korrosion im Sediment und von maritimen Bewuchs. Darüber hinaus entwickelt und bewertet die BAM innovative Korrosionsschutzmaßnahmen, wie beispielsweise organische Beschichtungen oder kathodischen Korrosionsschutz.

Die extremen Belastungen, denen ein Rotorblatt ausgesetzt ist, können zum Versagen einer Windenergieanlage führen. Um einen möglichst langen und sicheren Betrieb einer Anlage zu gewährleisten, entwickelt die BAM Verfahren und Systeme zur Inspektion von Rotorblättern mittels passiver und aktiver Thermografie. Im laufenden Betrieb können so Windenergieanlagen auf Schäden überprüft werden. Geforscht wird dabei an der Optimierung von Messtechniken für den Feldeinsatz, der Prognose von optimalen Messzeitpunkten sowie dem Einsatz von Drohnen und Robotersystemen und der KI-unterstützten Auswertung von Messungen. So gewonnene Daten werden als Referenzdatensätze der Industrie und für die Forschung zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus untersucht die BAM mittels skalenübergreifender Analyse die Beanspruchung von Rotorblättern und entwickelt Monitoring-Verfahren auf der Basis zerstörungsfreier Prüfung zur Untersuchung von Ermüdungs- und Schädigungsmechanismen. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Untersuchungen zur Reparatur und dem Recycling von Rotorblättern.

Beim Bau von Windenergieanlagen werden große Mengen an Stahl verschweißt. Gegenwärtig aber stellen insbesondere die komplexen Schweißnähte der Tragstrukturen eine Herausforderung für die automatisierte Fertigung dar. Die BAM entwickelt dazu Fertigungskonzepte und automatisierte Verfahren für das rissichere Schweißen hochfester Stähle und forscht zur Reparatur hochfester Schweißungen sowie der Lebensdauererhöhung und Ertüchtigung von Schweißnähten.

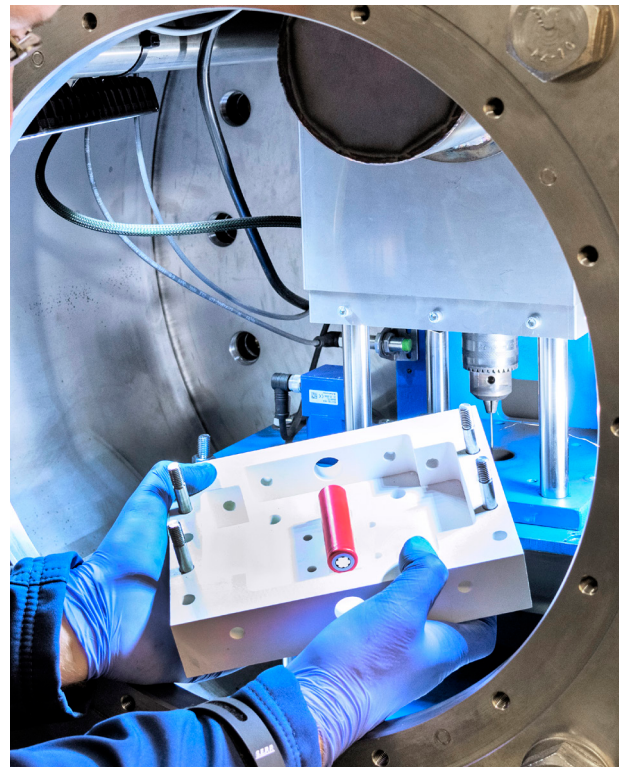
Mit Hilfe digitaler Tools arbeitet die BAM außerdem an der digitalen Abbildung des Lebenszyklus von Windenergieanlagen – vom Design, der Fertigung und dem Betrieb bis hin zur Bewertung der Lebensdauer. Der Fokus liegt dabei auf der Integration von im Herstellungsprozess und dem Betrieb gewonnenen Daten, beispielsweise zur Entwicklung von Prognosemodellen zur Betriebslebensdauer von Windenergieanlagen mittels KI-gestützter Modelle und digitaler Zwillinge sowie der digitalen Inspektionsplanung. Außerdem arbeitet die BAM an der Digitalisierung der Fertigungskette und der Rückführung von in der Fertigung gewonnener Daten auf Bauteileigenschaften sowie deren Verwendung zur Entwicklung zielgerichteter Structural Health Monitoring-Konzepte.

Elektrische Energiespeicher und -umwandlung

Sicherheit und Nachhaltigkeit innovativer E-Technologien voranbringen

Elektrische Energiespeicher und -umwandlung (EES), wie Batterien und Brennstoffzellen, sind ein zentraler Baustein der Energiewende und nehmen in vielen Bereichen der Transformation, beispielsweise dem Ausbau von stationären Speicherkapazitäten und der E-Mobilität, eine Schlüsselstellung ein. Im Hinblick auf die schwankende globale Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe geraten Technologien und Anwendungen, die in einer lokalen Wertschöpfungskette produzierbar sind, wie Natrium-Ionen-Batterien, Nickel-freie Lithium-Ionen-Batterien oder alkalische Brennstoffzellen, in den Fokus. Gleichzeitig gewinnen Themen wie Recycling und Reuse an Bedeutung. Die BAM beteiligt sich hier durch gezielte Forschung, u. a. im Rahmen des Berlin Battery Lab, an der Beschleunigung der Technologieentwicklung bis zur Marktreife und berücksichtigt Sicherheitsaspekte frühzeitig.

Das Aktivitätsfeld EES beschäftigt sich mit Fragen der Aktivmaterialforschung, der Rückführbarkeit von Materialien und Bauteilen sowie mit der Bewertung des Sicherheitszustandes (State of Safety). In der Aktivmaterialforschung unterstützt die BAM die Ent-



wicklung nahezu marktreifer Technologie auf der Basis ressourcenschonender Materialien und bedenkt hier bereits Sicherheits- und Recyclingaspekte. Das Spannungsfeld zwischen Funktionalität, Sicherheit und Nachhaltigkeit von neuen Batteriearchitekturen wird maßgeblich durch die chemische Zusammensetzung widerspiegelt. Ein Hauptaugenmerk liegt daher auf der analytisch-chemischen Aufklärung der zeitlichen sowie räumlichen Veränderung der stofflichen Verteilung. Solche Untersuchungen finden sowohl im Betrieb von Batterien als auch im Wertstoffkreislauf von Recyclingprozessen statt. Im Fokus stehen neben Lithium-Ionen-Batterien auch neue Technologiegenerationen wie Natrium-Ionen-Batterien sowie Feststoff- und Redox-Flow-Batterien. Gezielte Alterung und Schädigung sowie Simulationen erlauben eine Vorhersage der Restlebensdauer und Sicherheit und ermöglichen damit eine verlängerte Verwendung sowie die Wiedernutzung in einem second life. Brandtests im Realmaßstab dienen der Validierung von Löschenzenarien und Mitigationsstrategien auf Anwendungsebene.

Kerntechnische Entsorgung

Radioaktive Stoffe sicher transportieren und lagern

Der Transport und die Zwischen- bzw. Endlagerung von radioaktiven Stoffen bleibt auch nach dem Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung ein langfristig wichtiges Thema in Deutschland. Ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland wird voraussichtlich erst in einigen Jahrzehnten zur Verfügung stehen und auch die Inbetriebnahme des Endlagers Konrad für schwach- und mittelradioaktive Abfälle verzögert sich weiter. Gleichwohl müssen die sichere Lagerung radioaktiver Abfälle in Zwischenlagern sowie der anschließende sichere Transport bis dahin weiterhin sichergestellt werden. Kernaufgaben der BAM sind vor diesem Hintergrund Bauartprüfungen und sicherheitstechnische Gutachten zur Sicherheitsbewertung von Behältern zum Transport, für die langfristige Zwischenlagerung und die Endlagerung radioaktiver Stoffe sowie die zugehörigen qualitätssichernden Maßnahmen und Regelwerksentwicklung.

Einen wichtigen Aspekt der Forschung stellt die beständige Weiterentwicklung des Zusammenspiels von experimentellen Untersuchungen und rechnerischer Simulation zum Nachweis der Betriebs-, Unfall- und Langzeitsicherheit von Lagerbehältern und ihren Bauteilen dar. Hierfür werden Modelle zur

Simulation mechanischer und thermischer Unfallzenarien sowie des Langzeitverhaltens entwickelt.

Im Hinblick auf die zukünftige Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen forscht die BAM zu den konkreten Anforderungen an die zukünftigen Endlagerbehälter und den zugehörigen Eignungsnachweisen für unterschiedliche Wirtsgesteine (Steinsalz, Tonstein, Kristallingestein). Dazu zählen auch Untersuchungen zu den Mechanismen der Schädigung von Lagerbehältern durch Mikroorganismen mit dem Ziel den Einfluss mikrobiell induzierter Korrosion zuverlässig einschätzen zu können und präventive Maßnahmen zu entwickeln.

Im Bereich der verlängerten Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente forscht die BAM zum Langzeitverhalten von Metalledichtungen als primäre Sicherheitskomponente zum sicheren Einschluss der radioaktiven Stoffe in Transport- und Lagerbehältern, zum Langzeitverhalten von Polymer-Komponenten zur Erfassung und (analytischen und/oder numerischen) Beschreibung des Degradationsverhaltens u. a. hinsichtlich Elastizität, Struktur- und Eigenschaftsbeständigkeit (Prognosemodelle) sowie zum Alterungs- und Versagensverhalten von Brennstabhüllrohrmaterialien.

Die BAM entwickelt innovative, überwiegend zerstörungsfreie Mess- und Überwachungsmethoden für massive Betonbauwerke mittels Ultraschallsensorik, um u. a. Fragestellungen zur Strukturstabilität und Unterstützung der Freimessung beim Rückbau von Kernkraftwerken zu beantworten. Für die Unterstützung der notwendigen Laufzeitverlängerung von Zwischenlagern entwickelt die BAM innovative Sensorik für die Überwachung der Bausubstanz und testet diese in einem Demonstrationsbauwerk. Ein ursprünglich für das Brückenmonitoring entwickeltes Ultraschallsystem wird auf die Überwachung von Versuchsbauwerken zum Verschluss von Endlagern adaptiert und im Endlager Morsleben eingesetzt. Methoden der zerstörungsfreien Prüfung (Ultraschall, Thermografie) werden zudem auf die Überwachung von einbetonierten schwach- und mittel-radioaktiven Abfällen angewendet.



3.2 Themenfeld Infrastruktur

Eine moderne, zuverlässige, jederzeit verfügbare und technisch sichere Infrastruktur von Bauwerken, Verkehrswegen, Industrieanlagen und Versorgungssystemen ist ein zentraler wirtschaftlicher Standortfaktor für Deutschland. Der technologische Wandel, sich verändernde Mobilität, neue Bedrohungslagen sowie Investitionsrückstände stellen Infrastruktursysteme jedoch vor immense Herausforderungen. Im Themenfeld Infrastruktur arbeitet die BAM an der Entwicklung innovativer technisch-wissenschaftlicher Verfahren zur Gewährleistung von sicheren, leistungsfähigen und resilienten technischen Infrastrukturen. Im Fokus der Arbeiten stehen dabei die thematischen Schwerpunkte Verkehrsinfrastrukturen, Security, Fire Science, Green Intelligent Building und Leichtbau.

Verkehrsinfrastrukturen

Innovative Lösungen für moderne und resiliente Verkehrsinfrastrukturen schaffen

Vor dem Hintergrund alternder Bauwerke, steigender Verkehrszahlen sowie sich verändernder Umwelteinflüsse infolge des Klimawandels gewinnen der Betrieb und die Erhaltung von Infrastrukturbawerken zunehmend an Komplexität. Daher werden an der BAM im

Aktivitätsfeld Verkehrsinfrastrukturen interdisziplinäre Lösungen für eine moderne, nachhaltige und sichere Verkehrsinfrastruktur auf Straße und Schiene erforscht sowie innovative Systeme zum Prüfen, Überwachen und Management von Verkehrsbauwerken entwickelt.

Die Untersuchung von Schädigungs- und Alterungsprozessen von Ingenieurbauwerken sowie konstruktiver Maßnahmen zur Verlängerung der Restnutzungsdauer und der Entwicklung geeigneter technischer Lösungen ist daher ein Schwerpunkt der Arbeiten der BAM. Der Fokus liegt dabei u. a. auf der Spannungsrissskorrosion bei Bauwerken aus Spannbeton und der Entwicklung von Modellen zur Ermüdungsbewertung auf Basis von experimentellen Schädigungsuntersuchungen.

Im Bereich der Brückensicherheit werden darüber hinaus Monitoring-gestützte Methoden für die Prognose der Restnutzungsdauer von Spannbeton- und Stahlbrücken sowie Konzepte für das Erhaltungsmanagement entwickelt. Digitale Tools zur Erfassung, Speicherung, Integration und Auswertung von Mess- und Sensordaten zur Zustandsbewertung stehen dabei ebenso im Fokus wie die Entwicklung, Bewertung und Anwendung von Methoden der zerstörungsfreien Prüfung, beispielsweise dem Schallemissionsverfahren. Zusammen mit Stakeholdern arbeitet die BAM u. a. an einem methodischen Framework zur systematischen und ganzheitlichen Sicherheitsbewertung von Brücken und anderen Bauwerken sowie an dessen Implementierung mittels praxistauglicher IT-Lösungen und Validierungen an Referenzbauwerken. Die Entwicklung Digitaler Zwillinge für Brückenstrukturen sowie von Demonstratoren im Labor- und Realmaßstab sind weitere Forschungsthemen in diesem Zusammenhang.

Im Bereich der Baustoffe forscht die BAM insbesondere an der Alterung und Wiederverwendung von Asphalt. Hier steht das Verständnis der Alterungsmechanismen von Bitumen, einem wesentlichen Bestandteil von Asphalten, sowie eine Erhöhung der Wiederverwendungszyklen von bitumenhaltigem Asphalt im Vordergrund. Die Fugenoptimierung in Betonverkehrsflächen für erhöhte Sicherheits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften sowie die Entwicklung alternativer Bindemittel für einen nachhaltigen Asphaltstraßenbau sind weitere aktuelle Forschungsthemen in diesem Bereich.



Security

Praxisnahe Security-Lösungen entwickeln

Bedrohungen durch verschiedene Akteure aus dem In- und Ausland sowie aktuelle globale Krisen und sich verändernde geopolitische Verhältnisse stellen den Schutz und die Sicherheit der Bevölkerung vor immer neuere und komplexere Herausforderungen. Im Aktivitätsfeld Security beschäftigt sich die BAM daher mit verschiedenen Szenarien zur zivilen Sicherheit und Verteidigung, in denen Technik und Chemie mit Schädigungsabsicht gegen Mensch, Natur und (kritische) Infrastruktur eingesetzt werden sowie mit der Entwicklung geeigneter Schutzmaßnahmen bzw. der Überprüfung ihrer Wirksamkeit. Zusätzlich wird an der BAM an der Entwicklung neuer Methoden zur Detektion und Identifikation von chemischen Gefahrstoffen sowie Explosivstoffen geforscht.

Die Forschungsaktivitäten der BAM im Aktivitätsfeld Security erfolgen mit dem Fokus auf die Perspektive der Endanwender und sind daher primär an den Bedarfen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, wie etwa polizeilichen Ermittlungsbehörden, Feuerwehren, Technischem Hilfswerk und Rettungsdiensten, der Bundeswehr sowie weiterer Stakeholder der kritischen Infrastruktur ausgerichtet, um innovative und einsatznahe Lösungen zu entwickeln. Die BAM erarbeitet anwendungsbezogene Kriterien für Schutzmaßnahmen zur Gewährleistung bzw. Erhöhung der Sicherheit bei Bedrohungslagen und ist Partnerin bei der Entwicklung und Systemintegration von Zukunftstechnologien zur Gefahrenabwehr und -erkennung.

Ein wichtiger Forschungsbereich ist dabei die Auswirkungsbetrachtung von Explosionsereignissen auf den menschlichen Körper sowie die Bewertung des dynamischen Verhaltens von Bauteilen und Strukturen unter Explosionsbeanspruchung. Anhand der Ergebnisse werden gemeinsam mit Sicherheitsbehörden die Auswirkungen bewertet, Schutzkonzepte entwickelt oder diese an neue Anforderungen angepasst.

Analytik, Detektion, Messung und Identifikation potenziell gefährlicher Stoffe und Substanzen bilden den zweiten fachlichen Schwerpunkt im Aktivitätsfeld Security. Die BAM entwickelt in diesem Zusammenhang innovative Methoden und Technologien, um den Einsatzkräften vor Ort eine sichere und effektive Gefahrenbewertung zu ermöglichen. Ziel ist es, die Entscheidungsfindung in kritischen Situationen zu

unterstützen und die Handhabung komplexer Lagen zu verbessern. Neben der szenarienbasierten Anwendung ferngesteuerter und autonomer Trägerplattformen, wie beispielsweise Drohnen, werden leistungsfähige Lösungen zur Sensorik und Vor-Ort-Analytik für den Einsatz im Feld erforscht und entwickelt.

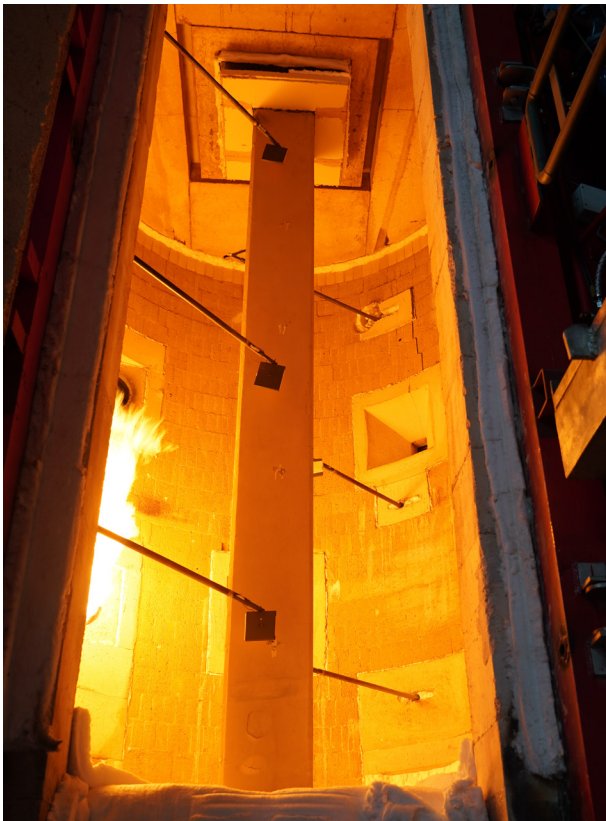
Fire Science

Lösungen zur Prävention und Eindämmung von Bränden entwickeln

Das Verständnis über die Entstehung, die Ausbreitung und die direkten Folgen eines Brandes ist grundlegend für die Ergreifung zielführender Brandschutzmaßnahmen in Gebäuden, in Industrie- und Verkehrsanlagen und im Freien. Im Aktivitätsfeld Fire Science bündelt die BAM daher ihre zahlreichen Forschungsaktivitäten zu diesem Thema. Im Fokus stehen die Brandprävention sowie die frühzeitige Detektion und schnelle Eindämmung von Bränden – vom Labor- bis zum Realmaßstab.

Im Bereich der Gebäudebrände stehen an der BAM die Untersuchungen von Baukonstruktionen und -materialien unter Brandbeanspruchungen sowie die Wirkungsweise und Verwendung von Brandschutzsystemen im Fokus. Mit Hilfe von Brandversuchen im Groß- und Realmaßstab wird der Feuerwiderstand von Bauteilen und den daraus errichteten Bauwerken sowie das Brandverhalten von Baustoffen untersucht und so ein Verständnis über das komplexe Zusammenwirken einzelner Baustoffe und Komponenten gewonnen. Beispiele sind Untersuchungen zu Schädigungsmechanismen von Betonoberflächen unter Brandbeanspruchung sowie Arbeiten zur Auswirkung des thermischen Zwangs von Stahlbetonbauteilen.

Die zunehmende Verwendung neuer innovativer Materialien und Konstruktionen beim Bau von Gebäuden und Fahrzeugen stellt auch die Prävention und Bekämpfung von Bränden vor neue Herausforderungen. Beispiele sind die Nutzung von Holzwerkstoffen und Biokompositen bzw. die additive Fertigung von Bauteilen und der Leichtbau. Damit auch solche Materialien und Konstruktionen vollumfänglich den brandschutztechnischen Vorgaben gerecht werden und sicher eingesetzt werden können, forscht die BAM auf diesem Gebiet zum Brandverhalten sowie an geeigneten Technologien für den Flammenschutz. Dabei wird auch die Verwendung nachhaltig gewonnener Stoffe in FlammSchutzausrüstungen betrachtet.



Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt sind Forschungsaktivitäten zu Bränden von Industrieanlagen und kritischer Infrastruktur. Mit Hilfe experimenteller Untersuchungen und numerischer Modellierungen werden dabei insbesondere die Sicherheit tiefkalter Energieträger in Wechselwirkung mit Infrastrukturanlagen zur Speicherung und zum Transport erforscht. Weitere Arbeiten an der BAM befassen sich mit der Brandschutzsicherheit industrieller Lagerhallen sowie der Selbstentzündung brennbarer Stoffe bei Lagerung und Transport.

Die Wahrscheinlichkeit von Vegetationsbränden hat durch den Klimawandel und die damit verbundene Zunahme von langen Hitze- und Trockenperioden in Deutschland stark zugenommen. Ein weiterer Fokus im Aktivitätsfeld Fire Science der BAM sind daher Arbeiten zur Entstehung, Ausbreitung und Erkennung von Bränden im Freien. So werden beispielsweise mittels Simulationen und Machine Learning-Methoden Vorhersagemodelle zur Ausbreitung von Wald- und Bodenbränden entwickelt, mit Hilfe von Großbrandversuchen Empfehlungen für die Nutzung geeigneter Brandbekämpfungsmittel für Brände im Freien erarbeitet und die Verwendung von Drohnen zur Detektion und Bekämpfung von Vegetationsbränden getestet.

Green Intelligent Building

Ressourcen- und klimaschonendes Bauen mit intelligenten Prozessen ermöglichen

Als einer der größten Produzenten von Treibhausgasen und als wesentlicher Verbraucher von Rohstoffen kommt dem Bausektor bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen sowie der Ressourceneffizienz eine besondere Bedeutung zu. Im Aktivitätsfeld Green Intelligent Building leistet die BAM einen Beitrag zur Entwicklung neuer Materialien, Produkte und Technologien im Bausektor und unterstützt damit die grüne und digitale Transformation der Bauindustrie. Besondere Forschungsschwerpunkte sind der Einsatz klimaschonender Materialien und Verarbeitungsprozesse, die nachhaltige Nutzung von Ressourcen sowie Beständigkeit und eine effiziente Kreislaufwirtschaft im Baubereich.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Erforschung und Entwicklung klimaschonender Bindemittel für die Zementproduktion. Solche alternativen Bindemittel bieten die Möglichkeit, die Emissionen klimaschädlicher Treibhausgase bei der Zementproduktion signifikant zu reduzieren. Calcinierte Tone sind beispielsweise aussichtsreiche Ersatzstoffe für Zementklinker, einem Hauptbestandteil von Zement und Hauptverursacher seiner negativen Klimabilanz. Die BAM beschäftigt sich daher mit den Herstellungsprozessen calcinierter Tone sowie der mineralogischen Charakterisierung in Deutschland vorkommenden Ausgangsstoffe. Weitere Forschungsaktivitäten in diesem Bereich betreffen alkaliaktivierte Bindemittel sowie den Einsatz landwirtschaftlicher Reststoffe als Zementersatzstoffe. So wird an der BAM u. a. daran geforscht, ungenutzte Reststoffe der Agrarindustrie als puzzolanische Bindemittel für die Zementproduktion zu verwerten. Der Einsatz von Lehm als Alternative zu Beton wird ebenfalls in diesem Aktivitätsfeld untersucht.

In Hinblick auf die Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Betonen auf der Basis alternativer Zemente stehen Untersuchungen zu Degradationsmechanismen dieser Baustoffe sowie die Entwicklung geeigneter Prüfverfahren im Fokus. Hier werden insbesondere Fragen zum Frost-Tau-Wechsel-Widerstand und zu Carbonatisierungsmechanismen sowie dem Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl in alternativem Beton untersucht und der Einsatz von zerstörungsfreien Prüfmethoden zur Materialcharakterisierung erforscht.

Im Bereich der Ressourcenschonung und Wiederverwertung stehen die bautechnischen Eigenschaften sowie die Umweltverträglichkeit, Einsatzsicherheit und Dauerhaftigkeit von Rezyklaten der mechanisch-physikalischen Reststoffaufbereitung und industrieller Nebenprodukte der Baustoffverarbeitung und -produktion in Zentrum der Arbeiten. Gegenstand der Forschung sind die Wiederverwendung von Gipsabfällen, Bau- und Abbruchabfällen, Schlacken, Aschen und Lehm als Bauprodukte oder Betonadditive. Aktuelle Vorhaben adressieren darüber hinaus die Entwicklung und Optimierung von Verfahren zum Recycling mineralischer Reststoffe als Ausgangsmaterial für die Erzeugung neuer Baustoffe. Hier kommen insbesondere KI-basierte Anwendungen und zerstörungsfreie Prüfmethoden zum Einsatz.

Die Entwicklung innovativer Technologien und Bauteile zur Verbesserung der Ressourceneffizienz sowie zur Minimierung der Umweltauswirkungen des Bausektors ist eine ebenfalls an der BAM verfolgte Strategie. Neue Möglichkeiten des Designs, verbunden mit Materialeinsparungen und der Integration neuer Funktionalitäten sind dabei wichtige Aspekte. Ein Schwerpunkt ist daher die Entwicklung intelligenter Prozesse zur Steuerung und Optimierung additiver Fertigungsverfahren (3D-Druck) im Betonbau, die Erforschung klimaschonender Druckmaterialien sowie die Qualitätssicherung additiv gefertigter Betonbauteile. Im Hinblick auf die Funktionalisierung von Bauteilen befassen sich die Forschungsaktivitäten der BAM mit der Entwicklung biobasierter Karbonisate für Fassaden und Funktionsbeton sowie begrünter Fassadenbaustoffe und -systeme zur Feuchtespeicherung und Schadstoffbindung. Darüber hinaus befassen sich die Arbeiten auch mit der Entwicklung neuer, hochwiderstandsfähiger Instandsetzungssysteme durch die Aufklärung mikrobieller Korrosionsmechanismen.

Leichtbau

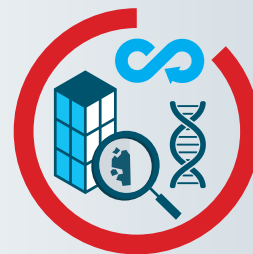
Maximale Sicherheit bei minimalem Gewicht erreichen

Für eine erfolgreiche grüne Transformation ist eine Reduktion des Energie- und Materialverbrauchs in nahezu allen Industriebereichen eine grundlegende Voraussetzung. Technologien, die zu einer Gewichtsreduktion von Bauteilen und Komponenten und damit zur Energie- und Ressourceneffizienz beitragen, werden daher zukünftig in vielen Industriebranchen eine

Schlüsselrolle einnehmen. Solche auf gewichtssparenden Konstruktionsprinzipien basierende Bauweisen werden als Leichtbau bezeichnet. Die Verwendung leichterer Materialien, die effizientere Ausnutzung vorhandener Werkstoffe wie auch der Einsatz innovativer Technologien bieten hierfür die Grundlage.

Die BAM forscht im Bereich Leichtbau u. a. zu Polymerwerkstoffen und Kompositbauteilen für Windenergieanlagen und Wasserstoffspeicher, zu Leichtbetonen aus rezyklierten Abbruchmaterialien, Fügetechniken für hochfeste Stähle und neue Metallverbünde sowie zur additiven Fertigung mit gesteigerter Materialeffizienz.

Die Forschungsaktivitäten der BAM im Bereich Leichtbau gliedern sich in die Bereiche Material, Bauteilstruktur und Qualitätssicherung. Im Fokus des Bereichs Material stehen Leichtbaumaterialien mit hoher spezifischer Festigkeit sowie deren Verarbeitbarkeit und Formbarkeit – insbesondere im Kontext additiver und adaptiver Strukturen. Weitere Schwerpunkte bilden moderne Fügetechniken sowie die Untersuchung von Ermüdung, Degradation und Bruchmechanik. Im Bereich Bauteilstruktur wird eine betriebszeitfeste Auslegung von Leichtbaumaterialien angestrebt, die durch eine geometrisch optimierte Gestaltung bei gleichzeitig minimalem Materialeinsatz erreicht werden soll. Der Bereich Qualitätssicherung adressiert sowohl zerstörungsfreie Prüfverfahren, die bereits während der Fertigung von Leichtbauteilen zum Einsatz kommen, als auch die kontinuierliche Überwachung der Strukturintegrität im Betrieb (Structural Health Monitoring).



3.3 Themenfeld Umwelt

Materialien, Bauteile, Anlagen und Produkte stehen über ihren gesamten Lebenszyklus in Wechselwirkung mit der Umwelt. Dabei sind sie Umwelteinflüssen ausgesetzt und beeinflussen die Umwelt durch Emissionen. Bei ihrer Herstellung und Entsorgung sind Ressourcen- und Umweltaspekte relevant. Im Themenfeld Umwelt forscht die BAM an sicheren und umweltverträglichen Materialien, dem Schutz (kritischer) Infrastruktur vor Umwelteinflüssen sowie an sicheren und nachhaltigen Materialströmen und Recyclingverfahren. Schwerpunkte der Arbeiten bilden Untersuchungen zur Biokorrosion, zu Umwelt-Material-Interaktionen, zur Circular Economy sowie zur Sensorik.

Biokorrosion

Infrastrukturen wirkungsvoll schützen

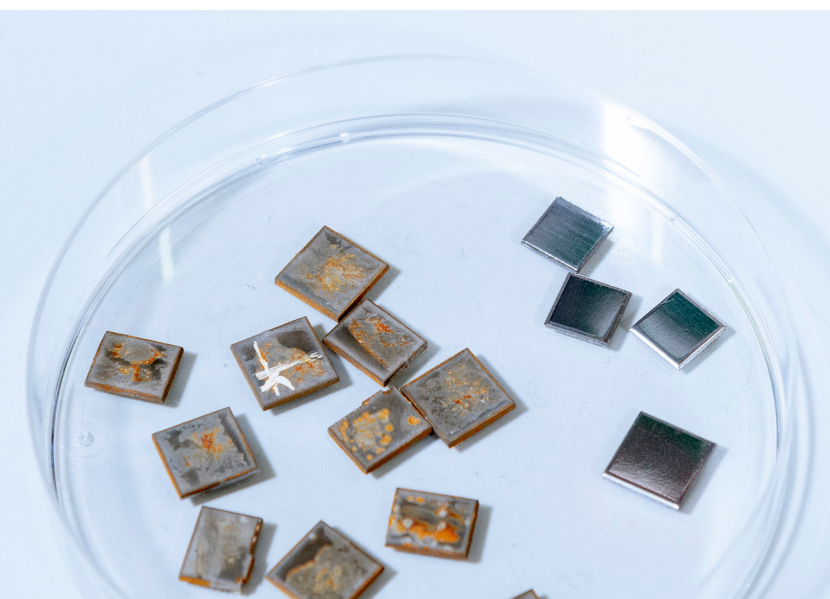
Die Schädigung von Werkstoffen, Bauteilen und Anlagen durch von Lebewesen verursachter Korrosion ist ein weltweites Problem. Sie ist verbunden mit teils enormen Konsequenzen für Industrie und Technik sowie mit einem erheblichen Gefahrenpotential für Mensch und Umwelt. Betroffen sind Materialien jeglicher Art: Stahl, Glas, Holz, Kunststoffe und sogar Beton. Organismen besiedeln Oberflächen, attackieren Materialien teils direkt oder produzieren durch ihren Stoffwechsel für Materialien schädliche chemische Substanzen. Im Aktivitätsfeld Biokorrosion bündelt die BAM ihre Exper-

tise und fokussiert sich insbesondere auf die Untersuchung mikrobiell beeinflusster Korrosion (MIC) von Metallen, Polymeren und Gestein sowie den Einfluss von Insekten (z. B. Termiten) auf holzbasierte Baumaterialien. Die Forschung dient dabei der Aufklärung grundlegender Mechanismen, der Entwicklung innovativer Schutzmaßnahmen sowie entsprechender Prüf- und Detektionsverfahren.

Umweltsimulationen und Szenarioanalysen biologisch beeinflusster Korrosionsprozesse bilden den Schwerpunkt der Arbeiten. Die BAM besitzt hierfür eine weltweit teils unikale Testinfrastruktur für automatisierte Materialprüfungen. Sie ermöglicht Untersuchungen zu korrosionsbedingten Schädigungsmechanismen von Organismen an verschiedensten Materialien und erlaubt die zeitraffende Analyse des Einflusses spezifischer Umweltbedingungen. Die Simulation und Betrachtung anwendungsrelevanter Szenarien im Labor steht dabei im Vordergrund und unterstreicht die Relevanz der Untersuchungen für industrielle Prozesse in der realen Welt. Kombiniert werden die Arbeiten mit Online-Sensorik und chemischer Analytik sowie mit molekularbiologischen Analyseverfahren. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von Machine Learning-basierten Methoden zur Automatisierung der Analyse von Insekten-Material-Interaktionen.

Neben der Untersuchung grundlegender Mechanismen der Biokorrosion stehen insbesondere anwendungsrelevante Forschungsarbeiten im Mittelpunkt. Industrie- und Infrastrukturanlagen, wie Kavernenspeicher für Wasserstoff, Offshore-Windenergieanlagen, Tanks und Pipelines für die Lagerung und den Transport von gasförmigen und flüssigen Stoffen, Lagerstätten und -Behälter für nukleare Abfälle sowie Häfen und andere maritime Strukturen, bilden dabei den Fokus.

Die Entwicklung effektiver Technologien und Anwendungen zum Schutz von Anlagen und Produkten sowie der Detektion von Biokorrosion sind weitere Arbeiten. An der BAM wird dazu beispielsweise an innovativen antimikrobiellen Beschichtungen auf der Basis von Nanopartikeln, am verantwortungsvollen Einsatz von Bioziden gegen MIC-verursachende Biofilme sowie an der Entwicklung robuster Biosensoren für den Feldeinsatz geforscht.



Umwelt-Material-Interaktionen

Für umweltverträgliche, nachhaltige und langlebige Materialien sorgen

Von der Herstellung, über die Nutzung bis zur Entsorgung interagieren Materialien, Produkte und (Infrastruktur-)Anlagen mit ihrer Umwelt, werden durch diese beeinflusst und üben selbst einen Einfluss auf ihre Umgebung aus. Dabei können die Materialien durch biotische und abiotische Einflüsse verändert und beschädigt werden – ein Vorgang mit potenziell kritischen Folgen für ihre Sicherheit. Gleichzeitig können Materialien Schadstoffe oder andere Materialbestandteile in ihre Umgebung abgeben und ihre Umwelt negativ beeinflussen. Im Aktivitätsfeld Umwelt-Material-Interaktionen entwickelt die BAM Konzepte und Methoden, um solche Wechselwirkungen quantitativ und qualitativ zu beschreiben, erarbeitet Lösungen zum Schutz von Materialien und Anlagen und erforscht den Einfluss anthropogener Materialien auf die Umwelt.

Umwelteinflüsse wie Globalstrahlung, Niederschlag oder Temperaturwechsel können zur Degradation von Materialien und einer damit verbundenen Freisetzung von potenziell gefährlichen Stoffen führen. Die Bewertung des Umweltverhaltens und der Umweltverträglichkeit von Materialien ist daher ein Fokus der Arbeiten. Betrachtet werden u. a. das Degradationsverhalten von Materialien, der Chemikalien- und Schadstoffaustrag aus Materialien sowie das Verhalten von freigesetzten Chemikalien in Böden und Gewässern. Simulationen und Analysen erfolgen dabei so weit wie möglich unter umweltrelevanten Bedingungen. Die Entwicklung geeigneter Umweltsimulationsverfahren ist daher ein Schwerpunkt.

Die Beurteilung des Einflusses anthropogener Materialien und Strukturen auf die Umwelt ist ein weiterer Fokus der Arbeiten. Aktuelle Forschungsvorhaben beschäftigen sich mit dem Einfluss von Nanomaterialien auf aquatische mikrobielle Gemeinschaften, mit dem Ziel, effektive und umweltrelevante Testmethoden zu entwickeln und zu etablieren. Zudem wird die Rolle von Mikrobiomen auf menschengemachten Oberflächen untersucht. Die Entwicklung digitaler Analysemethoden sowie deren Anwendung zur Untersuchung und Vorhersage des Verhaltens und der Interaktion von Organismen mit Materialien ist ein weiterer Schwerpunkt der Forschung.

Für einen effektiven und gleichzeitig umweltverträglichen Schutz vor biologischer Materialschädigung forscht die BAM außerdem an alternativen und nachhaltigen Lösungen. Genetisch manipulierbare schwarze Pilze werden beispielsweise als Modellorganismus eingesetzt, um das Verständnis der Materialbesiedlungsprozesse zu verbessern und innovative Bekämpfungsmethoden zu entwickeln. Im Fokus stehen dabei u. a. neue Biozide sowie antimikrobielle Oberflächenbeschichtungen. Gleichzeitig wird im Rahmen des Aktivitätsfelds an einem besseren Verständnis der Entstehung von Resistenzen gegen Biozide, insbesondere Materialschutzmittel, in Mikroorganismen geforscht.

Circular Economy

Materialien nachhaltig und sicher nutzen

Der effiziente und schonende Einsatz von Ressourcen und Materialien sowie die Vermeidung von Abfällen sind zentrale Ziele der deutschen und europäischen Nachhaltigkeitsstrategie und Grundgedanke einer zirkulären Wirtschaft (Circular Economy). Zusätzlich stärkt der Wandel von traditionell linearen Wirtschafts- und Produktionsprozessen hin zu einer zirkulären Wirtschaft die Resilienz gegenüber Ressourcenknappheit und -abhängigkeit. Im Aktivitätsfeld Circular Economy forscht die BAM an der Zirkularität von Materialien und Produkten sowie an Recyclingverfahren und -technologien.

Sichere und nachhaltige Materialströme sind eine grundlegende Voraussetzung für eine umfassende zirkuläre Wirtschaft. Die BAM befasst sich daher mit den Rahmenbedingungen für die Zirkularität verschiedener Stoffgruppen. Am Beispiel des Rohstoffs Gips werden modellhaft niederenergetische Recyclingmethoden für Calciumsulfat entwickelt und gleichzeitig übertragbare Prinzipien und mögliche Synergien untersucht, die beim Recycling weiterer Mineralgruppen Anwendung finden können. Ergänzt werden diese Arbeiten durch die Entwicklung von Konzepten für die Lebenszyklusanalyse sowie durch die Erarbeitung von Entscheidungsrahmen für den geeigneten Einsatz von Sekundärmineralien. Berücksichtigt werden dabei stets ökologische und ökonomische Gesichtspunkte. Komplementär zu den Mineralkategorien werden Methoden zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und Recyclingfähigkeit von Polymeren sowie Li-Batterien untersucht. Weitere Aktivitäten in diesem Bereich beschäftigen sich mit

dem Ausbau KI-gesteuerter Stoffstrommanagementsysteme für biobasierte Rohstoffe im Bausektor und der Zirkularitätsbewertung von Bestandsbauten.

Viele Materialklassen stellen trotz ihrer Bedeutung für die Industrie eine Herausforderung für das Recycling dar. Sie können oft gar nicht oder nur als geringerwertige Materialien wiederverwendet werden (Downcycling). Die Entwicklung nachhaltiger und sicherer Recyclingverfahren für verschiedene Materialklassen, die insbesondere gleich- oder höherwertige Wiederverwendungsmöglichkeiten erlauben, ist daher ein weiterer Fokus. Laufende Projekte adressieren beispielsweise das Recycling von Carbonfasern mittels Pyrolyse- und Solvolyseverfahren und beschäftigen sich mit einer umfassenden Charakterisierung der gewonnenen Recyclingfasern hinsichtlich Qualität, Leistungsfähigkeit und Sicherheit. Weitere Forschungsvorhaben befassen sich mit der Gewinnung von metallischem Titan und Eisen aus Abfällen der Aluminiumoxid- und Titanoxidproduktion, mit der Aufwertung minderwertiger Feinerze für die Eisen- und Stahlproduktion sowie mit der Erprobung automatisierter Reaktorsysteme zur Umwandlung von Calciumsulfat in hochreines Bassanit.

Sensorik

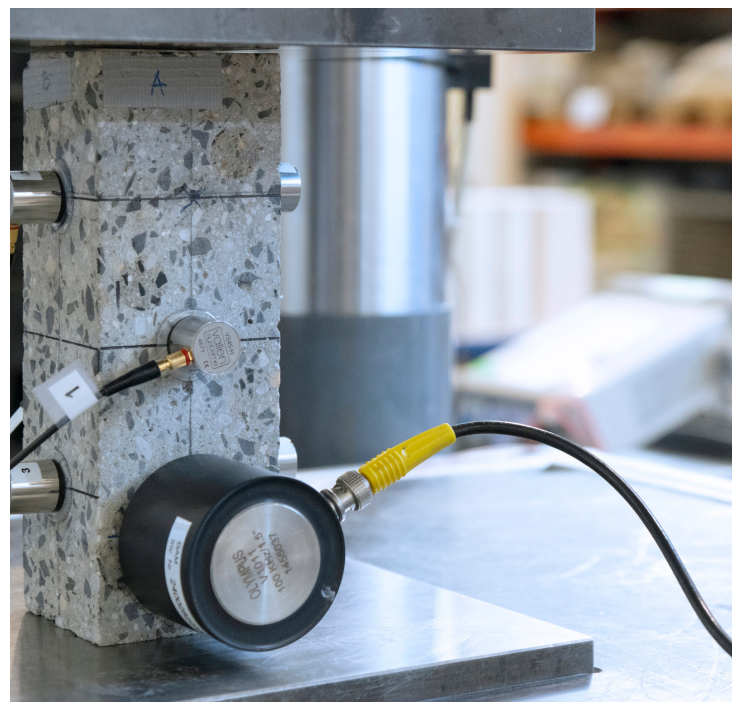
Innovative Sensoranwendungen für Sicherheit in Technik und Chemie implementieren

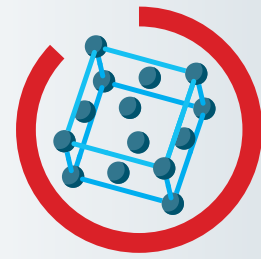
Durch die Messung physikalischer, chemischer oder biologischer Eigenschaften können Sensoren Information über die Umgebung oder den Zustand eines Systems gewinnen. In vielen Bereichen der Industrie und des täglichen Lebens spielen sie eine entscheidende Rolle. Nicht zuletzt in Hinblick auf die Digitalisierung und Automatisierung der Industrie gilt die Sensorik als eine Schlüsseltechnologie für die Industrie 4.0. Die BAM beschäftigt sich im Aktivitätsfeld Sensorik mit der Entwicklung von Prozesssensorik für die autonome Chemie und Produktionstechnik, mit Sensoren und Sensornetzwerken für Umwelt- und Security-Anwendungen, mit Sensorsystemen für die Zustandsüberwachung von (kritischer) Infrastruktur sowie mit mobiler (bio-)chemischer Sensorik.

Viele aktuelle Fragestellungen in der Vor-Ort-Analytik bedürfen der Integration von mehreren Arbeitsschritten, die mit herkömmlichen Schnelltests oder Sensoren nicht mehr realisiert werden können. Die BAM entwickelt für solche Fragestellungen innovative Lösungen,

die kompakt, verlässlich und benutzerfreundlich sind, zum Beispiel auf der Basis von sogenannten Lab-on-a-Chip Devices. Der Fokus liegt dabei auf der Detektion von Umweltkontaminationen und von Explosivstoffen. Zur beschleunigten Entwicklung der benötigten hochelektiven Sensormaterialien kommen dabei u. a. Machine Learning-gestützte, automatisierte Syntheseverfahren zum Einsatz. Neben der Selektivität und Sensitivität stehen bei den entwickelten Sensoren auch die Handhabbarkeit und Robustheit im Feldeinsatz sowie möglichst geringe Herstellungskosten im Vordergrund.

Weitere Forschungsthemen sind die Konzeption und Entwicklung szenarioabhängiger, multimodaler Sensorsysteme u. a. durch den Einsatz von Robotik und KI, die Entwicklung von Monitoring-Konzepten für Katastrophen- und Schadensereignisse sowie die Integration von Sensoren in IoT-Systeme im Rahmen der Modernisierung der digitalen Infrastruktur. Im Fokus stehen die Entwicklung messtechnischer Strategien und die Erhebung von Leistungsanforderungen, beispielsweise zur sicherheitstechnischen Überwachung und Gewährleistung zuverlässiger industrieller Prozesse oder zur Schadensfrüherkennung und der Echtzeitüberwachung (Structural Health Monitoring) von geotechnischen Anlagen und Infrastrukturbauwerken. Für eine kontinuierlich verteilte, lückenlose Überwachung entwickelt die BAM beispielsweise punktuelle Sensoren, mobile Sensorik sowie verteilte Fasersensorsysteme.





3.4 Themenfeld Material

Materialien und Werkstoffe sind in allen Industriesektoren unverzichtbar bei der Bewältigung aktueller technischer Herausforderungen. Für die Wettbewerbsfähigkeit sind Materialinnovationen daher ein entscheidender Faktor. Um den stetig steigenden Anforderungen an Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit in den verschiedenen Technologiedomänen gerecht zu werden und somit einen Beitrag für eine nachhaltige Zukunft zu leisten, müssen kontinuierlich Materialien und Werkstoffe mit passgenauen Eigenschaften entwickelt werden. Im Fokus der Forschungsarbeiten stehen die Themen Additive Fertigung, Advanced Materials, Materialdesign sowie Degradationsmechanismen. Darüber hinaus arbeitet die BAM im Bereich der digitalisierten Materialforschung an der Generierung und digitalen Ablage von Daten zu den verwendeten Materialien, den angewendeten Prozessen und den eingesetzten Maschinen. Neben der computerbasierten Modellierung entwickelt die BAM außerdem Werkzeuge, um Materialdaten und Workflows standardisiert zu beschreiben, abzulegen und zugänglich zu machen.

Additive Fertigung

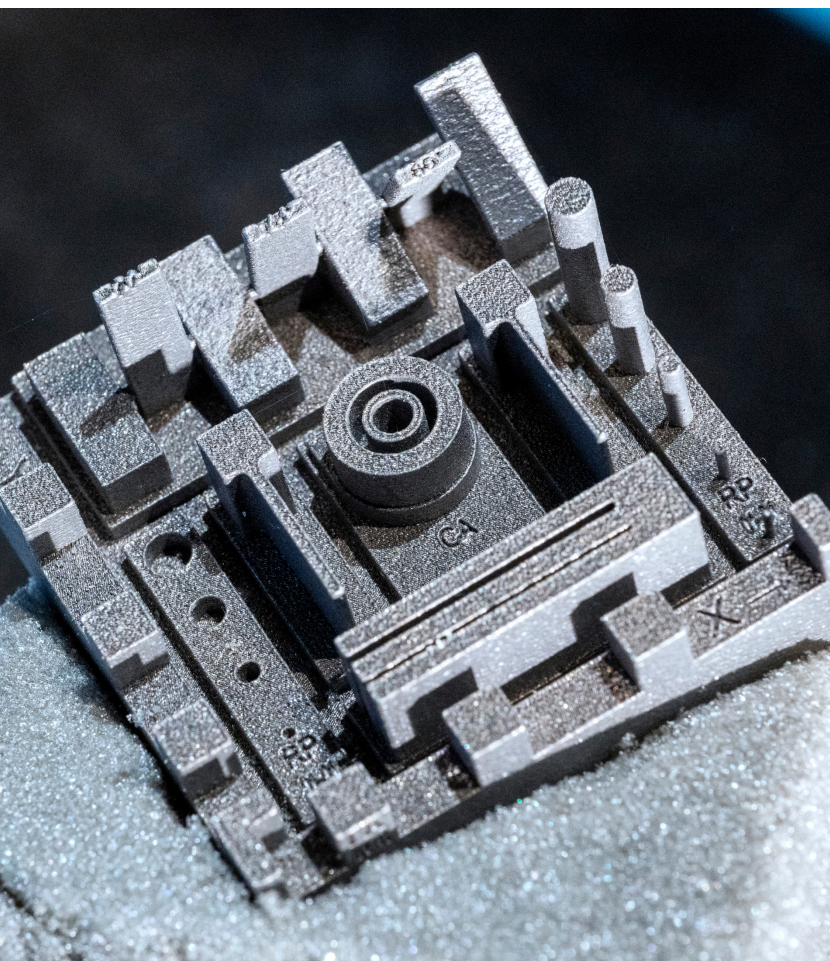
Verlässliche AM-Lösungen für sichere Industrieanwendungen entwickeln

Mit Hilfe der Additiven Fertigung (Additive Manufacturing, AM) lassen sich hochwertige Komponenten schnell und effizient herstellen. Insbesondere die hohe erreichbare Komplexität der gefertigten Bauteile sowie die flexiblen Fertigungsprozesse bieten großes Potenzial für die Produktion von Hochleistungswerkstoffen, wie sie beispielsweise in der Luftfahrtindustrie zum Einsatz kommt. Fehlende Kriterien und Verfahren für die Prüfung und Qualitätssicherung stellen additiv gefertigte Komponenten jedoch oft noch vor große Herausforderungen. Um ihren Einsatz in Anwendungsfeldern mit hohen sicherheitstechnischen Anforderungen industrietauglich zu machen, bündelt die BAM ihre interdisziplinäre Expertise in der additiven Fertigungstechnik, der Werkstoffanalytik und der zerstörungsfreien Materialprüfung im Kompetenzzentrum AM@BAM. Die Arbeiten betreffen dabei sowohl metallische und keramische Werkstoffe wie auch Beton. Ihre Forschungsaktivitäten hat die BAM in vier Kompetenzfeldern zusammengefasst.

Im Kompetenzfeld Prozessentwicklung werden die Aspekte hybride Fertigung, Werkstoffverwendung und Post-Processing betrachtet. Beim Hochtemperaturpulverbettbasierten Laserstrahlschmelzverfahren wird der Einfluss der Hochtemperaturprozessführung auf Geometrie, Mikrostruktur, Defektentstehung und Eigenspannungen betrachtet und die wärmeangepasste Prozessführung mittels thermischer Simulation und Integration von in situ Temperaturbestimmung untersucht. Darüber hinaus werden prozess- und bauteilbedingte Pulverdegradationen sowie die Bewertung von Veränderungen der Pulvereigenschaften durch Überwachung und Analyse der Schutzgasführung bei Laserstrahlschmelzverfahren bewertet. Weitere Forschungsarbeiten dienen der Verfahrensentwicklung einer ultrakompakten Fertigungszelle für die Filament-basierte Herstellung metallischer und keramischer Bauteile und der Prozessentwicklung zur Komponentenindividualisierung sowie der Beanspruchungsoptimierung bei der hybrid-additiven Fertigung von hochfesten Stählen. Zur Entwicklung keramischer Mikro- und Nanostrukturen kommen darüber hinaus Nanopartikel-beladene Feedstocks zum Einsatz. Im Bereich der zementbasierten additiven Fertigung werden die Einsatzmöglichkeiten und das Substitutionspotential alternativer Bindemittel sowie der Einfluss von Post-Processing auf die Eigenschaftsprofile zementbasierter AM-Strukturen untersucht. Darüber hinaus werden die Prozesse und die Prozesskontrolle so weiterentwickelt, dass auch Fertigungen unter besonderen Bedingungen wie der Schwerelosigkeit im Weltraum ermöglicht werden.

In dem Kompetenzfeld digitalen Qualitätssicherung und Prozessüberwachung arbeitet die BAM an einer digital vernetzten Prozesskette, in der Prozessdaten sowie in situ Sensorik-Daten automatisch in einem Datenmanagementsystem zusammengeführt werden. Darüber hinaus arbeitet die BAM an der Messung von Absoluttemperaturen im Prozess, an der in situ Datenreduktion von Sensordaten, an der Weiterentwicklung des Prozessmonitorings sowie an der Datenregistrierung von Sensordaten für die ex situ Charakterisierung.

Die Arbeiten im Kompetenzfeld Werkstoffcharakterisierung und -verhalten fokussieren sich, unter der Verwendung verschiedener Methoden wie zum Beispiel der



3D-Metallographie, auf die Untersuchung von Mikrostrukturen. Weitere Forschungsarbeiten erfolgen zur Analyse von Eigenspannungen unter Verwendung von Hochenergie-Röntgen- und Neutronenstreuung. Darüber hinaus wird der Einfluss von Wärmebehandlungen auf die Mikrostruktur sowie das Kriechverhalten inkl. Modellentwicklung und die Rissausbreitung in additiv gefertigten Ni-Basis-Legierungen erforscht. Der zuverlässige Einsatz additiv gefertigte Metallbauteile unter extremen Bedingungen, wie beispielsweise tiefe Temperaturen oder druckwasserstoffreichen Umgebungen, ist ein weiterer Forschungszweig in diesem Bereich.

Im Kompetenzfeld Bauteilverhalten und Prüfkonzepte fokussieren sich die Forschungsarbeiten der BAM auf die Untersuchung der Übertragbarkeit von Proben auf Komponenten. Darüber hinaus erfolgen Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Konzepten zur Bauteilreparatur, von Auslegungskonzepten sowie von Prüfkonzepten.

Advanced Materials

Advanced Materials sicher einsetzen

Advanced Materials sind funktionelle Materialien, die sich durch spezifische physikalische, chemische oder strukturelle Eigenschaften auszeichnen. Diese spezifischen Eigenschaften machen Advanced Materials für eine Vielzahl von Anwendungen – von Energiespeichern und Ausgangsstoffen für die Additive Fertigung über Produktionsanlagen und Sensorik – interessant. Im Kompetenzzentrum AdvancedMaterials@BAM untersucht die BAM in vier Kompetenzfeldern wie ausgewählte Advanced Materials zuverlässig und reproduzierbar synthetisiert, produziert, charakterisiert und sicher und nachhaltig eingesetzt werden können. Dabei werden Advanced Materials über den gesamten Lebenszyklus betrachtet: von der Entwicklung und Produktion, über die Verarbeitung und Nutzung bis zum Recycling und der Entsorgung.

Im Kompetenzfeld Charakterisierung arbeitet die BAM an der Entwicklung von Methoden zur akkuraten Analyse der strukturellen und optischen Eigenschaften von Materialien und zu ihrer Oberflächenchemie mit optisch-spektroskopischen und elektrochemischen Methoden. Weitere Vorhaben betreffen die korrelative Weiterentwicklung bildgebender Verfahren, die eine laterale oder Tiefenauflösung auf der Nanometer-Skala innehaben, an ausgewählten 3D- und 2D-Materialstrukturen. Darüber hinaus forscht die BAM an der Charakterisierung morphologischer (Dimension und Struktur), chemischer und mechanischer Eigenschaften mittels spektroskopischer und (hochaufgelöster) mikroskopischer Methoden sowie mittels Eindringprüfungen zur korrelativen Untersuchung elektrischer Eigenschaften und optischer Konstanten. Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt beispielsweise auf der Betrachtung der Probenpräparation für genaue morphologische und chemische quantitative Analysen. Die Validierung dieser Methoden, beispielsweise durch internationale Ringversuche und ihre Applikation zur Charakterisierung neuer Funktionsmaterialien, bildet einen weiteren Teil dieser Arbeiten.

Der Fokus des Kompetenzfelds Material liegt auf Untersuchungen zum Design und dem Einsatz von Advanced Materials. Ziel ist dabei die Herstellung von Materialien mit verbesserten oder neuen Eigenschaften wie auch die Sicherheit der entsprechenden Produkte zu erhöhen. Gleichzeitig werden an der BAM Referenzmaterialien auf der Nano- und Mikrometer-

skala synthetisiert, charakterisiert und zertifiziert. Die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich konzentrieren sich insbesondere auf die automatisierte Synthese sowie Untersuchungen zur Langzeitstabilität.

Untersuchungen zur Sicherheit von Advanced Materials bilden den Kern der Forschungsarbeiten im Kompetenzfeld Sicherheit. Die Schwerpunkte der BAM befassen sich dabei mit der ungewollten Freisetzung von Nanomaterialien aus Produkten durch Verbrennung, Abrieb oder Zerfall, dem Nachweis von Advanced Materials in der Umwelt, dem Alterungsverhalten von Advanced Materials sowie dem Verhalten und der biologischen Wirkung von Advanced Materials in der Umwelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen finden Einzug in Regelsetzung und Zulassungsverfahren.

Im Kompetenzfeld Daten steht die Entwicklung und Validierung von Software-Tools zur Analyse von Messdaten sowie der Aufbau einer Datenbank zur Bereitstellung von Referenzdaten und Referenzalgorithmen im Zentrum.

Materialdesign

Entwicklung von Zukunftsmaterialien beschleunigen und innovative Materialien mit besseren Sicherheitseigenschaften entwickeln

Materialien mit neuen oder optimierten Eigenschaften sind entscheidend zur Lösung aktueller gesellschaftlicher Herausforderungen, wie beispielsweise dem geplanten Ausbau der klimaneutralen Energiegewinnung, dem steigenden Bedarf an hocheffizienten Energiespeichern oder der Notwendigkeit zur Entwicklung ressourcenschonender Baumaterialien. Im Aktivitätsfeld Materialdesign bündelt die BAM ihr Know-how in der Konzeption, Synthese und Charakterisierung neuer Materialien und unterstützt so die Entwicklung innovativer Hochleistungsmaterialien. Zum Einsatz kommen dabei computergestütztes Design zur Gewinnung eines grundlegenden Verständnisses von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, Prozessierung auf Labormaßstab neuartiger Werkstoffe, Roboterplattformen zur automatisierten Materialsynthese sowie KI- und Machine Learning-Methoden zur Vorhersage und Optimierung von Materialeigenschaften. Dabei werden Nachhaltigkeits- und Sicherheitsaspekte neuer Materialien bereits beim Design mitbedacht.

Chemisch komplexe Materialien (Chemically Complex Materials, CCMat), insbesondere Hochentropiematerialien (HEM), bilden einen Schwerpunkt der BAM in diesem Bereich. Diese Materialien werden durch gezieltes atomares Design so weiterentwickelt, dass sie sowohl strukturell als auch funktional optimale Eigenschaften aufweisen. Diese Werkstoffklasse nutzt ubiquitär verfügbare Rohstoffe und vereint chemische Vielfalt mit einzigartigen Leistungsprofilen. Dadurch bietet sie kostengünstige Alternativen zu herkömmlichen Funktions- und Strukturwerkstoffen. Während HEM zunächst für Strukturwerkstoffe mit verbesserten mechanischen Eigenschaften wie Steifigkeit, Zähigkeit oder Korrosionsbeständigkeit entwickelt wurden, erschließen sie heute auch innovative funktionale Anwendungen: von Wasserstoffspeicherung und Batterietechnologie über Katalyse, Magnetismus und Halbleiterentwicklung bis hin zu dielektrischen Systemen. Trotz des Potenzials hemmen jedoch Sicherheitsbedenken und ungeklärte Langzeitstabilität den industriellen Einsatz.

In der Forschung werden als zentrale Designstrategien die gezielte Substitution von Elementen und das kontrollierte Defekt-Engineering verfolgt. Damit sollen Synergien geschaffen werden, die Funktionalität (beispielsweise elektrische Leitfähigkeit oder katalytische Aktivität) mit struktureller Robustheit verbinden. Die BAM nutzt interdisziplinäre Ansätze wie die Multiskalenmodellierung, um Phasenstabilität und Transportphänomene präzise vorherzusagen. Parallel dazu werden KI-gestützte Vorhersagen mit Machine Learning-Algorithmen und Hochdurchsatzrechnungen genutzt, um Materialeigenschaften zu prognostizieren und kritische Defektkonfigurationen zu identifizieren.

Durch die Integration von Grundlagenforschung und angewandter Entwicklung, etwa mittels multimodaler Charakterisierung (thermodynamische Analysen, Mikrostrukturmodellierung und mechanische Prüfverfahren), werden das Materialverhalten und die Versagensmechanismen praxisnah entschlüsselt. Nachhaltigkeitsaspekte wie Ressourceneffizienz und Recyclingfähigkeit werden bereits in die frühen Designphasen integriert, wodurch sich die Entwicklungszeit bis zur Marktreife signifikant verkürzt. Die Vision der BAM zielt darauf ab, durch datengesteuertes inverses Design technologische Lücken in den Bereichen Energieversorgung, Umweltschutz und Hochleistungstechnologien zu schließen.



Durch die unendliche Anzahl der Kombinationen von Syntheseparametern, wie Zusammensetzung, Mikrostruktur und Nachbehandlungsschritten, entsteht ein unbegrenzter Experimentierraum, der nur mittels hoch-automatisierter Synthese-Workflows und unter Zuhilfenahme von Simulationsergebnissen erschlossen werden kann. Damit gewinnt die robotergestützte Synthese und Charakterisierung, sowie KI-unterstütztes, automatisiertes Design-of-Experiments in der Materialentwicklung eine immer größere Rolle.

Im Schwerpunkt MAPs@BAM hat die BAM daher ihre Automatisierungs-Expertise gebündelt und entwickelt modulare Synthese- und Charakterisierungseinheiten in Kombination mit intelligenten Verfahren zur autonomen Versuchsplanung, -vorhersage und Datenanalyse, sogenannte Material Acceleration Platforms (MAPs) und Self-Driving Labs (SDLs). Im Fokus stehen die Erforschung von HEM sowie von Nano-, Energie- und Baumaterialien, wobei insbesondere Aspekte der Ressourcenrückgewinnung und Materials substitution Berücksichtigung finden.

So wird beispielsweise an der Entwicklung autonomer Vorhersage- und Syntheseverfahren zur Herstellung und Optimierung komplexer Materialien, insbeson-

dere von Hochentropiemetallphosphaten, für elektrochemische und elektrokatalytische Anwendungen geforscht. Dabei kommen neben verschiedenen in situ- und zeitaufgelösten Röntgenstreuungs- und Spektroskopietechniken auch fortschrittliche Charakterisierungsmethoden am Elektronenspeicherring BESSY II zum Einsatz. Weitere aktuelle Forschungsvorhaben beschäftigen sich u. a. mit der automatisierten Synthese und Charakterisierung von Nanomaterialien und Advanced Materials mit antimikrobiellen bzw. korrosionsinhibierenden Eigenschaften. Dabei steht insbesondere die Funktionalisierung der Nanopartikel, beispielsweise durch Oberflächenbeschichtung oder Beladung mit antimikrobiell bzw. antikorrosiv wirkenden Verbindungen, im Vordergrund. Zur Herstellung maßgeschneiderter Gläser wird zusammen mit Industriepartnern an datengetriebenen Methoden zur Hochdurchsatz-Glasentwicklung geforscht. Die Entwicklung von Workflows für das intelligente Design-of-Experiments sowie von Workflows für das simulationsbasierte Vorab-Screening sind weitere Themen in MAPs@BAM.

Degradationsmechanismen

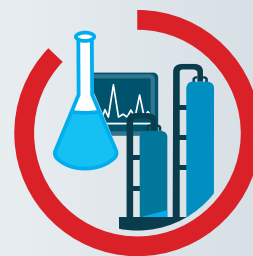
Werkstoffe sicher anwenden

Ein grundlegendes Verständnis von Degradations- und Schädigungsmechanismen ist essenziell für die sichere und verlässliche Verwendung von Bauteilen und Komponenten in Anlagen und Prozessen. Der Fokus der BAM liegt auf der Untersuchung von Prozessen und Folgen der mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen von neuen und bekannten Werkstoffen aus den Bereichen Metall, Keramik und Polymere sowie deren Verbünden. Gleichzeitig entwickelt die BAM geeignete Tests und Prüfverfahren und forscht an Strategien und Lösungen zur Schadensprävention. Die BAM arbeitet an der Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur sicherheitstechnischen Bewertung und interdisziplinärer Schadensanalyse technischer Systeme und ihrer Komponenten.

Die Degradationsmechanismen können in mechanische, thermische und korrosive Degradation unterteilt werden. Im Bereich der mechanischen Degradation betrachtet die BAM Rissbildung und Rissfortschritt, funktionelle Ermüdung, Verschleiß, selbstheilende Materialsysteme, Alterung und Ermüdungsbeständigkeit. Im Bereich der thermischen Degradation liegt der Fokus auf der Untersuchung der Phasen-

stabilität, Segregation, Porenbildung in Fügeprozessen, Grenzflächenphänomenen und Alterung. Im Bereich der korrosiven Degradation erfolgen Forschungsarbeiten zur Salzkorrosion, Hochtemperaturoxidation und wässrigen Korrosion. Beispiele für Forschungsarbeiten im Bereich Degradationsmechanismen sind Arbeiten der BAM zu Formgedächtnislegierungen, Gläsern oder Untersuchungen zu geschmolzenem Solarsalz, welches ein häufig verwendetes Speicher- und Wärmeübertragungsmedium in thermischen Energiespeichersystemen ist.

Ein weiterer wichtiger Forschungsaspekt der BAM im Bereich der Degradationsmechanismen ist die Bewertung bzw. Optimierung von schweißbedingten Bauteilbeanspruchungen und Versprödungen. Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Quantifizierung von spezifischen Einflussgrößen und auf die Entwicklung von Strategien zur Heißriss- und Kaltrissvermeidung. Zum Einsatz kommen dabei einzigartige experimentelle in situ Messtechniken zur lokalen Dehnungs- und Temperaturmessung.



3.5 Themenfeld Chemie und Prozesstechnik

Chemie zählt zu den Schlüsselwissenschaften bei der Bewältigung aktueller Herausforderungen und ist in vielen Technologiefeldern die Grundlage von Innovationen. Mit ihren Kompetenzen im Themenfeld Chemie und Prozesstechnik leistet die BAM einen entscheidenden Beitrag zur sicheren Gestaltung von Produkten und Verfahren zur Leitbranche Chemie und fördert damit die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft am Chemiestandort Deutschland. Der Fokus der BAM liegt dabei auf dem sicheren Umgang mit gefährlichen Stoffen, Analytical Sciences sowie der Sicherheit und Effizienz technischer Anlagen und ihrer Prozesse. Die Arbeiten der BAM im Themenfeld Chemie und Prozesstechnik sind in die Aktivitätsfelder Chemische Charakterisierung und Spurenanalytik, Gefährliche Stoffe sowie Anlagensicherheit und Prozesssimulation unterteilt.

Chemische Charakterisierung und Spurenanalytik

Analytik für eine sichere und nachhaltige Chemie der Zukunft entwickeln

Im Bereich der Analytical Sciences umfassen die Aktivitäten der BAM methodische und instrumentelle Aspekte vielfältiger Prüf- und Messverfahren zur

qualitativen und quantitativen Charakterisierung von Stoffen. Die digitale und grüne Transformation der deutschen Wirtschaft stellt die chemische Industrie vor große Herausforderungen. Insbesondere im Kontext der Zirkularität betreffen viele aktuelle Fragestellungen die chemische Zusammensetzung bzw. Verunreinigung von Materialien und Produkten sowie deren Ausgangs- und Abfallstoffe. Für die verlässliche Beantwortung dieser Fragen beschäftigt sich die BAM mit der (Weiter-) Entwicklung, der Validierung und dem Einsatz verschiedenster analytischer Prüf- und Messverfahren und der Entwicklung von Referenzprodukten.

Einen Schwerpunkt der Arbeiten bildet die Non-Target-Analytik. Hier entwickelt die BAM Methoden zur Identifizierung unbekannter Analyten wie Transformations- und Abbauprodukte, die aus Produkten und Materialien freigesetzt werden können und beispielsweise für zirkuläre Prozesse von hoher Relevanz sind. Flankiert werden Target- und Suspect Screening-Methoden entwickelt, bei denen gezielt Substanzen in komplexen Proben identifiziert und quantifiziert werden. Dazu kommt hochauflösende Massenspektrometrie, gekoppelt mit Chromatographie-Techniken, zum Einsatz. Forschungsprojekte der BAM befassen sich u. a. mit der Detektion von Schadstoffen (Emerging Pollutants), wie per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS), mit der Etablierung digitaler Werkzeuge zur Simulation von Transformationsprodukten, mit Screening-Verfahren zur Charakterisierung von Abfalleluaten oder mit der beschleunigten Identifikation von Analyten durch Auswertung massenspektrometrischer Analysen durch grafische neuronale Netze.

Im Bereich der integrierten chemischen Analytik beschäftigt sich die BAM mit intelligenten, datengetriebenen und automatisierten Verfahren zum Monitoring chemischer Prozesse. Im Fokus stehen beispielsweise laserbasierte Verfahren, die eine kontaktlose Quantifizierung von Analyten ohne vorherige Probenvorbereitung ermöglichen. Weitere Forschungsprojekte beschäftigen sich u. a. mit der Online-Analytik zur selbstoptimierenden Synthese, der Analyse von Stoffströmen im Rahmen von Recyclingverfahren und der Entwicklung von (bio-)chemischen Erkennungsstrukturen für relevante Analyten.



Im Bereich der Referenzanalytik arbeitet die BAM an der Entwicklung von Messverfahren und Referenzprodukten, die die Rückführung von Messergebnissen auf anerkannte Bezugsgrößen, zur Kalibrierung von Messinstrumenten sowie zur Methodvalidierung, Eignungsprüfung und allgemein zur Qualitätssicherung ermöglichen. Dabei wird auch die Probenpräparation untersucht. Darüber hinaus wird an der Bereitstellung von Referenzdaten gearbeitet, die u. a. durch die Charakterisierung von Referenzmaterialien durch Referenzverfahren erzeugt werden.

Gefährliche Stoffe

Gefährliche Stoffe sicher handhaben, transportieren und lagern

Viele Substanzen, Materialien oder Erzeugnisse können aufgrund ihrer physikalischen oder chemischen Eigenschaften schädigende Auswirkungen auf Menschen, Umwelt und Anlagen haben. Aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften werden solche gefährlichen Stoffe jedoch in zahlreichen Anwendungen benötigt bzw. sind wichtige Bestandteile industrieller Produkte. Dazu zählen u. a. per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS). Der sichere Umgang mit diesen Stoffen – ihre Herstellung, Beförderung, Lagerung und Verwendung – setzen jedoch voraus, dass die von ihnen ausgehenden Gefahren beherrschbar sind. Die BAM forscht dafür an der Entwicklung der notwendigen Prüf- und Bewertungsverfahren und überführt die resultierenden Erkenntnisse und Daten im Rahmen ihrer gesetzlichen Aufgaben in nationale und internationale Regelwerke. Auf Basis ihrer wissenschaftlichen Expertise berät die BAM politische Entscheidungsträger zu aktuellen Fragestellungen.

Die (Weiter-)Entwicklung von Prüfverfahren zur Bewertung von neuen Produkten und Verfahren sind ein wesentlicher Forschungsbereich. Aktuelle Forschungsvorhaben in diesem Bereich beschäftigen sich u. a. mit der Bewertung und Einstufung von Produkten für metallthermische Schweißverfahren, mit der Entwicklung von Analyseverfahren zur Bestimmung von PFAS sowie mit der Bewertung des Einsatzes von Rezyklaten in Gefahrgutverpackungen und PFAS-Alternativen in Dichtungen von Gefahrguttanks.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt der BAM befasst sich mit Herstellung, Transport, Lagerung, und Verwendung von zivilen Explosivstoffen und pyrotechnischen

Gegenständen. Ziel ist es u. a. Standardzünder für Prüfungen im Rahmen des UN-Handbuchs zur Beförderung gefährlicher Stoffe weiterzuentwickeln und so eine bessere internationale Vergleichbarkeit der Prüfungsergebnisse zu ermöglichen. Im Bereich der Green Explosivs steht die Realisierung umweltfreundlicherer und im Einsatz sicherer Initialsprengstoffe im Zentrum der Forschungsaktivitäten. Durch die Synthese von Primärsprengstoffen und der Untersuchung ihrer anwendungsbezogenen Eigenschaften, wie beispielsweise der Langzeit- und Temperaturstabilität oder der Kompatibilität mit anderen Stoffen, kombiniert mit der Simulation verfahrenstechnischer Prozesse, soll die Grundlage für zukünftige Anwendungen im Feld sowie der industriellen Herstellung geschaffen werden.

Anlagensicherheit und Prozesssimulation

Industrielle Anlagen und Prozesse sicher gestalten

Prozesstechnische Anlagen zeichnen sich durch eine hohe Komplexität sowie ein beträchtliches Risikopotential aus. Die Sicherheit solcher Produktionsanlagen hängt von einer Vielzahl von miteinander in Wechselwirkung stehenden Parametern ab. Für den sicheren und effizienten Betrieb einer Prozessanlage beschäftigt sich die BAM mit der Entwicklung und Optimierung sicherer und nachhaltiger Prozesse, der Erforschung (neuer) Werkstoffe und Fertigungsverfahren sowie der Entwicklung und Validierung von Modellen für die Anlagenüberwachung und Sicherheitsbetrachtung.

Der flexible und dynamische Betrieb moderner chemischer Anlagen stellt Equipment und Automatisierung vor neue Herausforderungen. Um den Betrieb (teil-)autonomer Anlagen sicherheitstechnisch bewerten zu können, entwickelt die BAM quantitative und qualitative Bewertungsmethoden. Anhand sicherheitsrelevanter Betriebs- und Ausfallszenarien werden sicherheitskritische Zustände mit diesen Methoden beurteilt. Eine modulare Wasserstoff-Pipelineanlage dient dabei als Reallabor zur Modellierung und Simulation.

Die steigende Komplexität von Anlagen stellt das Betriebspersonal vor immer neue Herausforderungen. Mensch-Maschine-Interaktionen sowie sich daraus ergebende Bedürfnisse bei der Ausgestaltung der Automatisierungstechnik und der Bedienoberfläche sind daher ein weiterer Aspekt der Forschungsarbeiten. Aktuelle Fragestellungen adressieren u. a.



die Unterstützung des Betriebspersonals bei der Arbeit in Gefahrenumfeldern industrieller Anlagen durch Mixed Reality-Technologien und Internet of Things (IoT)-Anwendungen sowie die Entwicklung von Konzepten zur Vorbereitung des Betriebspersonals auf Störfälle in autonom betriebenen Anlagen.

Verlässliche Modelle zur Anlagenüberwachung und Betrachtung der Anlagensicherheit stellen ebenfalls einen Fokus der Arbeiten dar. Die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich beschäftigen sich u. a. mit Modelltransparenz, Validierung und Unsicherheitsquantifizierung. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich beispielsweise mit der verlässlichen Modellierung der Druckentlastung von Gastanks.

Darüber hinaus sind die Entwicklung neuer Prüfverfahren und -standards für die geplante Umrüstung von Flüssiggas-Terminals für den späteren Betrieb mit Ammoniak und Wasserstoff und die sich daraus ergebenden sicherheitstechnischen Anforderungen an Materialien und Anlagen ein aktueller Forschungsaspekt. Der Aufbau einer flexiblen und autonomen Versuchsplattform zur Online-Analytik reaktiver Flüssigsysteme stellt einen weiteren Fokus der Aktivitäten dar.

4. FORSCHUNGSINFRASTRUKTUR

Eine leistungsfähige Forschung braucht geeignete Rahmenbedingungen. Nur mit den notwendigen personellen und materiellen Ressourcen lässt sich die gewünschte hohe Qualität der Forschung realisieren. Eine weitere Voraussetzung ist die Unabhängigkeit in

der Forschung. Damit auch zukünftig qualifizierte Mitarbeitende für eine kompetente Aufgabenerfüllung zur Verfügung stehen, ist die Förderung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in einer frühen Karrierephase (WiKa) der BAM ein besonderes Anliegen.

4.1 Qualität der Forschung

Die Kontinuität und Tragweite der Aufgaben der BAM stellen besonders hohe Anforderungen an die Qualität der in der BAM durchgeführten Forschungsarbeiten. Die BAM wendet hierfür sowohl interne als auch externe Verfahren und Instrumente der Qualitätssicherung an. Die interne Qualitätsinfrastruktur orientiert sich hierbei an den internationalen Normenreihen EN ISO 9000 ff. sowie EN ISO/IEC 17000 ff. für Qualitätsmanagement und Akkreditierungsstellen und Prüflaboratorien. Zur qualitätsgesicherten Speicherung, Verwaltung und Dokumentation der im Rahmen ihrer Forschungstätigkeiten gewonnenen Forschungsdaten sowie der entsprechenden Metadaten im Sinne der FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) betreibt die BAM ein institutionelles Forschungsdatenmanagementsystem. Die BAM arbeitet nach den Grundlagen der guten wissenschaftlichen Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und verfügt über ein

Qualitätsmanagement. In allen Forschungsbereichen stellt sich die BAM der Qualitätskontrolle durch die „scientific community“, insbesondere im Rahmen der Einwerbung von Drittmitteln, von Publikationen in referierten Zeitschriften, Vorträgen auf nationalen und internationalen Fachtagungen sowie Patenten und Lizenzen. Auch durch ihre Mitwirkung in zahlreichen Fachgremien stellt die BAM ihre Kompetenz unter Beweis. Darüber hinaus unterzieht sie sich in regelmäßigen Abständen externen Evaluationen, wie beispielsweise zuletzt im Jahr 2016 durch den Wissenschaftsrat. Die Tätigkeiten der BAM werden begleitet durch wissenschaftliche Beiräte sowie ein Kuratorium. Die Diskussion der Themen der BAM im Rahmen der Beiratssitzungen mit einem Kreis externer Stakeholder und Spezialisten liefert für die BAM wichtige Beiträge für die strategische Themenwahl in den Themenfeldern.

4.2 Zentrale Forschungsförderungsprogramme

Die BAM beteiligt sich aktiv an externen Fördermaßnahmen. Um die Beteiligung an der strategischen Ausrichtung zu befördern und kurz- und mittelfristig anschlussfähig an große europäische Fördermaßnahmen zu sein, unterhält die BAM zusätzlich interne, zentrale Fördermaßnahmen. Ziel dieser Förderung ist es, vielversprechenden Projekten eine Anschubfinan-

zierung zu gewähren. Hierzu gibt es das Innovationsprogramm „Menschen – Ideen“. Die Förderlinie „Ideen“ dient der Förderung von Forschungsprojekten in unterschiedlichen Reifegraden der technologischen Entwicklung und mit unterschiedlicher Zielsetzung, von der Förderung innovativer Ideen, Erschließung neuer Forschungsgebiete, Entwicklung strategisch relevanter

Schwerpunkte bis hin zur Planung und Umsetzung fallbezogener Transferstrategien im Rahmen von Projekten. Die Förderlinie „Menschen“ enthält Instrumente, bei denen der Mensch im Mittelpunkt steht. Dazu gehören unter anderem die Unterstützung internatio-

ner Postdocs, Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler sowie von Nachwuchsgruppen. Auch das Qualifizierungsprogramm für WiKa ist Teil dieser Förderlinie.

4.3 Graduate Academy der BAM

Im Rahmen des 1996 begonnenen Promotionsprogramms wird Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Möglichkeit zur Promotion gegeben. Aktuell sind etwa 120 Promovierende an der BAM aktiv. Dafür werden zentrale Haushaltsmittel über die Förderlinie „Ideen“ bereitgestellt bzw. dezentrale Finanzierungen aus Mitteln der Abteilungen und externen Fördermitteln eingesetzt.

Damit die Promovierenden nach ihrer Einstellung erfolgreich und zügig exzellente Abschlüsse erreichen können, ist eine angemessene Betreuung notwendig. Die BAM hat dazu in strukturierter Weise Anforderungen an die Betreuung von Promovierenden an der BAM konkretisiert. Die Promotionsverfahren erfolgen durch Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Universitäten.

Durch die Zusammenführung des Promotionsprogramms in der Graduate Academy der BAM mit den begleitenden Qualifizierungsangeboten des „Menschen

– Potenziale“-Programms zu komplementären Skills, leistet die BAM einen wichtigen Ausbildungsbeitrag für WiKa in fachlichen Themen, die mit Sicherheit in Technik und Chemie verknüpft sind.

Zur Ausbildung zukünftiger Fachkräfte in besonders gesellschaftsrelevanten Technologiefeldern strebt die BAM Partnerschaften mit führenden nationalen Forschungseinrichtungen an. Zur strukturierten Qualifizierung exzellenter WiKa im Rahmen der Etablierung von Wasserstoff als einem zentralen zukünftigen Energieträger hat die BAM daher mit der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) im Jahr 2023 das Graduiertenkolleg „Trustworthy Hydrogen“ eingerichtet. Durch die gemeinsame Betreuung von Promotionsprojekten mit der BTU leistet das Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM so einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte im Bereich Wasserstofftechnologien.

4.4 Vernetzung & Internationalisierung

Für Forschung auf hohem Qualitätsniveau ist eine gute nationale und internationale Vernetzung mit Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen essenziell. Die BAM hat daher als eine der ersten Ressortforschungseinrichtungen bereits im Jahr 1993 eine gemeinsame Berufung mit einer Universität im Rahmen der Leitung der Abteilung für Analytische Chemie und Referenzmaterialien durchgeführt. Gemeinsame Berufungen für Leitungsfunktionen an der BAM werden

weiterverfolgt. Eine verstärkte Anzahl von Lehrtätigkeiten unterstützt diese Entwicklung.

Mit dem Programm für Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler sowie dem Adolf-Martens Programm für Postdocs stellt die BAM interne Mittel für den Aufenthalt internationaler Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der BAM bereit. Mit dem Programm „Menschen – Netzwerke“ fördert die BAM Forschungsaufenthalte von Wissenschaftlerinnen und

Wissenschaftlern der BAM an internationalen Partnerinstitutionen, für den Aufbau neuer Kontakte bzw. die Gewinnung neuer Kompetenzen und Kenntnissen. In vielen Bereichen der BAM werden Studierende verschiedener Universitäten und Fachhochschulen im Rahmen von Studien-, Bachelor- und Masterarbeiten sowie Praxissemestern ausgebildet. Auch mit der Lehrtätigkeit ihrer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Universitäten und Fachhochschulen trägt die BAM zur Ausbildung von WiKa bei, vor allem in den für die Aufgaben der BAM relevanten Disziplinen.

Eine besonders enge Kooperation besteht weiterhin mit der University of Birmingham (UoB). Im Rahmen gemeinsam betreuter Promotionen bündeln die UoB und BAM ihre wissenschaftliche Expertise und bearbeiten gemeinschaftlich aktuelle Forschungsfragen im Bereich der Energie- und Materialforschung. Im außeruniversitären Bereich arbeitet die BAM national und international mit zahlreichen Forschungsinstituten zusammen, z. B. mit Instituten in Namibia zu dem Thema Capacity Building im Bereich Wasserstofftechnologien oder

mit südkoreanischen Partnerinstitutionen zu Sicherheitsfragen bei Wasserstoffanwendungen. Gemeinsam mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin etabliert die BAM aktuell ein virtuelles Zentrum zur Batterieforschung (Berlin Battery Lab). Grundlage der Kooperationen bilden Verträge oder gemeinsame Absichtserklärungen (Memorandum of Understanding, MoU).

Die BAM ist außerdem Mitglied im World Materials Research Forum sowie deutsche Vertreterin in VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) und leitet dort u. a. die Technical Working Area zu Quantitative Microstructural Analysis. Die Internationalisierungsstrategie der BAM fokussiert darüber hinaus auf die Beteiligung an Projekten und Partnerschaften im Rahmen der europäischen Forschungsrahmenprogramme (aktuell Horizon Europe) und weiterer Vernetzungsprogramme (z. B. COST). Aktuell beteiligt sich die BAM beispielsweise an der Initiierung der EU-Partnerschaft Innovative Advanced Materials for EU (IAM4EU).

4.5 Ressourcen

Die BAM verfügt über ein fest budgetiertes und weitgehend flexibilisiertes Haushaltsvolumen von aktuell ca. 176 Mio. €. Zusätzlich zu den Haushaltsmitteln werden von der BAM Fördermittel von verschiedenen Drittmittelgebern (u. a. DFG, BMFTR, EU) eingeworben und umgesetzt. Die sta-

tistischen Angaben können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Die BAM vergibt keine Mittel für extramurale Forschung nach außen.

Tabelle: Kennzahlen der BAM für die letzten Jahre

	2020	2021	2022	2023	2024
Drittmittel (in T€)					
Umgesetzte Fördermittel (Drittmittel)	14.935	17.100	18.960	18.947	22.850
Einnahmen (in T€)					
Einnahmen aus den Dienstleistungsbereichen	10.729	10.434	9.655	8.991	8.525
Einnahmen Referenzmaterialverkauf	1.560	1.822	1.920	2.124	2.103
Lizenzeinnahmen	372	435	360	343	399

	2020	2021	2022	2023	2024
Output					
Veröffentlichungen (Web of Science) ³	558	557	485	493	499
Vorträge	381	655	780	802	926
Poster	77	129	180	239	227
Sonstige Veröffentlichungen	249	238	389	336	387
Patente inkl. Nationalisierungen	140	82	36	29	58
Neue zertifizierte Referenzmaterialien [davon Ethanol/Wasser-Gemische]	569 [469]	598 [496]	554 [480]	515 [468]	570 [515]
Personal (Stand 31.12.)					
Mitarbeitende insgesamt	1617	1632	1622	1549	1546
Stammmitarbeitende	1049	1031	1000	984	976
Haushaltsfinanzierte Zeitangestellte (inkl. Auszubildende, Promovierende)	360	366	383	314	305
Vorhabenfinanzierte Zeitangestellte [davon Promovierende]	213 [47]	245 [33]	248 [36]	258 [34]	270 [40]
Promovierende	145	130	153	137	120
Auszubildende	61	57	56	46	42
Haushalt (in T€)					
Gesamtausgaben/Grundhaushalt	155.068	164.836	165.801	171.451	176.442
Personalausgaben	86.072	85.955	86.483	87.253	88.763
Sachausgaben	44.680	49.350	53.879	59.474	58.451
Bauinvestitionen	8.002	7.007	6.709	8.258	6.509
Geräte-, IT-, sonstige Investitionen	16.314	22.524	18.724	16.463	22.539

³ Web of science (core collection), Suchterm: (BAM OR Bund* Materialforsch* OR Bund* Mat* Forsch* OR Fed* Mat* Res*) AND Berlin.

Ein zentrales Element zur Sicherung der Qualität wissenschaftlicher Leistungen und der Effizienz des Wissenschaftssystems ist der wissenschaftsgeleitete Wettbewerb um Ressourcen. Dazu zählt sowohl die Teilnahme an Programmen des organisationsinternen Wettbewerbs als auch am nationalen und internationalen Wettbewerb um Drittmittel, beispielsweise in Förderprogrammen der DFG, der EU oder des Bundes.

Im Rahmen ihres Auftrages, die deutsche Wirtschaft zu unterstützen und Technologietransfer zu betreiben, wird die BAM sich auch zukünftig in besonderem Maße an Forschungsprogrammen der EU, des BMWF und des BMFT zur Förderung von kleinen und mittleren Unter-

nehmen (KMU) beteiligen. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Beteiligung der BAM an den Förderprogrammen „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ (ZIM) und „Industrielle Gemeinschaftsforschung“ (IGF) des BMWF sowie am Förderprogramm „Existenzgründungen aus der Wissenschaft“ (EXIST). Aufgrund ihrer regelsetzenden Tätigkeiten sind für die BAM auch Förderprogramme zur besseren Vernetzung von Forschung und Normung von Interesse, wie beispielsweise das Programm „Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen“ (WIPANO).

In einem von Wissenschaft und Technologie geprägten Land wie der Bundesrepublik Deutschland stellen

hervorragend qualifizierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die wichtigste personelle Ressource zur Sicherung eines hohen Niveaus in Forschung und Entwicklung dar. Die BAM ist sich der Bedeutung dieser Aufgabe in der rechtzeitigen Ausbildung von WiKa bewusst und richtet sich grundsätzlich nach dem EU-Verhaltenskodex für die Einstellung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Für den Bereich Forschung und Entwicklung werden ca. 80 % der Arbeitszeit des Personals der BAM aufgewendet. Das befristet beschäftigte Personal ist überwiegend in der Forschung tätig.

Zur Beschleunigung von Forschungs- und Entwicklungszyklen sowie der Steigerung von Effizienz und Innovationsfähigkeit nutzt die BAM die Digitalisierung sowie KI-Technologien als zentrale Bestandteile der Gesamtstrategie und entwickelt ihre Fähigkeiten in diesen Bereichen systematisch weiter. Im Fokus stehen die computergestützte Datenauswertung, die automatisierte Suche und Synthese neuer Materialien, die Anwendung großer Sprachmodelle (Large Language Models; LLMs) bei der Textverarbeitung sowie die Einführung fortschrittlicher Datenmanagementsysteme. Die BAM arbeitet bei diesen Schwerpunkten in enger Verknüpfung mit den relevanten nationalen Partnern und Konsortien, insbesondere in den Bereichen der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI), der Digitalisierung der Materialwis-

senschaften (z. B. Plattform MaterialDigital) sowie der digitalen Qualitätsinfrastruktur (QI-Digital).

Ein hohes Niveau bei der technischen Ausstattung ist eine Voraussetzung für die hervorragende Stellung der BAM auf dem Gebiet der Sicherheit in Technik und Chemie. Die BAM verfügt zum Teil über Einrichtungen, die national oder auch europaweit einmalig sind. Ein Beispiel dafür ist das Testgelände Technische Sicherheit (TTS) im brandenburgischen Horstwalde mit Brandprüfanlagen, Prüffeldern für Brand- und Explosionsgefahren, Sprengplätzen und einer Fallversuchsanlage. Neben der Erfüllung hoheitlicher Aufgaben dient es in der Forschung insbesondere der Durchführung von Großversuchen im Realmaßstab, beispielsweise in den Aktivitätsfeldern EES, Infrastruktur oder Security. Das Kompetenzzentrum H₂Safety@BAM unterhält auf dem TTS ein Testzentrum für sichere Wasserstofftechnologien. Verschiedene Großprüfanlagen der BAM dienen der mechanischen Prüfung von Großbauteilen, beispielsweise im Rahmen der Arbeiten des Kompetenzzentrums Wind@BAM. Darüber hinaus betreibt die BAM zur Charakterisierung von Materialien und Werkstoffen zwei Beamlines (BAMline und μ Spot) am BESSY II. Die experimentellen Möglichkeiten der BAM stehen im Rahmen von vertraglichen Vereinbarungen auch den Kooperationspartnern zur Verfügung.

