



**FORSCHUNGS-
PROGRAMM**
2015 - 2017

Impressum

Forschungsprogramm 2015 – 2017

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

Redaktion/Layout: BAM

Bilder und Grafiken:
Abteilungen und Referat Z.8 der BAM

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



INHALT

EINLEITUNG	5	THEMENFELD UMWELT	19
UNSER AUFTRAG	6	THEMENFELD MATERIAL	23
FORSCHUNG FÜR SICHERHEIT IN TECHNIK UND CHEMIE	9	THEMENFELD ANALYTICAL SCIENCES	28
THEMENFELD ENERGIE	10	RAHMENBEDINGUNGEN	32
THEMENFELD INFRASTUKTUR	14	RESSOURCEN	35

EINLEITUNG

Globalisierung und die beschleunigte technologische Entwicklung bringen heute für die Industrieländer Herausforderungen im Hinblick auf Wachstum, Beschäftigung und Strukturwandel mit sich, denen nur mit einer entsprechenden Innovationsdynamik und -dichte begegnet werden kann. Grundvoraussetzung hierfür ist eine leistungsfähige Forschung und Entwicklung ebenso wie Wissens- und Technologietransfer zur Umsetzung von Forschungsergebnissen in marktfähige Produkte und Dienstleistungen. Europa hat sich im Rahmen des Lissabon-Prozesses zum Ziel gesetzt, den Anteil der Forschungsausgaben am Bruttoinlandsprodukt auf 3 % zu steigern. Um die Forschungsinfrastruktur in der Bundesrepublik zu stärken und global wettbewerbsfähig zu bleiben, hat die Bundesregierung mit der Hightech-Strategie einen weiteren wichtigen Schritt zur Förderung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in Deutschland getan.

Forschungsprogramme sind sowohl für Forschungseinrichtungen als auch für Mittelgeber ein wichtiges Instrument für die Darstellung und Steuerung ihrer Aktivitäten. Dies gilt auch für die Bundeseinrichtungen mit Forschungs- und Entwicklungsaufgaben, zu denen die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zählt. Die BAM verfügt über einen klaren gesetzlichen Auftrag für die Sicherheit in Technik und Chemie. Ihre Forschung ist mit der Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben verbunden. Das Forschungsprogramm zeigt Perspektiven im Bereich ihres Aufgabenfeldes sowie ihrer damit verbundenen Forschungsaktivitäten transparent und politisch nutzbar auf und dient darüber hinaus der Koordinierung der Ressortforschung. Das Forschungsprogramm der BAM wird alle zwei Jahre aktualisiert. Es gibt einen Überblick über die aktuellen und zukünftigen Forschungsthemen und die hierfür erforderlichen Rahmenbedingungen.

UNSER AUFTRAG

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 nachhaltige Sicherheit neuer Technologien schafft das Vertrauen der 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.

Im Rahmen der gesetzlichen und gesellschaftspolitischen Aufgaben identifiziert die BAM Anforderungen an die Sicherheit in Technik und Chemie für die Gesellschaft von morgen. Im Mittelpunkt der Arbeit der BAM stehen:

- Forschung und Entwicklung,
- Beratung und Information,
- Prüfung, Analyse und Zulassung.

Die BAM kommuniziert sicherheitstechnische Problemlösungen und bringt diese in die Regelsetzung und Normung ein. Beratung, Information und Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien gehört daher zu ihren wesentlichen Aufgaben. Seit mehr als 100 Jahren entwickelt und validiert die BAM Analyseverfahren, Prüfverfahren und Bewertungsmethoden sowie Modelle und erforderliche Standards. Darüber hinaus erforscht, überprüft und bewertet die BAM Substanzen, Werkstoffe, Bauteile, Komponenten und Anlagen sowie natürliche und technische Systeme auf sicheren Umgang und Betrieb.

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.

Als Kompetenzzentrum „Sicherheit in Technik und Chemie“ leistet die BAM einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung der deutschen Wirtschaft. Als Bundesoberbehörde ist die BAM wirtschaftlich unabhängig und fungiert als neutraler Moderator

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.

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.



Abbildung 1: Symposium zu Gefahrgutverpackungen am Fallturm auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit in Horstwalde.

Mit diesem 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 und Referenzverfahren, 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
- Gefahrgutbeförderungsgesetz
- Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
- Gefahrgutverordnung See
- Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
- Strahlenschutzverordnung
- Chemikaliengesetz
- Gefahrstoffverordnung
- Beschussgesetz und Beschussverordnung
- Ortsbewegliche-Druckgeräte-Verordnung
- Deponieverordnung
- Gesetz über die Akkreditierungsstelle
- Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
- Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz

Die Erkenntnisse der BAM dienen nicht nur dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), dem die BAM nachgeordnet ist. Die BAM erfüllt auch Aufgaben für andere Ressorts, insbesondere für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) und das Bundesministerium des Innern (BMI).

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

In die Themenplanung sowie in die Erstellung des Forschungsprogramms sind die wissenschaftlichen Beiräte und das Kuratorium der BAM eingebunden. In einer Zielvereinbarung mit dem BMWi wird die strategische Ausrichtung der BAM festgeschrieben, die im Forschungsprogramm sowie in BAM-internen Zielvereinbarungen konkretisiert wird. 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 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der BAM anschaulich. Die BAM verfährt in ihrem Technologietransfer entsprechend den zentralen Aktionslinien Patent- und Verwertungsinfrastruktur, schutzrechtliche Sicherung von Forschungsergebnissen und Verwertung von Forschungsergebnissen durch Forschungsk Kooperationen mit Unternehmen, Transfer in Normung und Regelsetzung und Ausgründungen.



¹ *Rechtliche Grundlagen für die Aufgaben der BAM:*
http://www.bam.de/de/service/amtl_mitteilungen/amtl_mitteilungen_medien/bam_rechtliche_grundlagen.pdf

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der BAM können in einem einfachen Produktionsmodell unterschiedlichen Stufen zugeordnet werden: Der Beginn neuer Fragestellungen ist eine starke und ergebnisoffene Grundlagenforschung, da die Arbeit der BAM auf höchstem Niveau nicht ohne eine solide Wissensbasis möglich ist. Wird die Grundlagenforschung nicht aus Eigenmitteln finanziert, sind öffentliche Forschungsträger, die keine thematische Einschränkung vorsehen, die wichtigsten Geldgeber. Grundlagenforschung erzeugt neues Wissen und hat als Produktionsleistung die Publikation in Fachzeitschriften. Ist die Grundlagenforschung in einem Gebiet vorangeschritten, tritt in der BAM die angewandte Forschung an ihre Stelle. Die angewandte Forschung ist auf ein spezifisches Ergebnis ausgerichtet. Sie ist häufig drittmittelgetrieben und generiert neben Publikationen weitere Drittmittelumsätze für die Verfolgung der Ziele der BAM.

Auf die angewandte Forschung folgt die Technologieentwicklung. Sie baut auf vorhandenem Wissen auf und ist klar auf die Entwicklung neuer Produkte und Prozesse ausgerichtet. Technologieentwicklung wird von industriellen Auftraggebern oder von Drittmittelgebern, die den Technologietransfer fördern, unterstützt. Zu den Ergebnissen der Technologieentwicklung gehören auch Patente, Lizenzen oder Normen und technische Regeln. Das Ergebnis ist neben dem generierten Wissen auch die Entwicklung von Technologien und wissenschaftlich-technischen Dienstleistungen (z.B. Prüfungen, Zulassungen oder Konformitätsbewertungen) auf

dem aktuellen Stand der Technik. Im Rahmen des Wissens- und Technologietransfers finden auf dieser Stufe auch sehr erfolgreiche Ausgründungen aus der BAM statt.

Die Beratung der unterschiedlichen Kunden der BAM aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft ist ein integraler Bestandteil aller Stufen. Die Forschung und Entwicklung in der BAM verknüpft die Bereiche Prüfung, Analyse und Zulassung (PAZ) und Beratung und Information (BI) sowie den Technologietransfer. Das Durchlaufen der Stufen und die Verschränkung von Forschung und Entwicklung, PAZ und BI bildet das Produktionsmodell, das einen Zyklus darstellt. Diese Verschränkung der Aufgaben gewährleistet die herausragende Qualität der Arbeit der BAM.

Um innerhalb dieses Rahmens komplexe Fragestellungen zu lösen, ist es erforderlich, das komplette Spektrum zwischen angewandter Forschung und Grundlagenforschung flexibel und interdisziplinär auszuschöpfen. Kennzeichnend für die BAM sind die enge Zusammenarbeit diverser natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fachrichtungen und die Notwendigkeit, wissenschaftliche Kompetenz sowohl kurzfristig abzurufen als auch langfristig angelegte Fragestellungen kontinuierlich zu bearbeiten. Bei der Bearbeitung ihrer Aufgaben sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM frei in der Wahl der Verfahren, unabhängig bei der Interpretation der Ergebnisse und eigenverantwortlich hinsichtlich guter wissenschaftlicher Praxis.

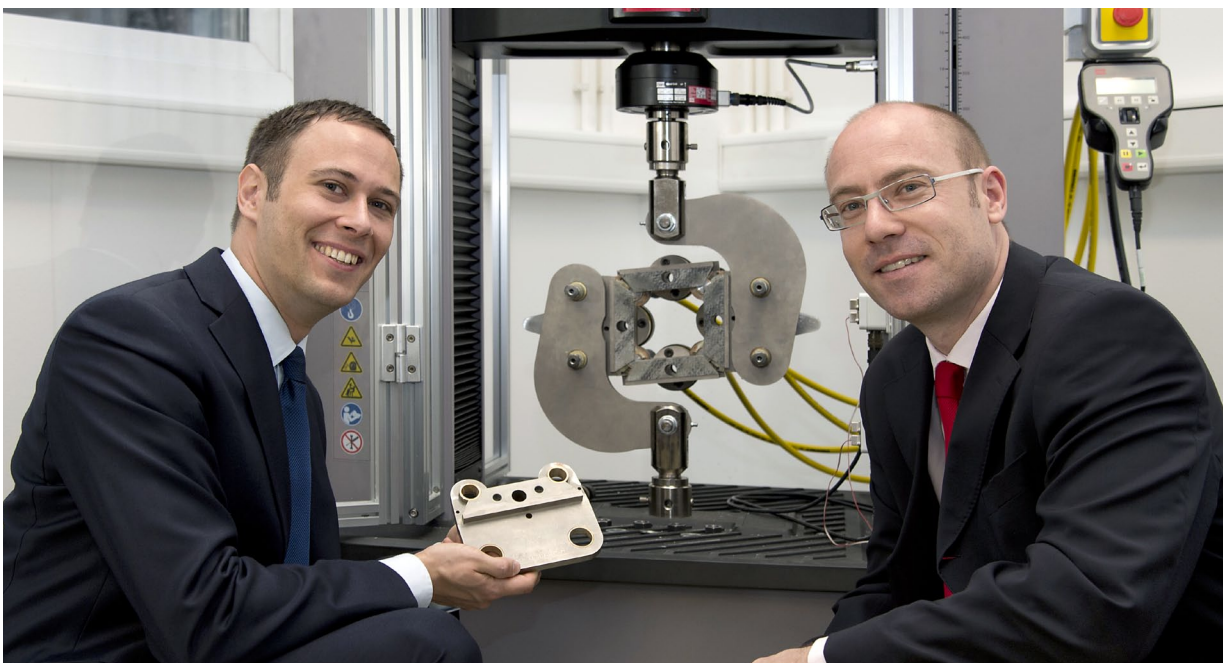


Abbildung 2: Technologietransfer: DIN-Innovationspreis 2014 an Grasse Zur Ingenieurgesellschaft mbH, ein aus der BAM ausgegründetes StartUp-Unternehmen.

FORSCHUNG FÜR SICHERHEIT IN TECHNIK UND CHEMIE

Die Bundesregierung hat in ihrer Hightech-Strategie Themenkomplexe identifiziert, welche für die Entwicklung Deutschlands im Hinblick auf die Innovationsfähigkeit und zukünftige Herausforderungen von besonderer Relevanz sind. Dazu gehören verschiedene Technologien in den Bereichen Energie, Umwelt, Werkstoffe und Sicherheit.

In den Spitzen- und Schlüsseltechnologien Materialwissenschaft, Werkstofftechnik und Chemie forscht die BAM mit ihrer fachlichen Kompetenz und langjährigen Erfahrung zur technischen Sicherheit von Produkten, Prozessen und der Lebens- und Arbeitswelt der Menschen. Die Kompetenzen der BAM entstehen aus interdisziplinärem Wissen und aus eigener Forschung in hoher Qualität und Kontinuität.

Die Forschungsthemen der BAM sind durch fünf abteilungsübergreifende Themenfelder charakterisiert:

- Energie
- Infrastruktur
- Umwelt
- Material
- Analytical Sciences

Die Themenfelder Energie, Infrastruktur und Umwelt stellen dabei Bedarfsfelder mit Herausforderungen unserer Gesellschaft dar, für welche die Forschung der BAM entsprechend ihrem Auftrag von grundlegender Bedeutung ist. Die Themenfelder Material und Analytical Sciences sind Schlüsseltechnologien für Sicherheit in Technik und Chemie. Sie haben übergreifende Bedeutung für die Forschung der BAM in den genannten Bedarfsfeldern, sind aber auch Treiber für Innovationen und die Grundlage für neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in anderen Schwerpunkten der Hightech-Strategie der Bundesregierung.

Das vorliegende Forschungsprogramm ist grundsätzlich nach diesen Themenfeldern strukturiert.

THEMENFELD ENERGIE

Das Thema Energie ist für den Wirtschaftsstandort Deutschland von zentraler Bedeutung. Unter den Randbedingungen der globalen Erwärmung und dem Beschluss der Energiewende in Deutschland wird die Energieversorgung in der nächsten Dekade zum entscheidenden Produktions- und Standortfaktor für die industrielle Basis des Landes.

Die Erschließung und Nutzung neuer nachhaltiger Energiequellen, die Veränderung der Anteile unterschiedlicher Energiequellen am Energiemix und die notwendige Steigerung der Energieeffizienz zur Reduktion des Primärenergieeinsatzes pro Kopf sind wesentliche Handlungsfelder. Dazu wird es kurzfristiger Verbesserungen bekannter Technologien, grundlegender Forschung zu alternativen Energiequellen und einer angepassten Energieinfrastruktur bedürfen. Die gesellschaftliche Akzeptanz neuer Energiekonzepte und Technologien wird entscheidend auch von ihrer Sicherheit abhängen.

SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM BEREICH ENERGIE

Die Forschungsaktivitäten der BAM behandeln sowohl verschiedene Energieträger wie Wind, Sonne und Gas als auch die Nutzungskette von Erzeugung, Transport, Speicherung, Einsatz und Verbrauch bis hin zur Entsorgung.

WINDENERGIEANLAGEN

Die Nutzung der Windenergie ist ein wichtiges Forschungsgebiet, um einen zunehmenden Anteil der Energieversorgung durch erneuerbare Energien abdecken zu können. Während für den Einsatz von Windenergieanlagen an Land bereits erste konsolidierte Kenntnisse zu Bauweisen, Betrieb und Lebensdauer für viele Komponenten bestehen, liegen die zukünftigen wesentlichen Herausforderungen in der Nutzung der Windenergie auf See. Derzeit werden Offshore-Windparks geplant, errichtet und hinsichtlich einer Anbindung an das vorhandene Stromnetz erschlossen. Mit der Netzanbindung und dem Betrieb beginnt die zweite Phase der technischen und wirtschaftlichen Bewährung. Hier wird es entscheidend sein, dass sich die betriebsbegleitenden Kosten durch Instandhaltung und ggf. Austausch von Komponenten im Rahmen halten werden.

Die sicherheitstechnische Betrachtung von Windenergieanlagen als alternativer Energiequelle ist ein Forschungsthema der BAM an einem technischen System, das im öffentlichen Interesse steht. Vor al-

lem unter dem Aspekt der extrem hohen Lastspielzahlen und überlagernd einwirkender korrosiver Beanspruchungen wird auch im Hinblick auf die Schadensinitiierung und Schädigungsmechanismen wissenschaftliche Aufklärungsarbeit zu leisten sein. Neben der Materialauswahl und der Herstellung der Komponenten für Windenergieanlagen sind die betriebsbedingten Alterungsmechanismen wie mechanische, thermische und umweltbedingte Belastungen relevant für den sicheren Betrieb der Anlagen. Hierzu sind Konzepte für die Betriebsfestigkeit und Integritätsbewertung unabdingbar. Einflüsse und Belastungen, die das mechanische Verhalten der Komponenten wie z.B. Rotorblätter, Tragstruktur, Getriebe und geotechnische Gründung von Windenergieanlagen beeinflussen, sind komplexer Natur und müssen im Alterungsmanagement berücksichtigt werden.



Abbildung 3: Teil eines Rotorblattes einer Windenergieanlage im Prüfstand zur Untersuchung des Betriebsfestigkeits- und Schädigungsverhaltens unter Schlag- und Schwenklast.

Aktuelle Forschungsthemen der BAM betreffen besonders die extrem belasteten Trag- und Gründungsstrukturen sowie die Rotorblätter von Offshore-Windenergieanlagen. Für die Rotorblätter werden Abschätzungen zur Betriebsfestigkeit von Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoffen unter Berücksichtigung hygro-thermomechanischer Einwir-

kungen benötigt, um Konzepte zur Bewertung der Werkstoffe in der Lebensdauerbetrachtung unter den speziellen Bedingungen auf See zu entwickeln. Für die Schadensfrüherkennung und Zustandsüberwachung bedarf es neuartiger bzw. angepasster zerstörungsfreier Prüfverfahren, welche unter Offshore-Bedingungen einsetzbar sind. Getriebe, Wellen und Lager stellen den wesentlichen maschinenbaulichen Teil einer Windenergieanlage dar. Für die Beanspruchungen mit großen Amplitudenwechseln und drehenden Hauptachsen, gepaart mit dem Umwelteinfluss auf Material und Schmiermittel, sind neue Konzepte zur Betriebsfestigkeit und Lebensdauerbewertung notwendig. Die Verbindung von Tragstruktur und Pfahlgründung wird bei Offshore-Anlagen in der Regel durch das Einpressen von hochfestem zementgebundenen Mörtel geleistet, um die auf die Konstruktion einwirkenden statischen und dynamischen Kräfte sicher in die Gründung abzutragen. Die Qualität, Integrität und somit die Lebensdauerabschätzung dieser Bauteilverbindung ist derzeit in-situ nicht sicher festzustellen. Für die Betrachtung dieser stofflichen und Bauwerksparemeter sollen daher Monitoring-Systeme und Modelle zur Lebensdauerbewertung entwickelt werden.

SOLARANLAGEN

Forschungsthemen im Bereich der Solaranlagen konzentrieren sich vornehmlich auf das Brandverhalten. Dabei werden die Entwicklung von toxikologisch relevanten gasförmigen Verbindungen und Aerosolen während des Brandes sowie die mechanische Integrität und Feuerwiderstandsfähigkeit von Photovoltaik-Modulen betrachtet. Interessante Aspekte ergeben sich derzeit auch aus Untersuchungen zu witterungsbedingten Einflüssen in Kombination mit Biofilmen auf der Oberfläche von Solarpanelen, die zu einem dauerhaften Verlust des Wirkungsgrades führen können.

BIOGASANLAGEN

Für Biogasanlagen müssen aufgrund der sehr komplexen und heterogenen Gasgemische zunächst stoffliche Kennwerte ermittelt werden. Weiterhin sind Gefährdungsszenarien wie Brand und Explosion für solche Anlagen zu betrachten. Einen nicht unerheblichen Teil der Forschung nimmt dabei die Entwicklung einer validierten Gasanalytik und in-situ Gassensorik ein.

SPEICHERUNG

Aufgrund des variablen Anteils unterschiedlicher Quellen an der Energieerzeugung werden Technologien zur Energiespeicherung an Bedeutung gewinnen. Bekannte und neue Batterietechnologien werden an der BAM besonders sicherheitstech-

nisch untersucht, um das Brandverhalten und eine Selbstentzündung in neuen Anwendungsszenarien bei Großbatterieanlagen und beweglichen Batteriesystemen zu charakterisieren. Wasserstoff könnte durch eine „Power-to-Gas“-Umwandlung durch Elektrolyse zu einem wichtigen Speichermedium werden. Dazu müssen die Systemeigenschaften der Elektrolysezelle sowie die Prozessschritte sicherheitstechnischen Betrachtungen unterzogen werden. Für eine Nutzung der vorhandenen Erdgasinfrastruktur zur Einspeisung von Wasserstoff gilt es eine Vielzahl von materialtechnischen Fragestellungen und präventiven Maßnahmen zur Minimierung von Störfällen zu klären, aber auch grundlegende stoffliche Kennwerte zu ermitteln. Die BAM beschäftigt sich insbesondere mit den Themen Gasmessung und Verteilung, Sicherheit von Gasregel- und Schutzrichtungen, sicherheitstechnische Eigenschaften der Gasgemische bei Prozessbedingungen, Material-, Dichtungs- und Permeationsuntersuchungen, Störfallsimulationen und wasserstoffinduzierte Korrosion.

WASSERSTOFF

Der Einsatz von Wasserstoff als alternativem Energieträger wird intensiv diskutiert und untersucht. Technische Anwendungen reichen von Brennstoffzellen über Verbrennungsmotoren bis hin zur Energieversorgung von Gebäuden. Unter diesen Voraussetzungen muss neben den eigentlichen Anwendungen auch die entsprechende sichere Infrastruktur, wie z. B. Versorgungsleitungen und Speicherbehälter, entwickelt werden. Weitere Fragen ergeben sich aus der Werkstofftechnik, d.h. der Betrachtung der sicherheitstechnisch relevanten Folgen der Wechselwirkung von Wasserstoff mit den verwendeten Werkstoffen. Untersuchungen zur Degradation metallischer Werkstoffe und von Polymerwerkstoffen durch Wasserstoff konzentrieren sich auf das Wasserstoffabsorptionsverhalten und die Änderungen der mechanischen Eigenschaften. Neue Fragestellungen ergeben sich auch durch eine tribologische und korrosive Beanspruchung von Oberflächen in Wasserstoffumgebung.

Die BAM hat Forschungsaktivitäten im Bereich der Verfahrenstechnik beim Explosionsschutz und der Speicherung von Wasserstoff aufgenommen. Für eine sichere Speicherung bzw. einen sicheren Transport von Wasserstoff ist es erforderlich, Verfahren für eine Lebensdauervorhersage entsprechender Behälter zu entwickeln. Ein entscheidendes Problem neuer Wasserstofftechnologien ist die gewichtsarme und sichere Speicherung ausreichender Mengen an Wasserstoff insbesondere für die Nutzung bei tragbaren oder mobilen Anwendungen.



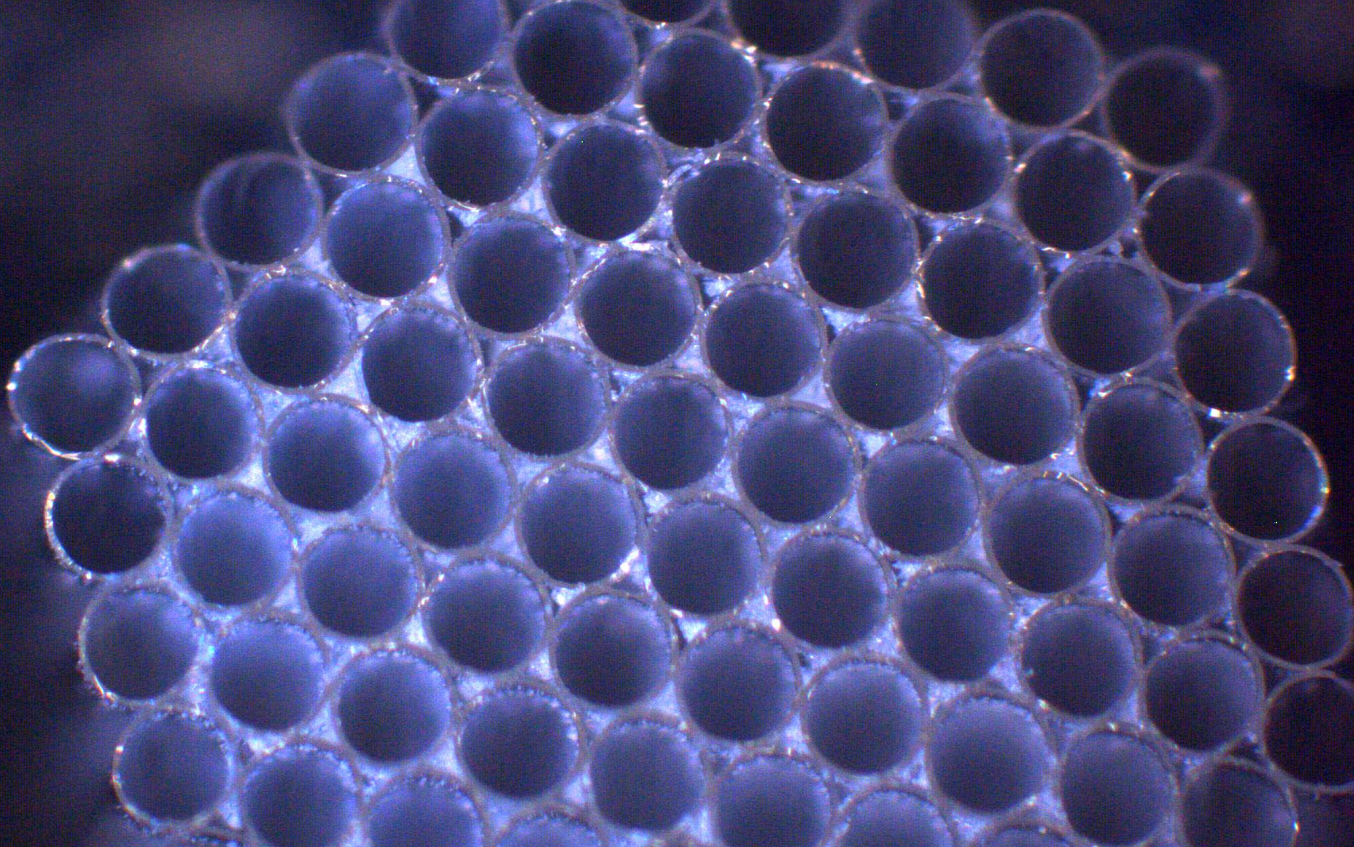


Abbildung 4: Wasserstoff-Speicherung in Glas-Kapillaren. Ein Array besteht aus 91 Rundkapillaren.

Die BAM entwickelt und erprobt eine neue und innovative Technologie basierend auf gebündelten Glaskapillaren zur sicheren Speicherung und Lagerung von Wasserstoff sowie dessen kontrollierter Freisetzung.

GEOTHERMIEANLAGEN

Die Geothermie ist als alternative thermische Energiewandlungstechnik als kontinuierliche Energiequelle für die Grundlastversorgung geeignet. Im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten der BAM zur Geothermie stehen die Korrosionsbeständigkeit der Komponenten sowie Untersuchungen zu potentiellen Leckagen und dem möglichen Eindringen von geothermale Wasser in Trinkwasser-führende Schichten. Geothermische Anlagen enthalten Komponenten wie Dampfturbinen und Heißdampfleitungen, die auch in thermischen Anlagen verwendet werden. Geothermische Dampfturbinenanlagen in Deutschland werden nicht mit ungefährlichem Wasserdampf betrieben, sondern mit niedrig siedenden Flüssigkeiten, wie z.B. Ammoniak. Für die eingesetzten Materialien müssen neue Verfahren zur Prüfung der kombinierten Beanspruchung aus Arbeitstemperatur, Arbeitsmedium und mechanischer Belastung entwickelt werden. Parallel erfolgen dazu auch Arbeiten für die sensorische Überwachung der entsprechenden Bohrlöcher.

KONVENTIONELLE KRAFTWERKSANLAGEN

Ein zentrales Thema zur Gewährleistung der Sicherheit von Energiegewinnungsanlagen und der dabei

ablaufenden technischen Prozesse ist die Prüfung der einzelnen Komponenten und ihrer Bauteile unter möglichst prozessnahen Bedingungen. Thermische Kraftwerke können je nach Typ des Kraftwerks die Grundlastversorgung und die Spitzenlast übernehmen. Der stetig wachsende Energiebeitrag regenerativer Quellen wie Wind und Sonne führt zu einem lastflexibleren Betrieb konventioneller Kraftwerke. Die starken wetterbedingten Schwankungen der eingespeisten Leistung erneuerbarer Energie müssen aktuell noch von konventionellen Kraftwerken mit schnellen Reaktionszeiten ausgeglichen werden. Die Betriebssicherheit und stetige Verfügbarkeit konventioneller Kraftwerke bei hoher Lastflexibilität ist daher wichtig für die Versorgungssicherheit im Verlauf der deutschen Energiewende.

Zur Steigerung des thermischen Wirkungsgrades werden konventionelle thermische Kraftwerke bei erhöhten Temperaturen von etwa 700 °C erforscht. Durch die Kombination aus einerseits hohen Temperaturen und andererseits lastflexiblem Betrieb werden neue Anforderungen an Werkstoffe, Bauteile und Fügeverbindungen gestellt. Die BAM entwickelt daher ein Konzept zur Prüfung von Werkstoffen und Komponenten wie Wärmetauschern, Rohrbögen oder Rohrabzweigungen von Hochtemperaturkraftwerken bei flexiblem Lastbetrieb, um Aussagen zur Beanspruchbarkeit, dem Schädigungszustand und der Betriebsfestigkeit solcher Komponenten zu treffen.

Dampfkraftwerke mit einer Einspritztemperatur über 700 °C und mit 350 bar Druck können höhere Wirkungsgrade erreichen. Für die Auslegung und die betriebliche Überwachung von Druckteilen sind neue Methoden erforderlich. Eine variable Qualität des globalen Energieträgers Kohle erfordert angepasste Feuerungs- und Dampferzeugertechnologien inklusive Monitoringsystemen, um eine optimale Verbrennung zu erreichen. Neue Nickel-Basis-Legierungen sind selbst bei hohen Temperaturen extrem beständig, bedürfen aber der Entwicklung von neuen Prüfmethode für diese Bedingungen. Damit verbunden ist die Forderung nach einem qualifizierten Nachweis der Langzeitbeständigkeit hinsichtlich Korrosion, Festigkeit und Verformungsfähigkeit dieser Strukturwerkstoffe. Die Ultraschallprüfung an Schweißverbindungen oder gegossenen Komponenten aus Nickellegierungen wird für höhere Temperaturen weiterentwickelt werden müssen. Mit einer optimierten Prozessauslegung sowie verbesserten Dampferzeugern und -turbinen sind CO₂-Minderungen gegenüber heutigen Anlagen von ca. 30 Prozent möglich. Die Wirkungsgrade sind ebenfalls notwendig, um einen erfolgreichen Einstieg in eine CO₂-freie Energieerzeugung fossiler Anlagen mittels Carbon Capture and Storage (CCS)-Technologien zu ermöglichen. Daneben rücken Fragen der Betriebsfestigkeit bei Laufzeitverlängerung von

konventionellen thermischen Kraftwerken in den Mittelpunkt. Mit Blick auf die Sicherheit werden parallel dazu Untersuchungen zur Technologie der CO₂-Abscheidung, des CO₂-Transports und der CO₂-Speicherung durchgeführt.

TRANSPORT- UND LAGERBEHÄLTER FÜR RADIOAKTIVE STOFFE

Zu einer nachhaltigen Energiewende gehören auch weiterhin der Transport und die Lagerung von radioaktiven Materialien. Durch die Verlängerung der Zwischenlagerzeiten wird der Einfluss von Alterungsmechanismen auf die Sicherheit der Behälter an Bedeutung gewinnen. Dies erfordert eine stetige Weiterentwicklung der Prüfmethode, insbesondere auf den Gebieten der numerischen Simulation und der Versuchs- und Messtechnik. Die Untersuchungen an Dichtungssystemen und Dichtringwerkstoffen zum Alterungsverhalten bei thermischen und mechanischen Belastungen sind genauso Schwerpunkte dieser Forschungsarbeiten, wie die Untersuchungen zum Alterungsmanagement wie zur Langzeitbeständigkeit und zum Langzeitverhalten von Behälterkomponenten unter Berücksichtigung mechanischer, thermischer, chemischer, korrosiver und radiologischer Lasten während des Behälterbetriebes.

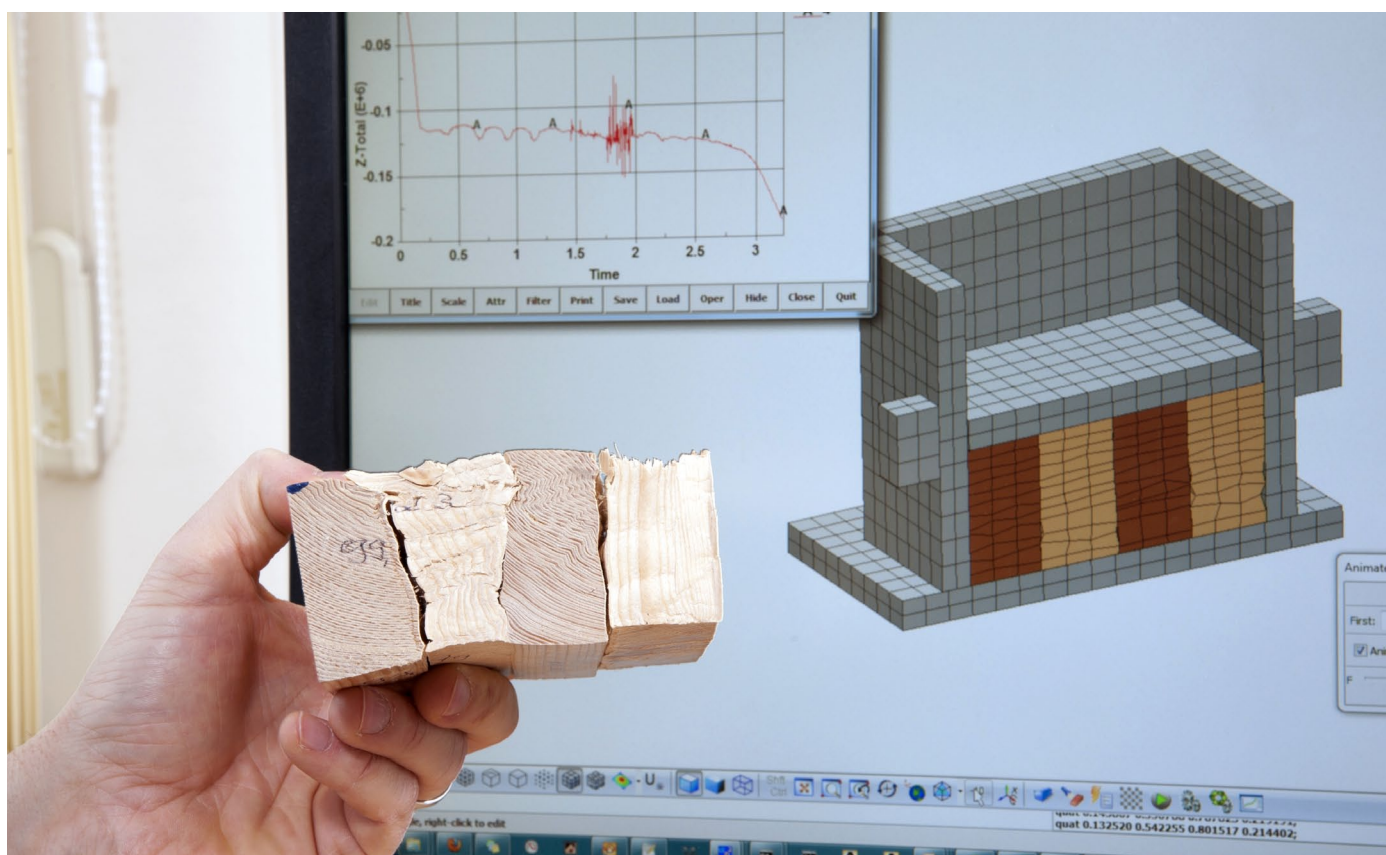


Abbildung 5: Vergleich der Ergebnisse der Stauchversuche einer Schichtholzprobe als Stoßdämpfer für Transportbehälter mit einer numerischen Simulation.

THEMENFELD INFRASTRUKTUR

Eine gut ausgebaute, sichere und jederzeit verfügbare technische Infrastruktur von Industrieanlagen, Bauwerken, Versorgungssystemen und -wegen ist ein zentraler wirtschaftlicher Standortfaktor. Durch Veränderungen in der Gesellschaft und Wirtschaft mit neuen Technologien und Standortentwicklungen sowie durch die anhaltende Zuwanderung in urbane Gebiete und ein sich änderndes Mobilitätsverhalten werden kontinuierlich neue Anforderungen an die technische Infrastruktur gestellt. Aufgrund der neuen Erfordernisse und der Überalterung vorhandener Infrastrukturen ergeben sich vielfältige Herausforderungen für den sicheren Betrieb und den Erhalt der technischen Infrastruktur.

Im Themenfeld Infrastruktur betrachtet die BAM die technische Zuverlässigkeit, Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Infrastruktursystemen und -komponenten einschließlich aller Verkehrsträger. Der Stofftransport durch Versorgungsleitungen sowie die Sicherheit von Gefahrguttransporten auf allen Verkehrswegen (Straße, Schiene, Luft- und Wasserwege) sind dabei wichtige Themen.

SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM BEREICH INFRASTRUKTUR

Die Forschungsaktivitäten der BAM konzentrieren sich im Themenfeld Infrastruktur auf die Entwicklung und den Einsatz technisch-wissenschaftlicher Methoden zur Gewährleistung der Sicherheit der technischen Infrastruktur. Zur technischen Infrastruktur zählen die Einrichtungen zur stofflichen Ver- und Entsorgung, Bauwerke, das Verkehrswesen mit Personen- und Gütertransport, die Energieversorgung sowie die Kommunikationstechnik.

Eine Fokussierung der Aktivitäten im Themenfeld Infrastruktur erfolgt unter Berücksichtigung der zukünftigen Herausforderungen der Infrastrukturentwicklung in den Bereichen Alterungsmanagement technischer Infrastruktur, Bewertung von Anlagen und Transport- und Lagerbehältern für Gefahrgüter sowie Bewertungskonzepte für starke Belastungen und Beanspruchungen von baulichen Strukturen sowie Brand- und Explosionsszenarien. Dabei baut die BAM auf der Expertise und den laufenden Aktivitäten bei technischen Untersuchungen komplexer Beanspruchungen von Materialien, Komponenten und Bauwerken oder der sicherheitstechnischen Begutachtung von Gefahrgütern, Behältern und Anlagen auf.

ZUSTANDSERFASSUNG UND MONITORING

In allen Bereichen der Infrastruktur wird modernes Alterungsmanagement begleitet von entsprechenden Prüfmethoden und intelligentem Monitoring. Simulation und Modellbildung tragen zur Abschätzung von Lebens- und Gebrauchsdauer und den damit verbundenen Risiken sowie zur Instandhaltung von Infrastrukturanlagen bei. Schwerpunkte bei der Integration von Monitoringsystemen in Bauwerke sind die Entwicklung von Verfahren zur automatischen Analyse von langfristigen Messreihen hinsichtlich der frühzeitigen Erkennung und Verfolgung von Zustandsänderungen und Schäden, sowie eine Bewertung dieser Informationen mit dem Ziel, belastbare Aussagen für die Betreiber oder Eigentümer von Bauwerken und Anlagen zu gewinnen. Bei den Verfahren steht die Schadensentdeckung und -lokalisierung durch zuverlässige Methoden der zerstörungsfreien Prüfung und der Strukturbewertung im Vordergrund.

Schwerpunkt zahlreicher Aktivitäten der BAM zur Bauwerksbewertung ist die aktuelle Zustandsanalyse durch in-situ Bauwerks- und Laboruntersuchungen, ergänzt durch theoretische und rechnerische Analysen der Resttragfähigkeit. Die Forschungsschwerpunkte liegen dementsprechend sowohl auf der Verfahrensentwicklung zur Schadensanalyse als auch auf der Verbesserung der theoretischen Bewertungsverfahren, beispielsweise für Brückenbauwerke und Rohrleitungen.

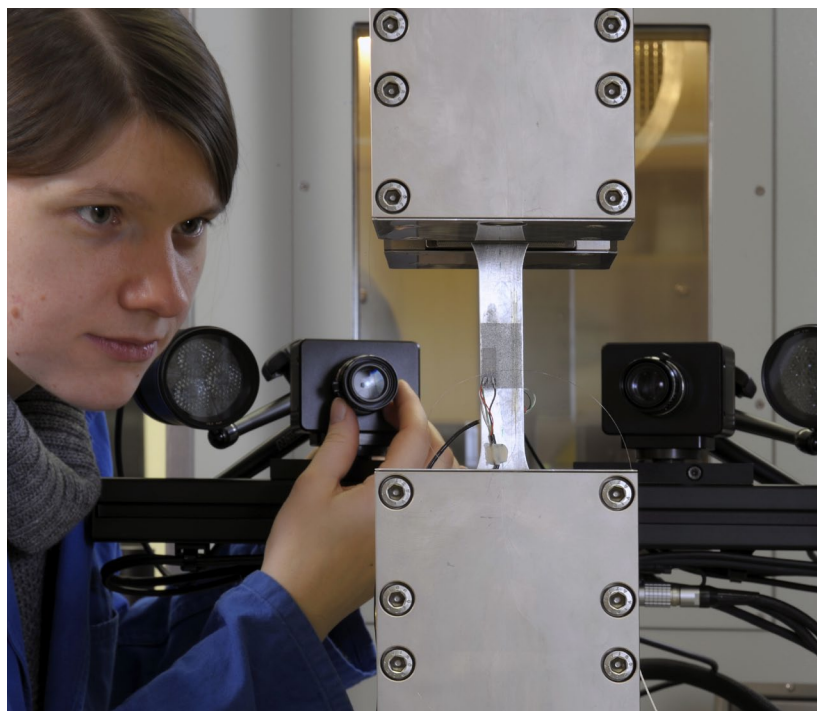


Abbildung 6: Kalibrierung von faseroptischen Sensoren zum Monitoring von Infrastrukturbauwerken.

Durch ein geeignetes lebensdauerbegleitendes Monitoring können in vielen Fällen die tatsächlich einwirkenden Beanspruchungen selbst oder auch die Auswirkungen dieser Beanspruchungen in Form von Dehnungen oder Schwingungen erfasst werden. Auf Grundlage dieser Messwerte kann bei bekanntem, zeit- oder lastabhängigem Schädigungsverlauf eine jeweils aktualisierte Restlebensdauer bestimmt werden. Darüber hinaus können auf Basis der Messwerte optimierte Instandhaltungskonzepte formuliert werden. In vielen Fällen kann auch eine geeignete Kombination aus Monitoring und Inspektion oder einmaliger Tests sinnvoll sein, z. B. bei prinzipiell bekannten und durch Monitoring erfassbaren Schädigungsmechanismen, deren quantitativer Verlauf aufgrund von Umwelt- oder sonstiger Einflüsse unterschiedlich ausfallen kann.

Neben den Konzepten zur Restlebensdauerprognose existiert auch die Möglichkeit die Restlebensdauer ohne weitere Abschätzung über das rechnerische Lebensdauerende hinaus zu erhöhen, indem installierte Sensorik eine automatische Schädigungsüberwachung am Bauwerk übernimmt. Eine solche neue Überwachungsmethode könnte in Zukunft auf einer speziellen Anrissdetektionsbeschichtung für Stahl basieren, die von der BAM entwickelt wurde und in Kombination mit Überwachungskameras inzwischen in Laborversuchen erfolgreich genutzt wird.

Auf Grundlage der Kenntnisse über die Schädigungsmechanismen und der Bewertung ihrer Auswirkungen können geeignete Handlungsszenarien entwickelt und bewertet werden. Diese können unter anderem die Abschwächung der Schädigungsursache durch geeignete Gegenmaßnahmen auf der Einwirkungs- oder Widerstandsseite sein, z. B. Nutzungseinschränkungen, Dämpfer, Beschichtungen, die Instandsetzung der Struktur und Beseitigung der Schädigungsursache oder die Ertüchtigung der Struktur durch Umbau oder Verstärkung. Für die Entwicklung und Bewertung von Instandsetzungs- oder Ertüchtigungsmaßnahmen für reine Beton- oder Stahltragwerke liegen umfangreiche Erfahrungen vor. Die Untersuchung und Bewertung ertüchtigter und damit strukturell veränderter Bauteile hinsichtlich ihrer Restlebensdauer ist jedoch ein noch weitgehend offenes Feld und daher Gegenstand intensiver Forschung der BAM.

VERKEHRSINFRASTRUKTUR

Unsere moderne Gesellschaft erwartet die umfassende Gewährleistung von sicherer Mobilität. Hieraus entsteht ein unmittelbarer Anspruch an die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit unserer Verkehrsinfrastruktur. Im Bereich der Verkehrswege verfolgt

die BAM Forschungsaktivitäten zur Straße, Schiene und Wasserwegen. Insbesondere steht hierbei auch der Gefahrguttransport auf allen Verkehrswegen im Vordergrund. Zusätzlich wird die Sicherheit von Verkehrswegen im Hinblick auf Temperatur, Rauch- und Giftstoffausbreitung im Brandfall, Schutzmaßnahmen gegen Stoß- oder Explosionsbeanspruchung und die Detektion von chemischen, biologischen, radiologischen, nuklearen oder explosiven Stoffen verfolgt.

Die schienengebundenen Verkehrsträger sind Systeme im fortgeschrittenen Nutzungsalter, die mit stetig steigenden Lasten und Geschwindigkeiten des modernen Güter- und Personenverkehrs in der zukünftigen Nutzung konfrontiert werden. Zum Schienenverkehr werden in Forschungsarbeiten der BAM insbesondere schottergebundene Gleisstragwerke, die Schwingungsausbreitung an Bahnstrecken und die Schwingungsdämpfung am Gleis betrachtet. Werkstoffseitig stehen hierbei die Sicherheit und die Diagnostik von Komponenten wie Schienen, Rädern und Schwellen im Fokus. Dies gilt insbesondere, wenn besondere Risiken mit dem Betrieb verbunden sind, wie sie z.B. im Hochgeschwindigkeitspersonenverkehr oder bei Gefahrguttransporten auftreten. Die Abschätzung der Lebensdauer einer Radsatzwelle und damit der sichere Betrieb eines Schienenfahrzeuges geschehen auf Basis eines komplexen Systems aus Materialauswahl, Geometrie, Lastprofil, zerstörungsfreier Prüfungen und Analyse von Schadensfällen. Durch eine Erweiterung von Simulationstechniken zur Fahrzeug-Fahrweg-Wechselwirkung können Komponentenbeanspruchungen auch in Kombination mit sekundären Eigenschaften wie Erschütterungen, Lärm und Fahrkomfort bewertet werden. Durch eine interdisziplinäre Betrachtung aller entscheidenden Faktoren unter anderem durch Schadensuntersuchung, Bruchmechanik und zerstörungsfreie Prüfung, kann eine Optimierung der Vorhersage des sicheren Betriebs und der Lebensdauer erreicht werden.

MOBILITÄT: GASFAHRZEUGE

Durch zunehmende Erdölverknappung und stetig steigende Kosten ist seit einigen Jahren ein Wachstum der Zulassungszahlen an gasbetriebenen Fahrzeugen zu verzeichnen. Hierbei wird neben unter Druck verflüssigtem Gas und Erdgas auch Wasserstoff eine immer größer werdende Rolle zuteil. Die stetig steigende Anzahl von Gasfahrzeugen führt zu der Notwendigkeit der Betrachtung und Vorbeugung möglicher Probleme, die vor allem bei der Benutzung von Garagen und Parkhäusern auftreten können. Hier kann es bei Brandbelastung oder aus-



tretemdem Gas zu erhöhten Gefährdungspotentialen kommen. Die Art des als Kraftstoff verwendeten Gases führt zu unterschiedlichen Gefahrenquellen und Ausbreitungsszenarien. Leckagen eines Gastanks bei einem oder mehreren Fahrzeugen in Garagen und Parkhäusern können bei entsprechender Ausbreitung und Zündung der Gasgemische erhebliche Schäden an der Gebäudestruktur hervorrufen. Insbesondere bei Einrichtungen in zentraler Lage ist durch Simulation zu prüfen, welche Maßnahmen wie Lüftungsanlagen oder Gaswarnanlagen einer Beschädigung entgegenwirken können. Die Forschungsarbeiten konzentrieren sich dabei auf die Auswirkungen des Versagens von Gasbehältern für alternative Treibstoffe in Fahrzeugen unter Berücksichtigung komplexer Brand- und Explosionsszenarien.

GEFAHRGUTTRANSPORT

Mit ihren Tätigkeiten im Bereich des sicheren Umgangs mit Gefahrstoffen und Gefahrgütern leistet die BAM einen wesentlichen Beitrag zur Beherrschung der Gefahren und Risiken, die von explosiven, brennbaren, radioaktiven und anderweitig in gefährlicher Weise reaktionsfähigen Stoffen und Stoffsystemen ausgehen können. Berücksichtigt wird dabei neben der Untersuchung und Bewertung sicherheitstechnischer Eigenschaften von Stoffen und Stoffgemischen insbesondere die sichere Umschließung dieser Substanzen. Der notwendige Einsatz von Gefahrstoffen birgt auch die Gefahr eines Missbrauchs, beispielsweise im Rahmen terroristischer Anschläge. Hier arbeitet die BAM an

der Entwicklung technischer Möglichkeiten zur Erkennung von Sprengstoffen und der Untersuchung der Auswirkungen von Explosionen auf Gebäudefassaden.

Durch eine intelligente Verknüpfung von Transportgütern mit Überwachungssystemen beispielsweise mittels RFID (radio frequency identification), Transpondertechnologie und Verkehrstelematik lässt sich die Überwachung von Gefahrguttransporten verbessern.

Bei Nutzung von RFID-Systemen mit kombinierter Sensorik eröffnen sich Möglichkeiten, den Zustand des Gefahrguts und der Umschließung zu überwachen. Durch die sensorische Messung von Umgebungsparametern, wie z. B. Temperatur, Luftfeuchte und Verkipfung, lässt sich die Sicherheit von Gefahrguttransporten weiter erhöhen. Durch die Vernetzung mit der BAM-Datenbank „GEFAHRGUT“, die Stoff- und Sicherheitsinformationen bereitstellt und wodurch die Ladung hinsichtlich der Zusammenladeverbote überprüft sowie die erforderlichen Beförderungspapiere automatisch erstellt werden können, wird die Sicherheit und damit der wirtschaftliche Nutzen dieser intelligenten Großpackmittel zusätzlich gesteigert.

RISIKOANALYSE

In vielen Bereichen der Wirtschaft ist eine Risikoanalyse für den sicheren Betrieb oder die sichere Verwendung technischer Produkte erforderlich, die üblicherweise auf einer Beurteilung der Eintritts-

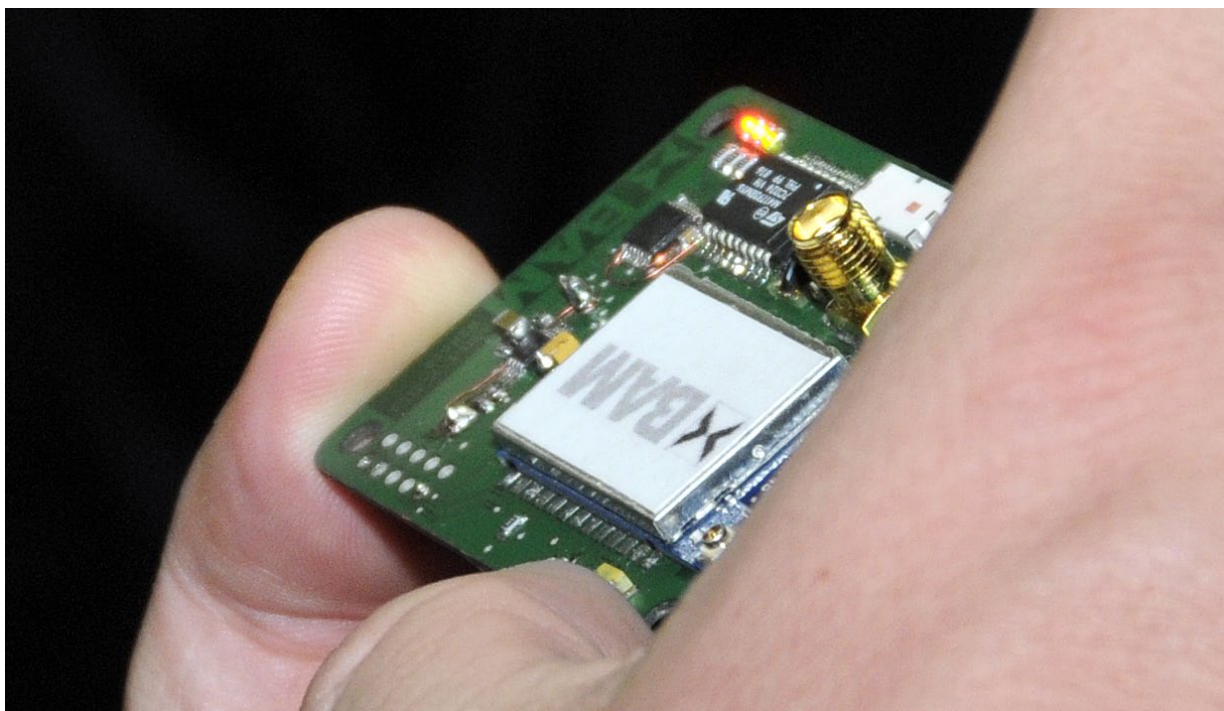


Abbildung 7: CBRNE-Sensoren: Detektionssysteme für chemische, biologische, radioaktive, nukleare und explosive Gefahrstoffe.

wahrscheinlichkeit eines Versagens, eines Schadens oder eines unerwünschten Ereignisses und einer Abschätzung des resultierenden Ausmaßes oder der Schwere der Folgen beruht. Die mögliche Forderung nach einer quantitativen Risikoanalyse betrifft insbesondere die chemische Industrie und hier im Wesentlichen die Anlagensicherheit und den Gefahrguttransport. In beiden Fällen handelt es sich um Kernkompetenzbereiche der BAM. Im Vordergrund der Forschungsarbeiten der BAM auf diesem Gebiet stehen dabei die Risikobewertung für die Routenplanung von Gefahrguttransporten und die quantitative Risikoanalyse für verfahrenstechnische Anlagen.

EXTREMBEANSPRUCHUNGEN

Neue Nutzungsszenarien der vorhandenen Infrastruktur haben neue Extrembelastungen zur Folge. Aufgrund wachsender Anforderungen der Gesellschaft werden höhere Ansprüche an Anlagen und Maschinen gestellt. Wenn Lastfälle auftreten, die nicht in der ursprünglichen auslegungsrelevanten Lastannahme enthalten waren, ist das Risiko eines Bauteilversagens grundsätzlich nicht mehr kalkulierbar. Aktuelle Fragestellungen sind daher, ob Strukturen einer auslegungsüberschreitenden Last ausgesetzt werden können, ohne dass sie funktionsuntüchtig werden oder eine Gefahr von ihnen ausgeht und wie lange eine Struktur einer solchen Last ausgesetzt werden kann, bis sie versagt. Ein weiteres Forschungsgebiet aus dem Bereich der Extrembeanspruchungen umfasst die Erforschung dynamischer Beanspruchungen (z.B. infolge Verkehr, Maschinenschwingungen oder Explosionsszenarien) und deren Auswirkungen auf Bauteile, Systeme, Anlagen und Bauwerke. Schwerpunkte der Forschungsarbeiten sind Bauwerk-Boden-Wechselwirkungsmodelle für eine erschütterungsresistente Gründungsauslegung sicherheitsrelevanter Infrastruktur (Kraftwerke, Autobahnbrücken), in-situ Messungen zur Beurteilung der Zuverlässigkeit existierender Bauwerke, die Entwicklung energieverzehrender Elemente und Bauteile zur Verringerung des Schadensausmaßes und Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Isolations- und Dämpfungskomponenten unter dynamischer Beanspruchung.

Die hochdynamische Beanspruchung technischer Infrastruktur hat in der öffentlichen Wahrnehmung mittlerweile einen festen Platz eingenommen. In der früheren Vergangenheit wurden bei terroristischen Sprengstoffanschlägen hauptsächlich herkömmliche Explosivstoffe verwendet. Durch vielfältige Bestrebungen zur Rückverfolgbarkeit dieser Explosivstoffe wird die Verwendung immer unwahrscheinlicher. Gleichzeitig verzeichnet die Kriminalstatistik eine

Zunahme der missbräuchlichen Verwendung von Pyrotechnik. Abseits von terroristischen oder anderweitig kriminellen Anschlägen ergibt sich auch die Notwendigkeit der Bewertung von Infrastrukturen im Falle eines Ereignisses in der Sprengstoff- und pyrotechnischen Industrie, um einen größtmöglichen Schutz zu gewährleisten. Die BAM adressiert diese Fragestellungen durch Untersuchungen zum Verhalten von Werkstoffen und Bauteilen bei hochdynamischen Beanspruchungen, die sowohl Modell- als auch 1:1-Versuche umfassen und bei denen die erwartete Belastung hauptsächlich in Form von Sprengwirkungen auf das Bauteil gebracht wird. Die Forschungsarbeiten konzentrieren sich dabei auch auf numerische Simulationen dieser Vorgänge mit dem Ziel, Abschätzungen und Voraussagen zu den Belastungen und Auswirkungen zu treffen.

BRAND- UND EXPLOSIONSSZENARIEN

Die Vorhersage von Brand- und Explosionsszenarien sowie die quantitative Risikoanalyse werden innerhalb der BAM in dem Schwerpunkt „Fire Science“ bearbeitet. Die BAM betreibt in diesem Bereich Forschung über mehrere Größenordnungen hinweg, d.h. vom Großfeuer bis zu den molekularen Wirkmechanismen von Flammenschutzmitteln. Dabei lassen sich die Aktivitäten grob in drei Bereiche untergliedern: Industrielle Brandereignisse, komplexe Brandereignisse und das Brandverhalten reaktionsfähiger Stoffe und Stoffsysteme.

Brände von komplexen Strukturen wie Industrieanlagen mit zahlreichen Brandherden werden betrachtet, um Szenarien mit komplexen Großbränden zu modellieren. Forschungsarbeiten im Bereich komplexer Brandereignisse setzen sich mit heterogenen Brandquellen oder Szenarien mit unterschiedlichen Ereignissen wie Explosion und Feuer auseinander. Dazu gehören Fragen der Selbstentzündungsvorgänge in Gasen und Feststoffen und Staub- oder Sprengstoffexplosionen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Charakterisierung von stofflichen Systemen wie reaktionsfähigen Stoffen und Stoffsystemen, dem Flammenschutz von Polymerwerkstoffen und weiteren flammgeschützten Werkstoffsystemen sowie neuen und bestehenden Baustoffen und Verbundsystemen. Ebenso ist das Brandverhalten von brennbaren Feststoffen, z. B. Massenschüttgütern und Deponie- und Recyclingstoffen ein Forschungsschwerpunkt. Spezielle Betrachtungen werden Stoffen und Gegenständen, die Brandlasten in Bauwerken und Verkehrsmitteln darstellen, sowie der Definition realitätsnaher Lastfälle für die Brandbeanspruchung von Baustoffen und Bauteilen („Design Fires“) gewidmet.

Alle drei Schwerpunkte sind verknüpft mit Modellierungen und Simulationen der Brand-Struktur-Wechselwirkungen, der Entwicklung von Reaktionsmodellen und verifizierten Methoden für Brandszenarien in Gebäuden, Verkehrsanlagen und baulichen Anlagen der Industrie. Die Weiterentwicklung mathematischer Modelle zur Berechnung der Explosionsausbreitung in verfahrenstechnischen Anlagen mit weiterentwickelten Flammen- und Turbulenzmodellen ist der Schwerpunkt theoretischer Ansätze.

Die Verifizierung konstruktiver Schutzmaßnahmen gegen die Wirkungen von Bränden und Explosionen verlangt situationsangepasste, der praktischen Anwendung möglichst nahe kommende Untersuchungen zu ihrer Wirksamkeit. Entsprechende Forschungsarbeiten der BAM widmen sich zum Beispiel der Druckentlastung an Gefahrguttanks und der Vermeidung von Explosionen. Die komplexe Wechselwirkung chemischer und physikalischer Einflüsse beim Ablauf von Bränden und Explosionen lässt sich auch heute noch nur partiell erfassen. Das Verständnis ist jedoch Voraussetzung für einen wirkungsvollen Brand- und Explosionsschutz. Ziel der BAM ist deshalb die Weiterentwicklung des Instrumentariums von experimentellen Methoden

wie der Charakterisierung des Reaktionsverhaltens von Stoffen und von numerischen Werkzeugen zur Vorhersage der Brand- und Explosionsausbreitung in Bauwerken oder technischen Anlagen. Die BAM nutzt hierfür ihre einmaligen experimentellen Möglichkeiten des Freiversuchsgeländes BAM TTS in Horstwalde.



Abbildung 8: Brandversuch mit einem zu 20% mit Ethanol befülltem 2700 Liter Tank mit Sicherheitsventil im Feuer auf dem Brandprüfstand in Horstwalde auf dem BAM TTS.

THEMENFELD UMWELT

Im Themenfeld Umwelt betrachtet die BAM zum einen den Einfluss von Stoffen, Materialien und technischen Systemen auf die Umwelt und zum anderen die Schädigung und Alterung von Produkten und technischen Systemen durch Umwelteinflüsse. Die Kompartimente Wasser, Boden, Luft und Biota des Systems Umwelt sind durch zahlreiche komplexe Kreisläufe über die Phasengrenzen hinweg definiert. Die Transportpfade von Schadstoffen vom Material in die Umwelt sind von globaler Bedeutung, weil dem Erhalt des Wohlstandes und wirtschaftlichen Wachstums das Gebot zur Ressourcenschonung und ökologische Schutzziele entgegenstehen.

SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM BEREICH UMWELT

Die BAM-Aktivitäten im Themenfeld Umwelt umfassen Untersuchungen langfristiger Wechselwirkungen zwischen Materialien und Umwelt. An dieser Schnittstelle können dynamische Vorgänge zu einer Veränderung beider Systeme führen. Zum einen sollen von den Materialien möglichst keine schädigenden Einflüsse auf die Umwelt ausgehen. Andererseits sind die Materialien selbst Umweltein-

flüssen ausgesetzt, deren Auswirkungen betrachtet werden müssen und die wiederum selbst das Verhalten der Produkte in der Umwelt beeinflussen. Diese Fragestellungen gewinnen mehr und mehr an Bedeutung, denn es findet heute eine rasante Entwicklung neuer Materialien statt, um den Anforderungen für innovative Produkte gerecht werden zu können. Dabei muss sichergestellt sein, dass aus dem Einsatz der neuen Materialien keine Gefährdung für Mensch und Umwelt resultiert. Auch für die Akzeptanz neuartiger Materialien spielt neben Sicherheitsaspekten die Umweltverträglichkeit eine wesentliche Rolle. In den nächsten Jahren wird die BAM umfangreiche Forschungsarbeiten sowohl im Hinblick auf die sichere Verwendung als auch auf die Umweltverträglichkeit von Materialien durchführen.

Die BAM konzentriert sich im Themenfeld Umwelt auf Untersuchungen zur Beeinflussung der Biosphäre durch anthropogene Stoffe. Dazu gehören auch Arbeiten zur Schadstofffreisetzung durch Unfälle und zu diffusen Einträgen in Umweltkreisläufe, die an der Schnittstelle vom Material zum Boden, Wasser oder zur Atmosphäre entstehen. Im Bereich



Abbildung 9: Entwicklung eines validierten Verfahrens zur Bestimmung von Nanopartikel-Emissionen aus Druckern und Kopierern in der Luft.

der Lebensmittel haben neue Prozesse und Verarbeitungsmethoden einen Einfluss auf die Migration und Anreicherung von natürlichen Toxinen in Produkten, die für den Menschen relevant sind.

Die Spanne der betrachteten Stoffe geht dabei von Austrägen aus Bauprodukten über die Freisetzung eigenschaftsbestimmender Zusatzstoffe aus Alltagsgegenständen (Biozide, Flammschutzmittel, Weichmacher, Farbstoffe) bis hin zur weitgehenden Degradation von Materialien und ihrem Endpunkt in der Umwelt, wie es etwa bei der Bildung von Mikroplastik aus Kunststoffen der Fall ist. Weitere Forschungsschwerpunkte sind Ressourcenschutz, Recycling und Sekundärrohstoffe, die allein schon wegen der umgesetzten Massen von größter Relevanz sind. Zusätzlich werden die Auswirkungen von mikrobiologischen Prozessen wie Biokorrosion und Biofouling auf die sichere Umschließung von Stoffen und auf Konstruktionen und Anlagen betrachtet.

EMERGING POLLUTANTS

Neuartige Kontaminanten finden sich beinahe ubiquitär in allen Umweltmedien. Emerging Pollutants, Stoffe, die aus spezifischen Anwendungen in die Umwelt freigesetzt werden, dort aber als Schadstoffe wirken, nehmen zu. Typische Klassen von Emerging Pollutants sind Materialschutzmittel wie Biozide, Schwermetalle und Nanopartikel, dazu Pestizide, Industriechemikalien, Tenside, Inhaltsstoffe von Bedarfsgegenständen (Materialadditive wie Weichmacher, Flammschutzmittel, Farbstoffe), pharmazeutische Wirkstoffe und Hormone aus Medikamenten, Inhaltsstoffe der Personal-Care-Produkte und Toxine. Die Betrachtungen der BAM haben als Schwerpunkt nicht allein das Auftreten der Emerging Pollutants in der Umwelt, sondern die Untersuchung der Wirkungspfade.

Für die relevantesten dieser Stoffe und Bereiche gilt es, Hochdurchsatz-Methoden, aber auch eine zuverlässige Referenzanalytik zu entwickeln, die durch entsprechende Referenzmaterialien validiert werden kann. Schnelltests, die auch vor Ort durchgeführt werden können, ermöglichen ein Screening der aktuellen Belastungssituation. Emerging Pollutants haben in der Umwelt typischerweise Konzentrationen im Nanogramm/Liter-Bereich. Die geringen Konzentrationen in den unterschiedlichen Matrices stellen dabei große Herausforderungen an die Empfindlichkeit, Selektivität und Robustheit der Verfahren. Der Eintrag nanoskaliger Materialien in die Umweltkompartimente und nachfolgend in Lebensmittel erfordert neue Methoden der Anreicherung, Trennung und Charakterisierung der

Nano-Materialien. Aufgrund der Komplexität der Systeme ist vielfach zunächst der Nachweis einer anthropogenen Beeinflussung durch Indikatorsubstanzen („anthropogene Marker“) ausreichend. Die Vielzahl an möglichen Messgrößen macht die entsprechende Entwicklung von schnellen und einfachen Methoden mit einem hohen Durchsatz oder von online- und in-situ-Sensoren mit großer Selektivität und Robustheit zu einem wesentlichen Teilziel der Forschungsaktivitäten. Sensornetzwerke und autonome, robotische Systeme sind für die langfristige Überwachung von Zustandsänderungen an großflächigen Umweltsystemen ein weiteres Feld von Forschungsaktivitäten.

Aktuelle Forschungsarbeiten beschäftigen sich unter anderem mit der Freisetzung von polybromierten Flammschutzmitteln, polyfluorierten Tensiden und der endokrin wirksamen Verbindung Bisphenol A aus Werkstoffen und Produkten. Zuverlässige und hochsensitive Nachweisverfahren müssen weiterentwickelt werden, um überhaupt Daten zum Wirkradius der Materialien zu erhalten. Flüchtige und gut lösliche, polare Metaboliten müssen erfasst werden. In zeitraffenden Simulationen werden die Bedingungen ermittelt, welche zur Steigerung bzw. Reduktion der Austräge führen. Die Modellierung des Gesamtgeschehens führt dann zu einer Prüfmethode, welche es erlaubt, neue, verbesserte Materialien im Hinblick auf die freigesetzten Frachten sehr schnell zu beurteilen.

UMWELTVERTRÄGLICHKEIT

Um die Nutzungsdauer von Produkten und Materialien zu erhöhen, ist die systematische Erfor-

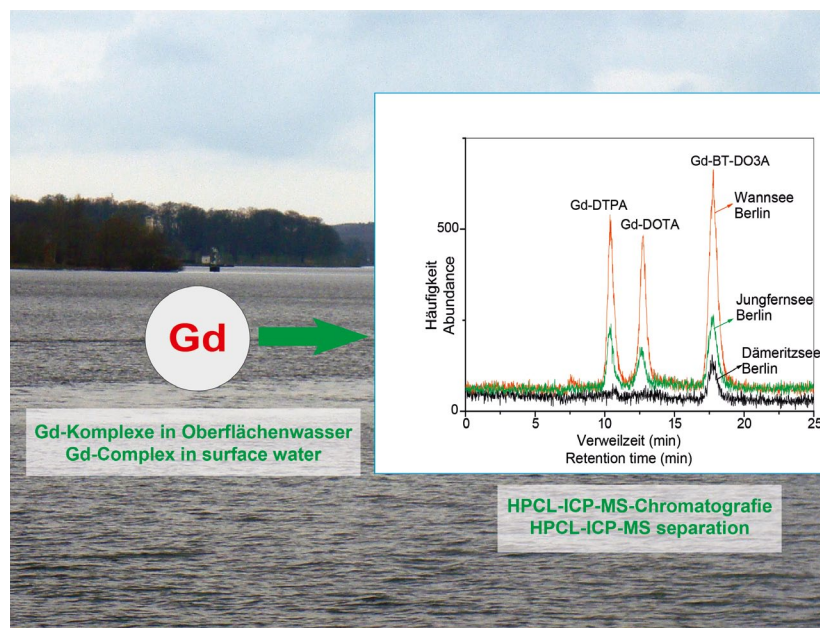


Abbildung 10: Bestimmung der Gadolinium-Konzentration in Oberflächenwasser.

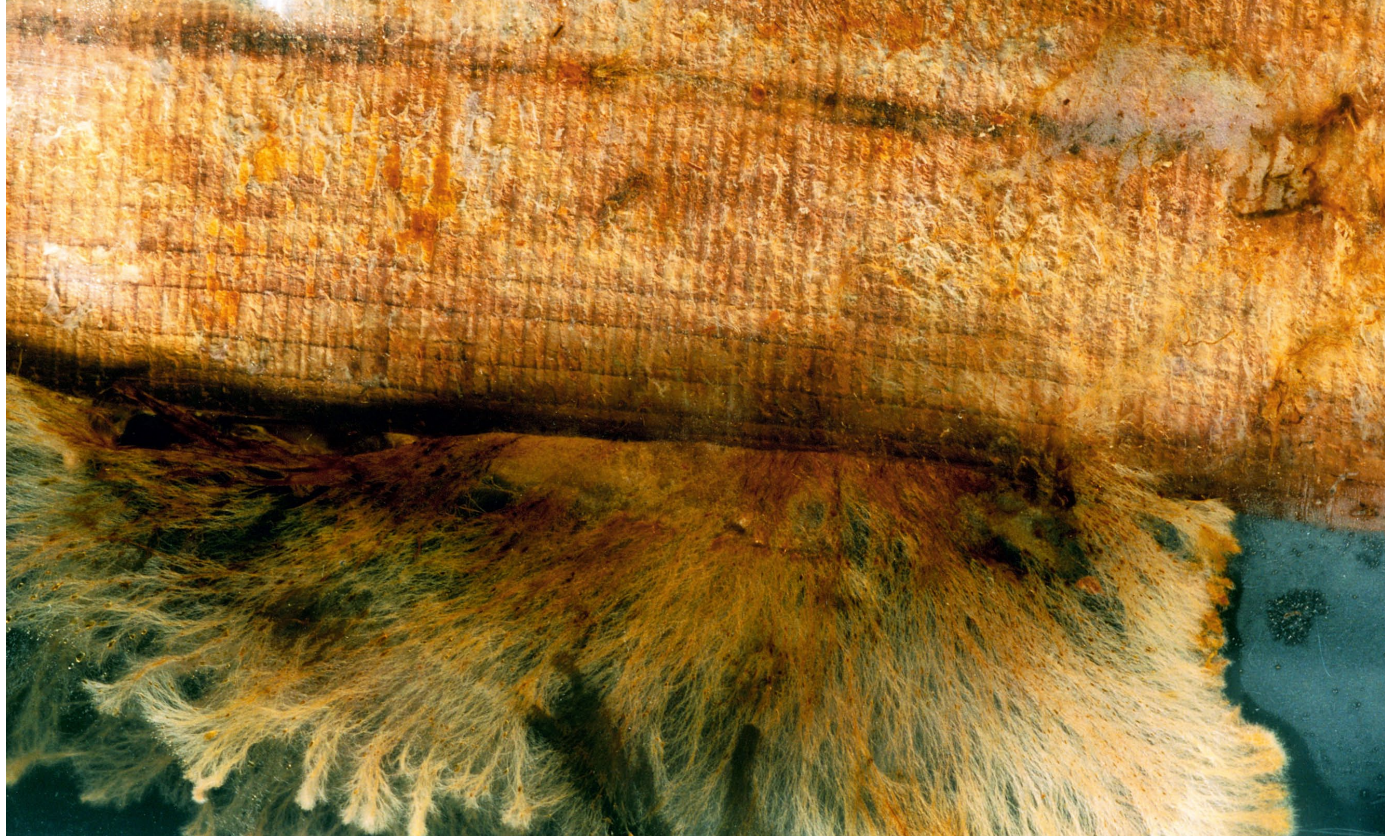


Abbildung 11: Pilzbefall an Holz.

schung der Degradations- und Alterungsmechanismen erforderlich, insbesondere unter Einbezug biologischer Materialschädigungsprozesse. Die Wechselwirkungen zwischen Material und Umwelt äußern sich in vielfältigen organischen, anorganischen und mikrobiologischen Ablagerungen an Materialoberflächen, strukturellen Modifikationen in tieferen Schichten des Materials und in Austrägen aus den Materialien. Zur Beurteilung von Materiallebensdauer und Versagensmechanismen sind beschleunigte und realistische Testverfahren notwendig, um durch Analyse der Schädigungsprozesse das Zusammenwirken physikalischer, chemischer und biologischer Ursachen („Biofilme“) zu simulieren und zu klären. Besondere Bedeutung haben Umweltsimulationen, die Boden, Wasser oder Luft in Betracht ziehen und damit die Emission und den Transport von Stoffen oder Partikeln aus dem Material in die Umwelt erfassen.

Vor diesem Hintergrund wird die Bildung von Mikroplastik aus polymeren Werkstoffen untersucht. Während sich die Forschung andernorts meist nur auf die Erfassung der Mengen an Mikroplastik und dessen Transportwege befasst, setzen die Untersuchungen der BAM an der Identität der Kunststoffe (PE, PP, PVC, Polystyrol, Polycarbonat) und an den Mechanismen an, die zur Bildung der entsprechenden Größenfraktionen führen. Mikroplastik kann die eigenschaftsbildenden Additive (z.B. Weichmacher) enthalten, weist aber durch seine veränderte Kontaktfläche andere Freisetzungsraten auf und wird durch die Umgebung auch anders beeinflusst

als das Bulkmaterial im Produkt, etwa im Hinblick auf die Besiedlung mit Bakterien und anderen Mikroorganismen.

Die Entwicklung von zeitraffenden Umweltsimulationsverfahren, d.h. Versuchsanlagen z.B. für die Grenzfläche Boden/Wasser erlaubt auch hier eine Modellierung der Freisetzung, des Transports und der abiotischen und biotischen Abbauvorgänge und Kreisläufe. Das Testgelände der BAM in Horstwalde ermöglicht darüber hinaus auch langfristige Großversuche zur Freisetzung und zum Abbau von Stoffen, z.B. Bioziden, entlang dieses Transportpfades. Neben der Entwicklung von on-site-Ansätzen für Analyseverfahren für solche Modellsysteme, ist darüber hinaus eine Charakterisierung der relevanten Mikrobiologie mit modernen biochemischen Methoden notwendig, damit ein umfassendes Bild der Reaktions- und Transportpfade entsteht. Die Forschungsaktivitäten konzentrieren sich dabei auf unterschiedliche Indikatororganismen, wie z.B. Extremophile, Biozid-resistente oder Schadstoffabbauende Organismen.

BIOLOGISCHE WIRKUNGEN AUF MATERIALIEN

Die biologische, insbesondere die mikrobiologische Degradation und Kontamination von Materialien ist bis heute ein Problem. Durch die Anwendung neuer Materialien treten z.T. unerwartete Abbau- und Kontaminationsprobleme auf, die bisher häufig nur an Symptomen untersucht werden, ohne dass ein vertieftes wissenschaftliches Verständnis der Prozesse vorhanden ist. Um eine bessere Kenntnis

über die Mechanismen der Materialschädigung und die Beteiligung der verschiedenen Mikroorganismen an diesen Prozessen zu erhalten und so für die Sicherheit und den Erhalt technischer Produkte einen wesentlichen Beitrag zu liefern, werden in der BAM moderne mikrobiologische Analyse- und Beobachtungsverfahren weiterentwickelt. Auf diese Weise will die BAM dazu beitragen, die durch mikrobiologische Prozesse ausgelösten Schädigungen an Oberflächen (z.B. Biofilmbildung an Fassaden und Solaranlagen) und an Bau- und Konstruktionsmaterialien (z.B. vorzeitiger Abbau von Holzschutzmitteln, Resistenz gegenüber bioziden Nanopartikeln, Kontamination von Lacken und Kraftstoffen in industriellen Anwendungen) zukünftig besser zu quantifizieren und zu verstehen.

Mit chemischen Bioziden ausgerüstete oder mit Nanopartikeln beschichtete, bewuchsabweisende Materialien werden daher auf ihre langfristige Wirksamkeit hin untersucht. Es soll geklärt werden, in wie weit Biozid-resistente Mikroorganismen zum Biozidabbau und zum Materialabbau beitragen und welche Wege der Umweltbelastung durch biologisch induzierte Auslaugung von Bioziden bzw. Biozidabbauprodukten bestehen.

RECYCLING

Zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen werden verschiedene Strategien verfolgt, auch um die mit der Entnahme und Nutzung natürlicher Ressourcen verbundenen Umweltbelastungen so weit wie möglich zu reduzieren. Zu den natürlichen Ressourcen zählen sowohl Massenrohstoffe wie Sand und Kies für Bauzwecke als auch Metalle und Technologie-Elemente (Indium, Gallium, Seltene Erden), von denen Deutschland praktisch keine eigenen Rohstoffvorkommen hat.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten der BAM werden Recyclingverfahren für Massenrohstoffe wie Sand und Kies aus Baurestmassen sowie Verfahren zur Rückgewinnung von Metallen aus industriellen Abfällen und Produkten untersucht. Die Herangehensweise ist dabei unterschiedlich. Im Bereich seltener Metalle für Technologieanwendungen sind auch aufwändigere Verfahren wie eine thermochemische Stofftrennung denkbar. Komplexe Materialverbunde verlangen jedoch angepasste Aufbereitungs- und Recyclingverfahren. Bei Massenrohstoffen dürfen die Aufbereitungskosten nur sehr gering sein. Insbesondere die Verkehrsinfrastruktur hat hohen Bedarf an Baurohstoffen, die zum Teil durch Recyclingverfahren gewonnen werden können. Dabei ist entscheidend, ob die Materialanforderungen durch Recyclingmaterial erreicht werden

können. Im Vordergrund steht hierbei auch die Umweltverträglichkeit und Umweltinteraktion wiederaufbereiteter Baustoffe. Eine Ressourcenschonung ist möglich, wenn Baustoffe aus Abriss oder Sanierung durch Wiederaufbereitungsverfahren für eine Verwendung im Betonbau recycelt werden können. Eng verknüpft mit diesen Aktivitäten sind auch Fragestellungen der Energieeffizienz, die durch den Einsatz energetisch günstigerer Ausgangsstoffe möglich wird.

Frühere industrielle Aktivitäten haben zum Teil erhebliche Abraum- und Abfallmengen hinterlassen, die sowohl Schadstoffe als auch Wertstoffe enthalten und mit modernen Aufschlussmethoden wirtschaftlich verwertet und gereinigt werden können. Die Forschungsaktivitäten der BAM konzentrieren sich daher auf die Entwicklung von Verfahren, um Ressourcen aus Abfall zu gewinnen, Reststoffe einer neuen Verwendung zuzuführen oder eine alternative Nutzung von Abfallbiomassen zu untersuchen. Das Recycling von anorganischen Reststoffen, wie z.B. Industrie- und Hüttenschlacken, wird vorrangig mit Hochtemperatur-Verfahren untersucht. Die Prozessführung wird dabei durch begleitende in-situ-Analytik unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten optimiert. Ausgehend von den bisherigen Forschungsergebnissen soll beispielsweise die Rückgewinnung von seltenen Metallen optimiert werden.

Eine weitere Rohstoffersparnis ist bei der Phosphatgewinnung für die Düngemittelherstellung aus phosphathaltigen Klärschlammaschen zu erwarten. Aber auch für zahlreiche organische Abfallströme wie Schmierstoffe gilt es, entsprechende Verfahren zu entwickeln. Im Rahmen der Verknappung der natürlichen Ressourcen wird die Gewinnung und Erprobung von Schmierstoffen aus nachwachsenden oder wiederverwendeten Ausgangsmaterialien zukünftig erheblich zunehmen. Schwerpunkt der BAM-Forschung ist es daher, die thermochemischen Verfahren zur Gewinnung entsprechender Materialien zu optimieren und die Verwendbarkeit der Produkte sicherzustellen.

THEMENFELD MATERIAL

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind essentielle Schlüsseltechnologien einer modernen wirtschaftlich führenden Gesellschaft. Eigenschaften, Funktionalität, Qualität und Sicherheit von Produkten des täglichen und industriellen Gebrauchs sind durch Materialien und Werkstoffe am Beginn der Wertschöpfungskette bestimmt. Werkstoffe und Werkstofftechnologien sind wesentlich für Produktinnovationen und verbesserte Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern. Die BAM verfügt seit Jahrzehnten über eine ausgewiesene Kompetenz im Bereich Materialforschung und -prüfung und setzt ihre Erkenntnisse für die Entwicklung des Querschnitts-themas Material in allen Themenfeldern ein.

SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM BEREICH MATERIAL

Die Forschungsaktivitäten der BAM im Themenfeld Material umfassen ein weites Tätigkeitsfeld: Neben der Charakterisierung und Prüfung von Materialien und Werkstoffen stehen insbesondere Kennwerte von Stoffen, Werkstoffen und Bauteilen und die Simulation und Modellierung im Vordergrund. Die Aktivitäten sind insbesondere auf Fragen der Lebensdauer, der Zuverlässigkeit und der Nachhaltigkeit von Materialien fokussiert. Diese drei Kriterien sind auch als Randbedingungen für eine Werkstoffauswahl in Komponenten zu verstehen. Das Themenfeld Material ist eng mit den Applikationsfeldern der BAM verknüpft. In vielen Fragestellungen der Themenfelder Energie und Infrastruktur ist die Alterung von Materialien relevant und sind Extrembeanspruchungen von Komponenten Gegenstand von Risikobetrachtungen.

MATERIALCHARAKTERISIERUNG

Für die technisch-wirtschaftlichen Entwicklungen in Richtung einer Miniaturisierung technischer Systeme stellt die Materialcharakterisierung eine Schlüsselfunktion dar. Aber auch mit Blick auf den zunehmenden Einsatz von Verbundwerkstoffen für sicherheitskritische Strukturen, beispielsweise im Flugzeugbau, und die Entwicklung sogenannter intelligenter Werkstoffe wird die Materialcharakterisierung in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen. Zum Beispiel erweitert sich mit neuen Werkstoffentwicklungen der Bedarf an Kenndaten für Konstruktionen und Anwendungen, andererseits müssen neue Materialparameter definiert und mit Messmethoden unteretzt werden.

Der zunehmende Einsatz von mikro- und nanostrukturierten Materialien erfordert neue Messmethoden für die zerstörungsfreie Materialcharakterisierung, insbesondere an Keramik, Metallschäumen und Verbundwerkstoffen sowohl während der Fertigung als auch nach Schadensereignissen. Für Leichtbaumaterialien wie Faserverbundwerkstoffe werden systematische Zusammenhänge zwischen der Defektentwicklung von Nanorissen und -poren, mikrostrukturellen Versagensmechanismen und dem Ermüdungsversagen untersucht. Die Optimierung der Ortsauflösung und Geschwindigkeit der Messmethoden steht für die BAM in den nächsten Jahren im Vordergrund. Die Messergebnisse werden dabei anwendungstypisch mit mechanischen und mikrostrukturellen Eigenschaften korreliert. Weiterhin wird an der in-situ-Synchronisierung von zerstörungsfreier und mechanischer Prüfung durch Integration von Messmethoden in die Prüfmaschinen gearbeitet. Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung von Anlagen mit komplexer Geometrie und unterschiedlichen Materialeigenschaften wird ortsauflösende und bildgebende Prüftechnik eingesetzt, um genaue Aussagen über die Größe, Lage und Art der Materialfehler zu erzielen. Neben der Weiterentwicklung der Gerätetechnik gilt es die Rekonstruktionsalgorithmen zu verbessern.

MODELLIERUNG UND SIMULATION

Die Entwicklung und Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren ist ohne Modellierung und Simulation nicht mehr vorstellbar. Die Skalen können dabei von einer atomaren und molekularen Ebene über Nano- und Mikrostrukturen bis zu Makrostrukturen reichen. Sowohl die akustischen, elektromagnetischen und thermografischen Sensoren als auch die physikalischen Ausbreitungs- und Transportphänomene im Prüfgegenstand werden durch mathematische Verfahren nachgebildet. Damit werden viele Signale, z.B. bei Ultraschall-, Röntgenprüfung und Computertomografie, überhaupt erst interpretierbar. Auch die Rekonstruktion und bildliche Darstellung von Prüfergebnissen wird durch Modellierungsverfahren unterstützt. Fortschritte sind durch die Verknüpfung von Daten und Modellen verschiedener Prüfmethoden zu erwarten. Daneben sind die Rechenverfahren weiter zu verbessern, um auch die zerstörungsfreie Prüfung von komplexeren Geometrien, Werkstoffverbunden und Schichtaufbauten zutreffend zu modellieren. Fortschritte in Prüf- und Analyseverfahren müssen durch den verstärkten Einsatz von Simulationsverfahren, z.B. der Nachbildung von Alterungsprozessen und Degradationsmechanismen bei Polymerbaustoffen, begleitet werden.

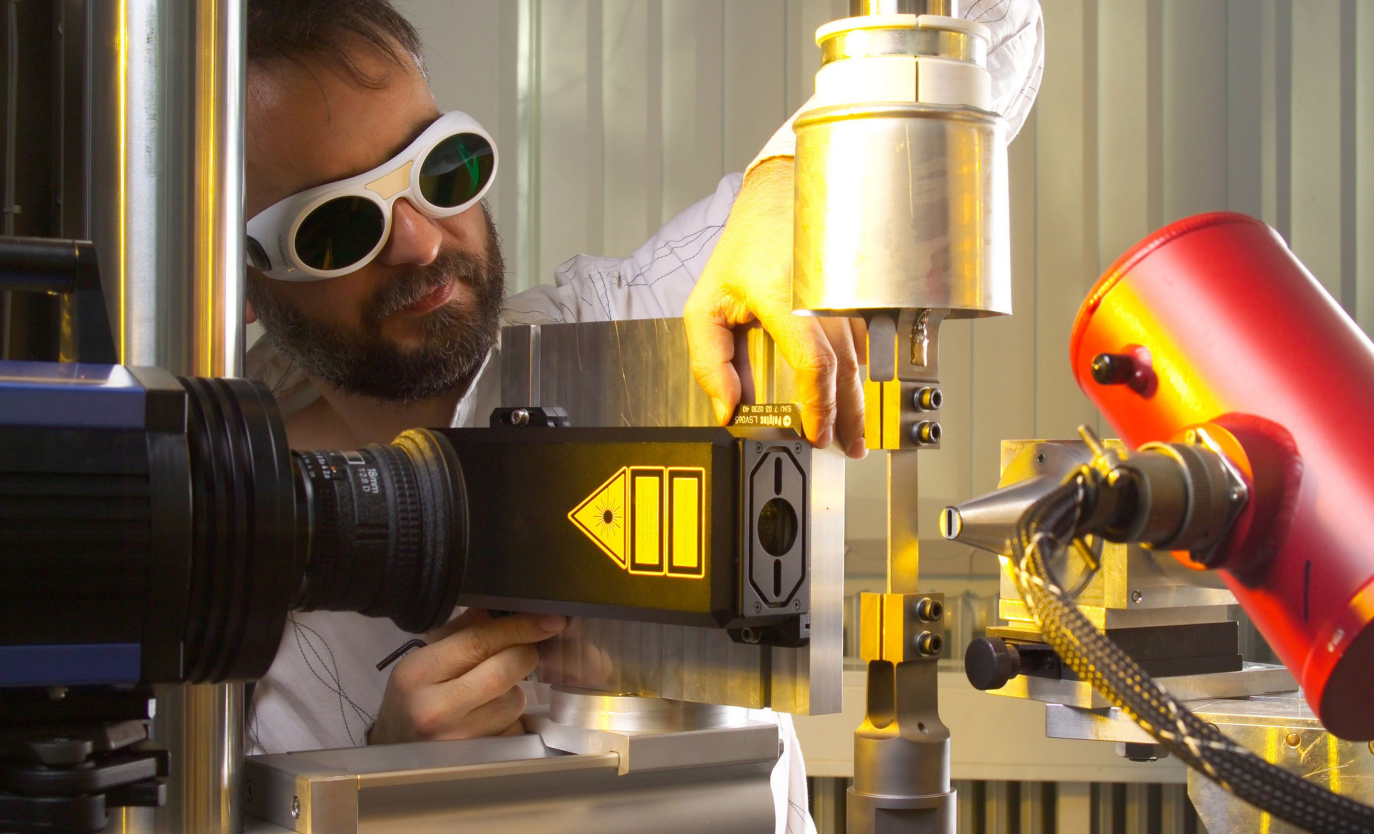


Abbildung 12: Hochgeschwindigkeitsprüfmaschine zur Untersuchung von Materialien.

Gleichzeitig bleiben Material- und Bauteilversuche zur Bestimmung der benötigten Parameter und zur Validierung von Modellen und Simulationsverfahren auf lange Sicht unverzichtbar. Sie dienen dabei auch der Entwicklung von Qualitätsrichtlinien zur Beurteilung der Güte der numerischen Umsetzung der simulierten Prozesse. Traditionsgemäß werden in der BAM Kennwerte zur Beschreibung des Verhaltens von Werkstoffen und Systemen unter vielfältiger Beanspruchung sehr genau und zuverlässig experimentell wie rechnerisch ermittelt. Darüber hinaus werden in zahlreichen Forschungsfeldern der BAM nicht nur Simulationsverfahren auf immer vielfältigere Fragestellungen angewendet, sondern insbesondere auch die Weiterentwicklung der Verfahren selbst im Hinblick auf eine zuverlässige Beschreibung multivariabler Systeme betrieben.

FUNKTIONALE WERKSTOFFE

In zahlreichen Gebieten findet heute aus ökonomischen Gründen bzw. Ressourcenschonung eine Substitution von konventionellen Werkstoffen statt. Multifunktionale Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen und funktionelle Gradientenwerkstoffe gewinnen in vielen Anwendungsbereichen wie Luft- und Raumfahrt, Kraftfahrzeugbau, Bauwesen und Leichtbau an Bedeutung. Sie unterscheiden sich von klassischen Werkstoffen durch die Fähigkeit, ihre Eigenschaften im Einsatz definiert zu ändern, und durch Zusammensetzung, Struktur und Gefüge. Additive Fertigungsverfahren spielen bei der Herstellung derartiger Werkstoffe eine zunehmend wichtigere Rolle. Für diese werden Sicherheitsbe-

trachtungen für die entsprechenden Anwendungen und die neuen Fertigungsverfahren benötigt. Aufgrund besonderer Werkstoffeigenschaften sind die klassischen Verfahren zur Werkstoffcharakterisierung nur mit Einschränkungen oder gar nicht anwendbar. Regelwerke zur standardisierten Bestimmung der Eigenschaften multifunktionaler Werkstoffe fehlen ebenso wie Szenarien zur Abschätzung der Gebrauchstauglichkeit. Deshalb entwickelt und validiert die BAM Kenngrößen und Verfahren zur Bestimmung der Eigenschaften und treibt die internationale Regelsetzung in diesem Bereich voran.

NUTZUNGSDAUER VON MATERIALIEN

Der sichere Betrieb von technischen Systemen und Prozessen ist von grundlegender Bedeutung für die öffentlich-technische Sicherheit. Die sicherheitstechnischen Anforderungen müssen über den gesamten Lebenszyklus eines technischen Produktes realisiert werden, also beispielsweise von der Konzepterstellung und der Konstruktion über die Fertigung und Montage, die Betriebsphase einschließlich Überwachung und Reparatur bis hin zur Demontage und Recycling. Im Zuge des verstärkten Wettbewerbs durch die zunehmende Globalisierung der Märkte und der damit einhergehenden Reduzierung der Entwicklungszeiten kommt es in Zukunft verstärkt darauf an, das hohe Niveau der technischen Sicherheit in Deutschland und der in unserem Land gefertigten Produkte zu erhalten, um diesen Standort- und Wettbewerbsvorteil zu sichern und weiter auszubauen. Dies verlangt von der Wirtschaft und den Überwa-

chungsorganen zuverlässige, aussagekräftige und realistische, also auf den Einsatzzweck und -bereich entsprechender Produkte und Systeme abgestimmte Prüfverfahren und Simulationstechniken.

Mit der Entwicklung und Validierung von fertigungs- und betriebsbegleitenden Prüf- bzw. Bewertungsverfahren liefert die BAM seit ihrer Gründung einen bedeutenden Beitrag zum sicheren Betrieb von technischen Systemen und Prozessen. Die Sicherheit von technischen Systemen und Prozessen gegen Schäden und Versagen wird dabei überwiegend an den einzelnen Komponenten unter dem interaktiven Einfluss von Werkstoff, Konstruktion und Beanspruchung betrachtet. Unter diesem Aspekt werden die zukünftigen Forschungsarbeiten in der BAM noch mehr auf die Untersuchung und Verifizierung der Übertragbarkeit von Kennwerten von Proben auf Bauteile sowie von Labor- auf Betriebsbedingungen ausgerichtet werden.

Die Untersuchung von witterungsbedingten Veränderungen und der Nutzungsdauer stellen wichtige Kenngrößen für die Auslegung und Nutzung von Komponenten dar. Durch eine genaue Beschrei-

Systeme und deren Komponenten für immer breitere Beanspruchungs- und Anwendungsspektren notwendig, als auch für existierende Systeme und Komponenten, deren Nutzungsdauer aus wirtschaftlichen Gründen soweit wie möglich über das ursprünglich vorgesehene Maß hinaus verlängert werden soll. Zur Erlangung präziser Kenntnisse über die Restnutzungsdauer unter Berücksichtigung gezielter Inspektions-, Wartungs-, Reparatur- und Überholungsmaßnahmen sind die prinzipiellen Auswirkungen der Fertigungsprozesse von Schadensszenarien auf die Nutzungsdauer zu erforschen und ausreichend zu berücksichtigen. Die rasante Entwicklung von Hochleistungsverfahren für die Fertigung sicherheitsrelevanter Systeme und Bauteile führt zu bisher nicht ausreichend erforschten Beanspruchungen, die sich in erheblichem Maß auf die Nutzungsphase auswirken können.

In vielen Wirtschaftsbereichen, wie beispielsweise in der Fahrzeug- und Verkehrsmitteltechnik, führt die Auslegung sicherheitsrelevanter Komponenten und Systeme an der Grenze der Beanspruchbarkeit dazu, dass die Designlebensdauer oft mit heute bekannten Werkstoffen nicht immer erreicht werden



Abbildung 13: Erprobung verschiedener Untersuchungsverfahren zur Materialidentifizierung und zur Charakterisierung von Schädigungsmechanismen.

bung der Alterungsfunktionen sicherheitsrelevanter Eigenschaften und ein Verständnis der Schädigungstypen und -mechanismen kann sowohl eine Schadensprävention als auch eine verlässliche Nutzungsdauervorhersage für sicherheitsrelevante Eigenschaften erfolgen. Kenntnisse des Lebenszyklus sind sowohl beim Einsatz innovativer Werkstoffe und Materialien für neue sicherheitsrelevante

kann. Durch die zunehmende Verwendung von Materialmischen treten Übertragungsmechanismen zwischen den verschiedenen Werkstoffklassen auf, die zu unvorhergesehenen Beanspruchungsspitzen führen können. Mehr als bei bisherigen Betrachtungen der Lebenszyklen technischer Systeme und deren Komponenten kommt es in Zukunft darauf an, diese konstruktiv sowie werkstoff- und mate-

rialspezifisch so zu optimieren, dass eine Wartung und Inspektion, aber auch Reparatur und Überholung innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer wirtschaftlich und sicherheitstechnisch möglich sind. Zur Entwicklung einer komponenten- und systemgerechten Materialprüfung ist ein Ausbau der bauteilgerechten Prüfung, die Verknüpfung von Untersuchungsverfahren zu Prüfketten und Full-scale-Tests aber auch die Übertragung realer Beanspruchungen auf den Labormaßstab mit einer entsprechenden Probenfertigung über alle Größenskalen und Werkstoffklassen sowie ein umfangreiches Bauteilmonitoring zur Bestimmung realer Beanspruchungen notwendig.

SCHADENSFORSCHUNG

Schäden an technischen Produkten verursachen erhebliche betriebswirtschaftliche Kosten und volkswirtschaftliche Verluste. Voraussetzung für eine treffsichere Schadensanalyse und die Entwicklung neuer und angepasster Techniken zur Schadensvermeidung ist ein besseres und vor allem wissenschaftlich fundiertes Verständnis der Mechanismen, wie Werkstoffe in einem bestimmten Bauteil unter der vorliegenden Beanspruchung im Rahmen der jeweiligen Konstruktionsweise geschädigt werden. Die wissenschaftliche Klärung von Schädigungsmechanismen eröffnet ein weites Feld von Beiträgen zur zukünftigen Erhöhung der Sicherheit technischer Systeme und Bauwerke. Besondere Bedeutung kommt dabei der Simulation von Schädigungsmechanismen zu, die einerseits wesentlich dazu beitragen kann, die Phänomenologie zu erklären, durch schnelle Parametervariationen aber vor allem wichtige Ansatzpunkte für die Entwicklung von beständigeren Werkstoffen und Bauteilen für extreme Beanspruchungen unter den jeweiligen Umwelt- und Umgebungsbedingungen liefert.

MATERIALSCHÄDIGUNG

Bauteile werden unter Betriebsbedingungen häufig an exponierten Oberflächen Schädigungseinflüssen ausgesetzt. Die Optimierung von Schutzschichten und sonstigen Schutzmaßnahmen bleibt deshalb für die BAM ein wichtiges Forschungsgebiet. Im Hinblick auf die Erhaltung und Instandsetzung der Bausubstanz müssen Schädigungsmechanismen infolge der Einwirkung z.B. von Luft, Wasser oder aggressiven Medien und ihr Beitrag zur Degradation von Bauwerken besser verstanden und in ihrer Wirkung auf die Bausubstanz abgemildert werden. Die Weiterentwicklung von Verfahren zum Schutz und zur Instandsetzung von Bauwerksoberflächen, u. a. unter Einbeziehung nanotechnologischer Neuerungen, ist notwendig zur Gewährleistung

eines dauerhaften, gefahrlos nutzbaren Gebäudeszustandes. In diesem Rahmen entwickelt und validiert die BAM Beurteilungskriterien für die Wirksamkeit bestehender und neuer Verfahren. Für die Bearbeitung dieser Aufgaben ist es erforderlich, die physikalischen Wirkungsprinzipien und die Transportphänomene in den unterschiedlichen Baustoffen unter mechanischen und klimatischen Bedingungen systematisch zu untersuchen. Hier finden moderne Prüfverfahren Anwendung, die unter anderem die zerstörungsfreie, ortsungebundene Erfassung des Baustoffzustandes und Simulationsprogramme für Transportprozesse und Lastfälle beinhalten.

Durch die Einführung von neuen Werkstoffen und von Multimaterialmischen sowie die Verschiedenartigkeit der Einsatz- und Nutzungsbedingungen daraus hergestellter Komponenten sind die Degradations- und Schädigungsmechanismen insbesondere unter gekoppelten Beanspruchungen nicht ausreichend erforscht. Einerseits fehlen hier teilweise Kennwerte, andererseits hat man sich in der Forschung auf die Mechanismen lediglich einer Beanspruchungsart konzentriert. Daher werden Mechanismen der Degradation anhand der zeit- und temperaturabhängigen Änderung von ursprünglich vorliegenden Eigenschaften aufgrund von thermischer, physikalischer oder chemischer Alterung und insbesondere deren Kombination untersucht. Der Fokus liegt zunächst auf der mechanischen, thermischen und korrosiven Beanspruchung von neuen Werkstoffen oder bekannten Werkstoffen unter neuen Einsatzbedingungen aus dem Bereich Metalle, Keramiken und Polymere (und deren Verbunden). Im Baustoffbereich wird die Systembeschreibung zunehmend von der phänomenologischen Vorgangsbeschreibung auf die grundlegende Erfassung der chemisch-physikalischen Zusammenhänge auf Mikro- und Nanoebene verlagert.

Im Bereich des Materialschutzes stellt die Modellierung des Korrosionsverhaltens von Stahl in Beton als Beitrag zu einer Nutzungsdauerbemessung von Stahlbetonbauteilen ein wesentliches Thema dar. Dazu wurden bereits umfangreiche Untersuchungen zu grundlegenden Einflussgrößen auf den Korrosionsprozess durchgeführt, die Umsetzung in ein gleichermaßen zutreffendes wie handhabbares Modell steht jedoch noch aus. Ziel der Forschung ist die Entwicklung eines geeigneten Modells zur Beschreibung des Schädigungsverlaufes unter Berücksichtigung des tatsächlichen Korrosionszeitraumes auf Basis stochastischer Eingangswerte sowohl für die Materialeigenschaften als auch für die Umwelteinwirkungen.

Zur Beschreibung der witterungsbedingten Alterung von Polymerwerkstoffen gibt es aktuell kein universell einsetzbares physikalisch-chemisches Modell. Erst mit systematischen empirischen Untersuchungen wird der Zusammenhang beschreibbar. Da die witterungsbedingte Alterung in der Regel auf der Oberfläche beginnt und sich dann in die Tiefe ausbreitet, können durch Oberflächenanalytik Veränderungen zu frühen Schädigungsstadien nachgewiesen werden. Eine allgemeine Charakterisierung der Polymerdegradation ist jedoch schwierig, da häufig geringe Additivmengen oder Degradationsprodukte im Material analytisch schwer von der Polymermatrix zu unterscheiden sind. Eine weitere Herausforderung stellt die Alterung von Polymerverbundmaterialien und -compositen dar. Hierbei sind zusätzliche Schädigungsmechanismen an den Grenzflächen zu berücksichtigen. Zur Untersuchung der Alterung und Degradation von Polymerwerkstoffen ist insbesondere die Weiterentwicklung der künstlichen Bewitterung und der Belastung durch Strahlung und chemische Substanzen sowie der analytischen Charakterisierung und mathematischen Modellierung der Effekte erforderlich. Ebenso von Interesse sind Degradationsmechanismen durch Korrosionsvorgänge und Materialdegradation bzw. -korrosion durch Mikroorganismen. Die Untersuchungen sollen durch eine Kombination von elektrochemischen, analytischen und mikroskopischen Methoden erfolgen.

Gefahrgutverpackungen unterliegen im Laufe ihrer Nutzungsdauer nicht nur mechanischen, sondern auch chemischen Beanspruchungen. Beständigkeitsbewertungen bilden eine wesentliche Grundlage für die stoffbezogenen Baumusterzulassungen für Tankcontainer und ortsbewegliche Tanks zur Beförderung gefährlicher Güter. Gefahrgutverpackungen aus Polymerwerkstoffen unterliegen verschiedenen Einflüssen durch die Füllgüter. Schädigungen wie Spannungsrissausbildung, Anquellung und oxidativer Abbau sind dafür kennzeichnend. Für eine sichere Umschließung der Gefahrstoffe ist für jedes Originalfüllgut die chemische Verträglichkeit der verwendeten Gefahrgutverpackung nachzuweisen. Neben Vorhersagen von Werkstoff- bzw. Bauteilversagen, basierend auf numerischer Simulation, ist auch das Langzeitverhalten der Werkstoffe zur Ermittlung von Alterungsmechanismen relevant. Die Methodenentwicklung und -validierung neuer alternativer Verfahren zur Einstufung der Gefahrgüter durch den Vergleich von Modellflüssigkeiten mit den realen Gefahrgut-Füllstoffen stehen genauso im Fokus wie die Untersuchungen zur Dichtheit dieser Verpackungen.



Abbildung 14: Bewitterung und Untersuchung von Polymerproben.

THEMENFELD ANALYTICAL SCIENCES

Analytical Sciences sind eine Schlüsseltechnologie für die Lösung von grundlegenden und angewandten Problemstellungen an der Schnittstelle zwischen Chemie, Physik, Biologie und den Materialwissenschaften. Analytical Sciences beinhalten die Entwicklung und Anwendung von Methoden, Instrumenten und Strategien, um Informationen über die Zusammensetzung und die Natur von Materie in Raum und Zeit zu erhalten. Rationale Diskussionen zu sozialen und politischen Kontroversen der Zukunft wie beispielsweise Fragen des Klimawandels, erneuerbaren Energien oder der nachhaltigen Nutzung von Ressourcen sind nur auf der Basis verlässlicher analytischer Daten möglich. Analytik ist entscheidend für die Sicherheit von Produkten und Prozessen und somit für die industrielle Wertschöpfung. Besonders die Fortschritte in den Lebenswissenschaften und der Nanotechnologie belegen, dass die Analytical Sciences heute Schrittmacher von Entwicklungen sind. Die BAM verfügt seit Jahrzehnten über eine ausgewiesene Kompetenz in den Analytical Sciences und setzt ihre Erkenntnisse dieses Querschnitts in allen Applikationsfeldern ein.

SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM BEREICH ANALYTICAL SCIENCES

Die Aktivitäten der BAM umfassen alle methodischen und instrumentellen Aspekte von Prüf- und Messverfahren. Integrale Bestandteile sind dabei die Entwicklung und Bewertung zuverlässiger Methoden für die Materialprüfung und Strukturanalytik, Sensorik und die Analyse verschiedener Analyten in komplexen, festen, flüssigen und gasförmigen Matrices. Die Entwicklung und Zertifizierung von Referenzmaterialien für die Umwelt-, Lebensmittel- und Materialanalytik sowie Beiträge zur Metrologie in der Chemie und der Materialien sowie zur Normung sind weitere Schwerpunkte der Aktivitäten. Durch die Entwicklung neuer und innovationsfördernder Kalibrier-, Rückführungs- und Standardisierungskonzepte und Referenzmaterialien trägt die BAM substantiell zur Qualitätssicherung in der Analytik bei.

Schwerpunkt der Analytical Sciences ist die Beschreibung und Ermittlung von Stoff- und Systemeigenschaften sowie von Wechselwirkungen und Reaktionsmechanismen zwischen Stoffen, Materialien, Komponenten und der Umgebung durch physikalische, chemische, biochemische und ingenieurwissenschaftliche Messungen. Die Charakterisierung von Stoff- und Systemeigenschaften

ist für die Beschreibung der Wechselwirkungen der Stoffe mit einer Matrix oder einem Gefüge sowie an Grenzflächen von großer Relevanz. Dadurch werden Schadensanalysen und die Beschreibungen der Alterung und Degradation von Werkstoffen auch unter Extrembedingungen und -belastungen ermöglicht.

Sicherheit in Technik und Chemie ist nur durch die Kenntnis der stofflichen Zusammensetzung und ihrer funktionalen Bedeutung über die charakteristischen Skalen der untersuchten technischen oder natürlichen Stoffe und Systeme hinweg möglich. Die Forderung nach analytischen Untersuchungen in realen Zusammenhängen, z.B. in-situ und in Echtzeit wird für eine Risikoabschätzung und -steuerung zunehmend relevant.



Abbildung 15: Referenzmaterialien der BAM.

EMPFINDLICHKEIT UND SELEKTIVITÄT

Im Zentrum zahlreicher Forschungsaktivitäten der BAM stehen die Grenzen analytischer Beobachtungen, z.B. der Nachweis geringster Mengen an Emerging Pollutants im Lebensmittel Wasser, der atomare Ursprung von Korrosionsphänomenen oder eine molekulare Wechselwirkung bei Wasserstoffspeichermaterialien. Gleichzeitig gilt es, unterschiedliche Größenordnungen oder Skalen der Beobachtung zu verbinden, z.B. die Verknüpfung von molekularen Änderungen und makroskopischen Strukturmodifikationen in einem Werkstoff oder die Kombination von mikroskopischen Beobachtungen mit einem makroskopischen Bauteilversagen. Für das Verständnis der Funktion und Dynamik von komplexen Systemen ist häufig eine Verbesserung der Empfindlichkeit und Selektivität der analytischen Methoden notwendig. Dies kann erreicht werden, indem unterschiedliche physikochemische Prinzi-

pien und neue atomare und molekulare Strukturen kombiniert werden. Fortschritte in den Analytical Sciences sind heute selten allein durch instrumentelle Verbesserungen zu realisieren, sondern werden häufig von neuen chemischen Erkennungsstrukturen unterstützt, die einem rationalen Design folgen.

Die Bio- und Nanotechnologien werden heute als Schlüsseltechnologien für eine zukünftige, breit angelegte Wertschöpfung betrachtet. Eine Herausforderung ist die rasante kommerzielle Umsetzung von Ergebnissen, wodurch Technologien des Alltags eng mit aktueller Grundlagenforschung verknüpft werden. Eine Verbesserung der analytischen Möglichkeiten durch Instrumentierung oder methodische Fortschritte kann in diesen sich schnell entwickelnden Märkten den Unterschied für einen kommerziellen Erfolg bedeuten. Eine bessere nationale Infrastruktur für Analytik unterstützt durch Forschungsaktivitäten der BAM kann so zu einem Standortvorteil werden.

SKALENÜBERGREIFENDE MESSUNGEN

Materialien und Werkstoffe mit charakteristischen Skalen im Nanometerbereich stehen im Mittelpunkt zahlreicher analytischer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der BAM. Neben der Analytik von Nanopartikeln in Bezug auf Größe, Gestalt oder Zahl und der Oberflächenstruktur und Zusammensetzung von Partikeln, ist die Analytik nanoskaliger Oberflächen und Grenzflächen bei modifizierten und strukturierten Polymeren und Kompositen in der Spitzentechnologie von besonderer Bedeutung.

Instrumentell konzentrieren sich die Forschungsanstrengungen besonders auf die Methodenkombination von bildgebenden mikroskopischen Verfahren, Oberflächenanalytik und klassischen spektroskopischen Verfahren. Dazu gilt es, quantitatives und multiparametrisches 2D- und 3D-Imaging der Zusammensetzung über die nm- und μm -Skala mit den funktionellen Eigenschaften zu verknüpfen. Besonders für die Analytik unter Extrembeanspruchungen wie Druck und Temperatur müssen neben der elementaren Zusammensetzung auch molekulare und funktionelle Eigenschaften ermittelt werden. Da Materialien und Werkstoffe unter solchen Beanspruchungen unter realen Bedingungen betrachtet werden müssen, gilt es, die nicht-invasive in-situ-Analytik für Grenzflächen oder ganze Systeme weiterzuentwickeln. Zunehmend muss dazu die Wirkung und Funktion von dynamischen Eigenschaften betrachtet werden, weniger die reine stoffliche Zusammensetzung. In diesem Zusammenhang ist auch die Nutzung der Synchrotronstrahlung für analytische Fragestellungen beim Berliner Synchro-

tron (BAMline und $\mu\text{-spot}$ -Beamline) durch Methodenkombinationen bedeutsam. Der Einsatz komplementärer Methoden ist Basis für eine komplexe Modellierung funktioneller Nanostrukturen und miniaturisierter technischer Bauelemente in allen Bedarfsfeldern. Die Verknüpfung unterschiedlicher analytischer Informationen durch die Anwendung statistischer Methoden auf große Datensätze wird entscheidend für Applikationen und den Technologietransfer sein.

PROZESSANALYTIK

Während die klassische analytische Chemie häufig nur Momentaufnahmen von realen chemischen Vorgängen in der Natur und industriellen Fertigung erlaubt, können online- und in-situ-Verfahren einen detaillierten Einblick in chemische Prozesse und Abläufe geben. Die Prozessanalytik erfährt daher eine besondere Aufmerksamkeit. In zahlreichen Produktionsfeldern werden die Aktivitäten auch unter dem Begriff Industrie 4.0 zusammengefasst. Die zunehmende Automatisierung und Vernetzung von Prozessen, der effiziente und ressourcenschonende Umgang mit Energie, das maßgeschneiderte Design bei exaktem Erreichen der angestrebten Produktqualität und das gesellschaftliche Verlangen nach einem erhöhten Schutz des Menschen und seiner Umwelt vor Risiken und Gefahren sind die Haupttreiber, analytische Messverfahren in immer mehr Bereichen für eine frühe Messdatenerfassung mehrerer Parameter einzusetzen. Dementsprechend spielt die Entwicklung miniaturisierter, dezentral einsetzbarer, robuster, möglichst wartungsarmer, verlässlicher und zunehmend autonom agierender Sensoren eine Rolle für die Zukunftsfähigkeit eines Industriestandortes. Neben der Datenerfassung und dem Datenmanagement liegen die Schlüsselparameter vor allem in der Entwicklung maßgeschneiderter Sensorkomponenten und sensorischer Oberflächen sowie in der individuellen Adressierbarkeit von autonomen Einheiten über Label oder Markierungen. Mit zunehmender Anzahl von Sensoren gewinnt die Sensordatenfusion an erheblicher Bedeutung. Dazu bedarf es der Entwicklung spezifischer Algorithmen zur Fusion großer Datenmengen aus physikalisch oder chemisch sehr unterschiedlichen Datenquellen.

Die chemisch-physikalische Überwachung der unterschiedlichsten Prozesse spielt eine immer wichtigere Rolle in der industriellen Produktion, dem Umweltschutz, der Energieversorgung und der medizinischen Diagnostik. Schadensvermeidung kommen zunehmend in-situ-Messtechnik und Monitoringsysteme für die Zustandsüberwachung technischer Systeme und Bauwerke zum Einsatz. Werden diese aktuellen Zustandsinformationen mit



zusätzlichen Betriebs- bzw. Anlagedaten in einem Werterhaltungs-Managementsystem zusammengeführt, können wirtschaftlich relevante Entscheidungen zu den jeweiligen technischen Produkten zeitnah und sachlich fundiert getroffen werden. In chemischen und biochemischen Produktionsprozessen liefern Sensoren und Messsysteme Informationen für die Prozessführung und Anlagenüberwachung. Treibende Faktoren für Forschungs- und Entwicklungsbedarf in diesem Bereich sind u. a. die Erhöhung der Betriebs- bzw. Prozesssicherheit, die Steigerung der Anlagenverfügbarkeit, die Senkung der Produktionskosten durch effizienteren Rohstoff- und Energieeinsatz und der Ersatz von Laboranalytik durch Inline-Prozessanalytik zur Absicherung reproduzierbarer Produktqualitäten. Im Fokus der weiterführenden verfahrensbezogenen Forschungsarbeiten der BAM stehen Inline-NIR-Spektroskopie, Prozess-Chromatographie, Prozess-NMR, Prozess-Sensorik mit bioanalytischen Erkennungselementen und verteilter orts aufgelöster Sensorik für prozessrelevante Größen (z.B. Temperaturverteilung).

MINIATURISIERUNG

Die Forschung der BAM zur Miniaturisierung von Analysensystemen und Sensoren hat zunächst die Synthese von neuen Erkennungsstrukturen als Schnittstelle zwischen der Erfassung eines Analyten und der Erzeugung eines Messsignals zum Ziel. Die Integration mit mikrofluidischen Systemen oder biochemischen Erkennungseinheiten wie Antikörpern führt zu tragbaren „Lab-on-a-chips“. Daraus können sich neue autonome und vernetzte Systeme für eine Hochdurchsatzanalytik, Schnelltests oder Screening-Ansätze entwickeln. Diese Konzepte bedürfen immer auch neuer Kalibrier- und Rückführungskonzepte sowie zertifizierter Referenzmaterialien.

SENSORIK

Die rasante Entwicklung von Werkstoffen und Bauteilen mit integrierten sensorischen Fähigkeiten wird sich in den nächsten Jahren fortsetzen. Dabei müssen geeignete Sensoren und zugehörige Signalübertragungskomponenten möglichst werkstoff- bzw. strukturkonform integriert werden, d. h. die funktionellen Eigenschaften und Fähigkeiten sollen möglichst nicht oder nur geringfügig durch die Sensorintegration beeinträchtigt werden. Die Aktivitäten zur Verbesserung der Integrationsfähigkeit von faseroptischen und piezoelektronischen Sensoren in innovative Werkstoffe werden in den nächsten Jahren vorangetrieben. Besonders im Fokus steht die Entwicklung verteilter faseroptischer Sensornetzwerke zur Überwachung großräumiger Anlagen, Bauwerke und Bauteile. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Entwicklung entsprechender

Validierungskonzepte, um einen zuverlässigen Einsatz der werkstoff- und bauteilintegrierten Sensorik abzusichern. Ergänzend zur Sensorhardware werden auch spezifische Algorithmen und Verfahren zur Verarbeitung der Sensordaten entwickelt. Für die schnelle und einfache Nachrüstung von Bauwerken und Anlagen mit Sensortechnik werden selbstorganisierende Funk-Sensornetzwerke benötigt, die keine aufwändige Verkabelung erfordern.



Abbildung 16: Korropad: Schnelltest für Oberflächen nichtrostender Stähle.

Die Forschung und Entwicklung der BAM im Bereich Sensorik umfasst neben der Entwicklung von sensitiven Schichten, Sensorelementen und autonom arbeitenden und reagierenden Sensoren für industrielle Anwendungen und in Bereichen der außerindustriellen Überwachung auch die Qualitätssicherung (Prüfung, Kalibrierung, Validierung von Sensoren) und die Normung im Bereich Gas- und Feuchtesensoren. Die Identifizierung, Überwachung und Funktionalisierung von Objekten und Vorgängen erfolgt durch optische Tags und RFID-Transponder. Die Sensoroberfläche stellt die Schnittstelle zwischen Detektionsmodul und Analyten dar und sollte möglichst optimal angepasst sein. Im Vordergrund der Forschungsaktivitäten der BAM steht die Optimierung chemischer Sensoren hinsichtlich der Langlebigkeit durch Vermeidung von Biofouling und die Entwicklung kalibrationsfreier Systeme beziehungsweise neuartiger Kalibrierkonzepte durch Beschichtungen ebenso wie die Verbesserung der Datenhandhabung.

Die Entwicklung neuartiger Mess- und Sensortechnik für die dauerhafte Überwachung und Zustandsanalyse von sicherheitsrelevanten Bauwerken und Anlagen wurde in den vergangenen Jahren an der BAM vorangetrieben. Der weitere Forschungsbedarf besteht darin, die in den Messdaten enthaltenen Informationen für den beabsichtigten Zweck nutzbar zu machen. Dazu gehört die Entwicklung von Verfahren zur automatischen Analyse von Dauer-messreihen hinsichtlich der frühzeitigen Erkennung

und Verfolgung von Zustandsänderungen und Schäden, sowie eine monitoringbasierte Bewertung dieser Informationen mit dem Ziel, belastbare Aussagen für die Betreiber von Bauwerken und Anlagen zu gewinnen. Verfahren der Schadensentdeckung und -lokalisierung, sichere Prognostik und zuverlässigkeitsbasierte Methoden der Strukturbewertung stehen dabei im Vordergrund. Ausgehend von Forschungsarbeiten zur monitoringbasierten Sicherheitsbewertung von Offshore-Windenergieanlagen werden die Verfahren auf andere Klassen von Infrastrukturbauwerken übertragen.

Durch die Entwicklung von smart structures können Bauteile und Bauwerke adaptiv auf äußere Einwirkungen und Beanspruchungen oder auf Strukturänderungen beispielsweise infolge von Alterungsprozessen reagieren. Diese Fähigkeit erfordert den Einsatz von Strukturelementen, die diese Anpassung erlauben, geeignete Monitoringsysteme, die die maßgebenden Parameter erfassen und eine Regelungstechnik, die auf Grundlage der Messungen Eingriffe in die Struktur veranlasst. Anwendungsbereiche sind insbesondere schwingungsanfällige Bauteile, z. B. die hochbeanspruchten Rotorblätter von Offshore-Windkraftenergieanlagen.

CHARAKTERISIERUNG FLIESSFÄHIGER MATERIALIEN

In vielen Produkten und Bauten kommt neuartigen Werk-, Bau-, Kleb- und Wirkstoffen eine Schlüsselfunktion zu, insbesondere in Bezug auf besondere Anforderungen zur Energieeffizienz, Ressourcenschonung, Umweltverträglichkeit und Funktionalität. Zu neuartigen Hochleistungsmaterialien gehören Werk- und Baustoffe, Schmier- und Gleitstoffe für tribologische Anwendungen, Klebstoffe in Verbundwerkstoffen oder für Multi-Material-Fügeverbindungen und pharmazeutische Wirkstoffformulierungen. Um den Einsatz und die Akzeptanz neuer Hochleistungsmaterialien zu gewährleisten, sind ein vertieftes Verständnis ihres Aufbaus, Lebenszyklus und Verhaltens unter verschiedenen Einsatzbedingungen und die damit verbundenen sicherheitstechnischen Fragestellungen essenziell.

Stoffgemische für Hochleistungsanwendungen bestehen häufig aus komplexen Mischungen partikulärer Bestandteile und Begleit- oder Zusatzstoffen, die in einer flüssigen Phase verteilt sind und bei denen sich rheologische und chemische Eigenschaften, Stabilität und Homogenität während ihres Lebenszyklus ändern. Die Optimierung von Materialien, Werk- und Baustoffen setzt ein vertieftes Verständnis sowohl der Wechselwirkungen innerhalb eines solchen Gemisches bzw. an seinen Grenzflächen als auch seines

mikroskopischen Aufbaus voraus. Obwohl die Materialien und Anwendungen sehr vielfältig sind, stellt die Charakterisierung von dispergierten Systemen hinsichtlich der Größe der enthaltenen Partikel, der Wechselwirkungen zwischen den Phasen und der chemischen Prozesse an der Oberfläche der Partikel, insbesondere bei sich zeitlich verändernden Systemen, sehr ähnliche Fragestellungen an analytische Messverfahren. Ziel der Forschungsarbeiten der BAM ist ein verbessertes Verständnis und die Steuerung der optimalen Dispergierung von Pulvern in wässrigen und organischen Medien.

BIOANALYTIK

In der Bioanalytik wird sowohl die Proteinanalytik als auch die analytische Anwendung von spezifischen Proteinen, den Antikörpern, vorangetrieben. Bioanalytische Fragestellungen stehen im Mittelpunkt der Arbeiten zur absoluten und rückführbaren Quantifizierung von Proteinen. Die Entwicklung neuartiger affinitätsbasierter Methoden für die Probenvorbereitung und Detektion hat einen Schwerpunkt im Bereich der Umweltanalytik und wird begleitet durch die Herstellung von Immunoassays und Biokonjugaten.



Abbildung 17: Mikrotiterplatte mit fluoreszierender Lösung unter UV-Licht.

Für viele Fragestellungen in den Arbeiten der BAM zur zuverlässigen Analytik von Emerging Pollutants und von Schadstofffreisetzungen aus Materialien ist der Einsatz von Antikörpern aufgrund der ausgezeichneten Selektivität und Sensitivität von Interesse. Immunoassays ermöglichen durch die Parallelisierung in Immunoarrays und die Detektion im Biochip-Format auch die schnelle und portable Analytik. Parallel dazu werden für die Umweltanalytik auch methodische Ansätze und Referenzmaterialien für Emerging Pollutants weiterentwickelt. Die bioanalytischen Verfahren werden im Bereich der besonders relevanten optischen Verfahren durch die Charakterisierung neuer funktioneller Chromophore, Multiplexing- und Signalverstärkungsstrategien erweitert.

RAHMENBEDINGUNGEN

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 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für eine kompetente Aufgabenerfüllung zur Verfügung stehen, ist die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses der BAM ein besonderes Anliegen.

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 Qualitätssicherung² an.

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 im Jahr 2006 durch den Wissenschaftsrat. Die Tätigkeiten der BAM werden begleitet durch wissenschaftliche Beiräte sowie ein Kuratorium. 2016 findet die nächste Evaluation durch den Wissenschaftsrat statt.

Die BAM arbeitet nach den Grundlagen der guten wissenschaftlichen Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und verfügt über ein flächendeckend eingeführtes Qualitätsmanagement. Weitere interne Maßnahmen sind sowohl die Festlegung von Zielvereinbarungen als auch ein regelmäßiges Controlling.

INNOVATIONSPROGRAMM „MENSCHEN UND IDEEN“

Innovative Projekte verbinden Konzepte, entwickeln neue Methoden und Instrumente und stellen neue kognitive Bezüge her. Das Programm „Menschen und Ideen“ fördert Qualität durch internen Wettbewerb und trägt dazu bei, das gesamte multidisziplinäre Potential der BAM zur Förderung von Innovationen zu nutzen. Gleichzeitig haben alle Forschungsaktivitäten einen Bezug zum Auftrag und den Zielen der BAM. Das Programm

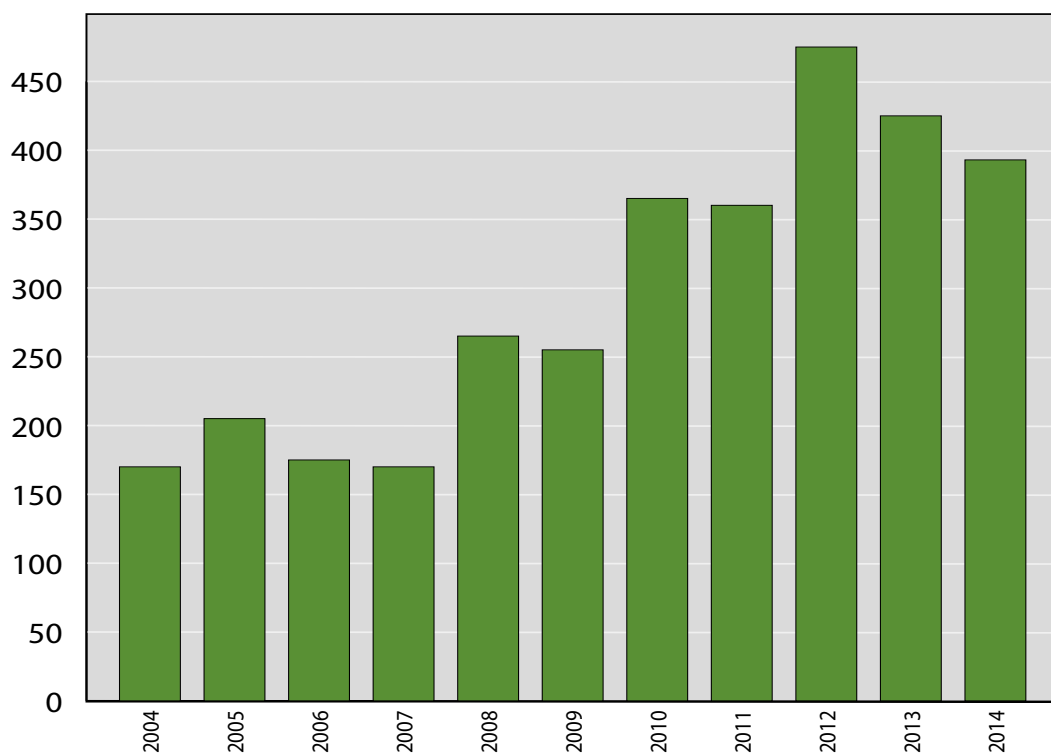


Abbildung 18: Zahl der referierten Zeitschriftenartikel der BAM von 2004 bis 2014 aus dem ISI Web of Science.

ist mehr als ein simples monetäres Anreizsystem, es setzt auf Vorschläge der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und damit auf deren eigene Motivation als zentrale Voraussetzung für kreative Arbeit. Der Aufwand für die Antragsteller und das Bewilligungsverfahren werden vergleichsweise gering gehalten.

FÖRDERLINIE IDEEN

Die Förderlinie „Ideen“ unterstützt vorrangig ein oder mehrere verknüpfte Promotionsvorhaben in zwei Varianten:

- Die *Typ 1-Förderung* finanziert Promotionen im Rahmen von BAM-Forschungsprojekten für einen Förderzeitraum von maximal 36 Monaten. Die Themenauswahl erfolgt durch ein Begutachtungsverfahren durch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM nach folgenden Kriterien: Originalität und Bedeutung des Antrages, Risiko des Antrages und bisherige Forschungsleistungen. Die Endauswahl erfolgt entsprechend der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel und der Bewertung. Die Ergebnisse der Bewertung werden den Antragstellern mitgeteilt. Die geförderten Projekte werden BAM-intern veröffentlicht.
- Die *Typ 2-Förderung* zielt auf die verbesserte Verknüpfung der Disziplinen innerhalb der BAM. So können in diesen übergreifenden Projekten beispielsweise Konzepte, experimentelle Methoden und Vorgehensweisen, die sich in einem Fach bewährt haben, auf andere Fragestellungen übertragen werden. Der Umfang eines solchen Projektes beträgt maximal zwei Doktorandenstellen für je drei Jahre und eine Postdoc-Position für ein Jahr im Verlauf des Projektes. Zusätzlich werden pro Jahr maximal 10 k€ Verbrauchsmittel zur Verfügung gestellt. Das Auswahlverfahren erfolgt analog zur Typ 1-Förderung. Ein zusätzlicher Schwerpunkt der Begutachtung ist der multidisziplinäre Charakter der Projekte.

FÖRDERLINIE MENSCHEN

Diese Förderlinie unterstützt individuelle Leistungen und Talente und macht sie für Aufgaben und Ziele der BAM sichtbar. Im Einzelnen gehören dazu neben bewährten Elementen wie dem Adolf-Martens-Postdoc-Programm auch neu zu entwickelnde Elemente wie ein Alumni-Netzwerk. Die Maßnahmen werden zumeist aus zentralen Mitteln der BAM kompetitiv finanziert und begutachtet.

- Menschen^{AM} bezeichnet das internationale Adolf-Martens-Postdoc-Programm, das seit 2006 jungen ausländischen Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern aus zentralen Mitteln einen kurzen Forschungsaufenthalt an der BAM ermöglicht, um neues Wissen in die Themenfelder der BAM zu integrieren und Möglichkeiten zur Weiterqualifikation und Vernetzung bietet.

- Menschen^{JP} umfasst das Ziel, neue Arbeitsgebiete an der BAM durch eine gemeinsam mit einer Universität etablierte Juniorprofessur aufzubauen. Dazu sollen bis zu zehn Juniorprofessuren in der BAM zentral als zeitlich befristete Nachwuchsgruppen etabliert werden. Die Berufung erfolgt durch ein „non-tenure“-Verfahren, die Karriereentwicklung der Nachwuchskräfte wird aktiv durch die BAM gefördert.

- Menschen^{OF} bezeichnet die Wilhelm-Ostwald-Fellowships der BAM. Die Fellowships bieten renommierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Möglichkeit, die Zusammenarbeit mit der BAM durch einen freien Zugang zu den experimentellen Möglichkeiten der BAM zu intensivieren.

- Menschen^{Netzwerk} steht für ein Programm, welches fest angestellten und erfahrenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der BAM ermöglicht, einen Forschungsaufenthalt an anderen international renommierten Einrichtungen zu verbringen. Der Aufenthalt ist eingebunden in laufende Arbeiten der BAM und soll einen Know-how-Transfer ermöglichen und das fachliche Netzwerk der BAM dauerhaft stärken.

- Menschen^{Alumni} umfasst alle Maßnahmen für ein geplantes professionelles Management von ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BAM, die in einem externen professionellen Netzwerk zur Erfüllung der Aufgaben der BAM beitragen können.

DOKTORANDENPROGRAMM DER BAM

In dem 1996 begonnenen Doktorandenprogramm wurde zunächst maximal 30 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Möglichkeit zur Promotion gegeben. Aufgrund der sehr positiven Erfahrungen wurde die Zahl der Doktoranden bis zum Jahr 2014 auf etwa 150 Personen erweitert. Auch in den Folgejahren sollen etwa 150 Doktorandinnen und

² Maßnahmen der Qualitätssicherung: www.bam.de/qualitaetssicherung



Abbildung 19: Postersession auf dem BAM-Doktorandentag 2014.

Doktoranden beschäftigt werden. Dafür werden zentrale Haushaltsmittel über die Förderlinie Ideen bereitgestellt bzw. dezentrale Finanzierungen aus Mitteln der Abteilungen und externen Fördermitteln eingesetzt.

Die Promotionsverfahren erfolgen durch Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Universitäten. Nur wenige sehr gute Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden nach ihrer Promotion von der BAM übernommen. Die BAM leistet damit einen wichtigen Ausbildungsbeitrag für den wissenschaftlichen Nachwuchs in fachlichen Themen, die mit Sicherheit in Technik und Chemie verknüpft sind.

Damit die Doktorandinnen und Doktoranden 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 Doktorandinnen und Doktoranden an der BAM konkretisiert.

Zur Erweiterung der internationalen Kooperationen ist es das Ziel, in den nächsten Jahren den Anteil ausländischer Doktorandinnen und Doktoranden mit Abschlüssen von renommierten Universitäten deutlich zu erhöhen und sich damit mehr an dem internationalen Wissenschaftleraustausch zu beteiligen. Dafür wird die BAM den bestehenden unmittelbaren Dialog mit in- und ausländischen Universitäten weiter ausbauen. Auf die fachliche und organisatorische Integration ausländischen wissenschaftlichen Personals wird in der BAM besonderer Wert gelegt.

VERNETZUNG & INTERNATIONALISIERUNG

Für Forschung auf hohem Qualitätsniveau ist eine gute nationale und internationale Vernetzung mit Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen essentiell. 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. Ziel ist es, die Zahl der gemeinsamen Berufungen im Rahmen des laufenden Generationswechsels auf ca. 25 % der Leitungsfunktionen zu erhöhen. Eine verstärkte Anzahl von nebenamtlichen Lehrtätigkeiten unterstützt diese Entwicklung.

Im außeruniversitären Bereich arbeitet die BAM national und international mit zahlreichen Forschungsinstituten zusammen. Viele dieser Kooperationen basieren auf Verträgen oder einem entsprechenden Memorandum of Understanding. In Zukunft wird die BAM diese Kooperationen nicht nur europäisch, sondern global ausbauen und sich dadurch weiter mit renommierten Instituten weltweit vernetzen. Dabei wird die Netzwerkbildung in vielen Fällen von der BAM aktiv betrieben. Ein Beispiel ist das im Jahr 2007 in der BAM gegründete World Materials Research Institute Forum (WMRIF), ein Zusammenschluss der in den Materialwissenschaften und der Werkstofftechnik weltweit führenden Institute (<http://www.e-materials.net/network/WMRIF>). Auch hinsichtlich des europäischen Referenzmaterialprojekts ERM (<http://www.erm-crm.org>), an dem die BAM beteiligt ist, gibt es Bestrebungen einer weltweiten Ausweitung.

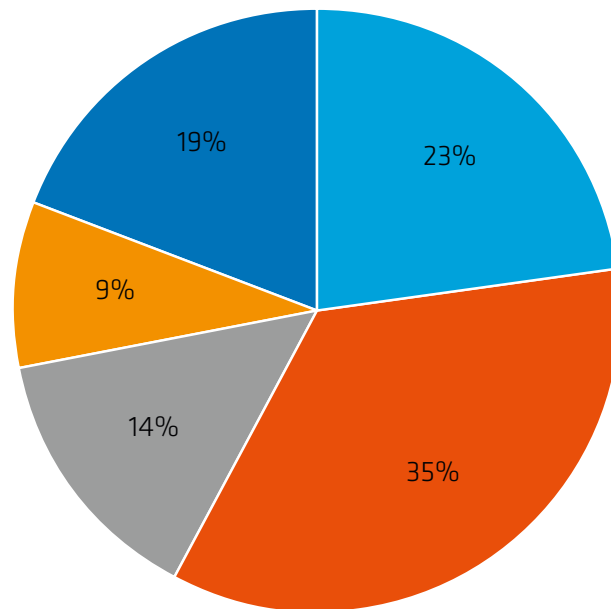
RESSOURCEN

Die BAM verfügt über ein fest budgetiertes und weitgehend flexibilisiertes Haushaltsvolumen von ca. 140 Mio. €. Zusätzlich zu den Haushaltsmitteln werden von der BAM Forschungsmittel von verschiedenen Drittmittelgebern (u.a. DFG, BMBF, EU) eingeworben und umgesetzt. Die statistischen Angaben können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Die BAM vergibt keine Mittel für extramurale Forschung nach außen.

Eine wichtige leistungsorientierte Ressource stellen eingeworbene Forschungsmittel von verschiedenen Fördermittelgebern dar. Sie sind für die BAM ein wichtiger Faktor zur Gewährleistung der wissenschaftlichen Qualität und internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Fördermittelprojekte fördern wesentlich die nationalen und internationalen Kooperationen mit Hochschulen, anderen Forschungseinrichtungen und mit der Wirtschaft. Diese

Tabelle: Statistische Angaben der BAM.

	2012	2013	2014
Haushalt (Angaben in k€)			
Personalausgaben	68.715	71.285	74.048
Sachausgaben	34.650	35.390	37.422
Bauinvestitionen	25.805	24.808	17.116
Geräte-, DV-, sonstige Investitionen	10.242	14.658	13.329
Umgesetzte Forschungsmittel	19.758	18.143	16.117
Einnahmen aus Prüfungen, Analyse, Zulassung	9.995	9.992	9.708
Einnahmen Referenzmaterialverkauf	1.097	1.101	1.281
Lizenzeinnahmen	293	258	307
Personal (Stand 31.12.)			
Mitarbeiter/innen insgesamt	1680	1574	1637
Stammmitarbeiter/innen	1089	1028	1020
Haushaltsfinanzierte Zeitangestellte (inkl. Azubis und Doktoranden/innen)	320	335	367
Vorhabenfinanzierte Zeitangestellte	271	211	250
[davon Doktoranden/innen]	[55]	[34]	[30]
Doktoranden/innen	129	141	126
Auszubildende	67	60	65
Tätigkeitsbereiche (Anteile in %)			
Forschung und Entwicklung	68 %	71%	72%
Prüfung, Analyse, Zulassung	10 %	10%	10%
Beratung und Information	22 %	19%	18%



■ Analytical Sciences
 ■ Material
 ■ Umwelt
 ■ Energie
 ■ Infrastruktur

Abbildung 20: Verteilung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auf die Themenfelder.

tragen wiederum erheblich zum Kompetenzerhalt, insbesondere aber zum Wissenstransfer bei und sichern so die Einbettung der BAM in das Gesamtgefüge der Scientific Community. Darüber hinaus sind Fördermittel ein wichtiger Faktor bei der Bearbeitung neuer Forschungsthemen ebenso wie bei der Sicherung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Aus diesen Gründen erwartet die BAM von ihren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Beantragung von Fördermitteln. Dabei wird die BAM auch in Zukunft gewährleisten, dass ihre Neutralität und Unabhängigkeit durch die Einwerbung von Drittmitteln nicht gefährdet wird. Dazu hat sie in einem Drittmittel-Codex Grundsätze für die Einwerbung von Drittmitteln festgeschrieben. Einer dieser Grundsätze ist es, eine Ausgewogenheit bei den Drittmittelumsätzen bezogen auf die Fördermittelgeber zu erreichen. Die Verteilung der Drittmittelumsätze nach Fördermittelgebern zeigt, dass eine solche Ausgewogenheit gegeben ist.

Das Kuratorium der BAM hat ebenso wie die verschiedenen Evaluationskommissionen die Entwicklung im Fördermittelbereich und die sich daraus ergebenden nationalen und internationalen Kooperationen mit Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen außerordentlich begrüßt. Um auch in Zukunft in ähnlicher Weise die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und um eine gleichmäßige Verteilung der Forschungsmittel hinsichtlich ihrer Herkunft sicherzustellen, ist der uneingeschränkte

Zugang der BAM zu den verschiedenen Fördermittelquellen eine wesentliche Voraussetzung.

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 BMWi und des BMBF zur Förderung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) beteiligen. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Beteiligung der BAM am „Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand“ (ZIM) und „Industrielle Gemeinschaftsforschung“ (IGF) des BMWi 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.

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. Als Beispiele seien der Fallturm für die Prüfung von Transport- und Lagerbehältern radioaktiver Stoffe im Originalmaßstab und der Sprengplatz in Horstwalde genannt. Die experimentellen Möglichkeiten der BAM stehen im Rahmen der vertraglichen Vereinbarungen auch den Kooperationspartnern zur Verfügung.

Für den Bereich Forschung und Entwicklung werden ca. 70 % der Arbeitszeit des Personals der BAM aufgewendet. Das befristete beschäftigte Personal ist ganz überwiegend in der Forschung tätig. Etwa 70 % der eingeworbenen Fördermittel werden für Personal bereitgestellt. Der Anteil der gesamten Personalkosten, die im Bereich Forschung und Entwicklung investiert werden, liegt bei etwa 65 %. Auch in Zukunft wird die BAM, der Empfehlung des Wissenschaftsrates folgend, eine ausreichende Verschränkung der Tätigkeitsfelder sicherstellen, um ihre Kompetenz und Wettbewerbsfähigkeit weiter auszubauen. Im Jahr 2013 wurden ca. 2,5 Mio. € Haushaltsmittel BAM-intern über das Innovationsprogramm „Ideen“ für die Bearbeitung von Forschungsthemen im Wettbewerb vergeben. Die prozentuale Verteilung des Personals auf die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in den Themenfeldern kann Abbildung 20 entnommen werden.

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 des wissenschaftlichen Nachwuchses bewusst und richtet sich grundsätzlich nach dem

EU-Verhaltenskodex für die Einstellung von Forschern.

In vielen Bereichen der BAM werden Studenten verschiedener Universitäten und Fachhochschulen im Rahmen von Studien-, Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten sowie Praxissemestern ausgebildet. Auch mit der nebenberuflichen Lehrtätigkeit ihrer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Universitäten und Fachhochschulen trägt die BAM zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses bei, vor allem in den für die Aufgaben der BAM bedeutsamen Fachgebieten. Aktuell sind 25 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM auf Professuren (S-, Honorar-, apl.- und Junior-Professuren) und als Privatdozenten an Universitäten berufen.

Im Rahmen ihrer Kooperationen mit den benachbarten Universitäten beteiligt sich die BAM an Anträgen im Rahmen der Exzellenzinitiative, die in die Arbeitsschwerpunkte der BAM fallen. Die Graduiertenschule „School of Analytical Sciences Adlershof“, SALSA, wurde zusammen mit der Humboldt-Universität am Standort Adlershof eingeworben und für den Zeitraum 2013-2017 etabliert. Diese Konfiguration und Zusammenarbeit ist in Deutschland einmalig und unterstreicht die exzellente Aufstellung der BAM in diesem Feld gemeinsam mit der Universität.

BILDERLÄUTERUNGEN

Abbildung 1, Seite 6:

Symposium zu Gefahrgutverpackungen am Fallturm auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit in Horstwalde.

Abbildung 2, Seite 8:

Technologietransfer: DIN-Innovationspreis 2014 an Grasse Zur Ingenieurgesellschaft mbH, ein aus der BAM ausgegründetes StartUp-Unternehmen.

Abbildung 3, Seite 10:

Teil eines Rotorblattes einer Windenergieanlage im Prüfstand zur Untersuchung des Betriebsfestigkeits- und Schädigungsverhaltens unter Schlag- und Schwenklast.

Abbildung 4, Seite 12:

Wasserstoff-Speicherung in Glas-Kapillaren. Ein Array besteht aus 91 Rundkapillaren.

Abbildung 5, Seite 13:

Vergleich der Ergebnisse der Stauchversuche einer Schichtholzprobe als Stoßdämpfer für Transportbehälter mit einer numerischen Simulation.

Abbildung 6, Seite 14:

Kalibrierung von faseroptischen Sensoren zum Monitoring von Infrastrukturbauwerken.

Abbildung 7, Seite 16:

CBRNE-Sensoren: Detektionssysteme für chemische, biologische, radioaktive, nukleare und explosive Gefahrstoffe.

Abbildung 8, Seite 18:

Brandversuch mit einem zu 20% mit Ethanol befülltem 2700 Liter Tank mit Sicherheitsventil im Feuer auf dem Brandprüfstand in Horstwalde auf dem BAM TTS.

Abbildung 9, Seite 19:

Entwicklung eines validierten Verfahrens zur Bestimmung von Nanopartikel-Emissionen aus Druckern und Kopierern in der Luft.

Abbildung 10, Seite 20:

Bestimmung der Gadolinium-Konzentration in Oberflächenwasser.

Abbildung 11, Seite 21:

Pilzbefall an Holz.

Abbildung 12, Seite 24:

Hochgeschwindigkeitsprüfmaschine zur Untersuchung von Materialien.

Abbildung 13, Seite 25:

Erprobung verschiedener Untersuchungsverfahren zur Materialidentifizierung und zur Charakterisierung von Schädigungsmechanismen.

Abbildung 14, Seite 27:

Bewitterung und Untersuchung von Polymerproben.

Abbildung 15, Seite 28:

Referenzmaterialien der BAM.

Abbildung 16, Seite 30:

Korropad: Schnelltest für Oberflächen nichtrostender Stähle.

Abbildung 17, Seite 31:

Mikrotiterplatte mit fluoreszierender Lösung unter UV-Licht.

Abbildung 18, Seite 32:

Zahl der referierten Zeitschriftenartikel der BAM von 2004 bis 2014 aus dem ISI Web of Science.

Abbildung 19, Seite 34:

Postersession auf dem BAM-Doktorandentag 2014.

Abbildung 20, Seite 36:

Verteilung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auf die Themenfelder.

