

Forschungsprogramm

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
2009 – 2010

Impressum

Forschungsprogramm 2009 – 2010

Herausgeber
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin
Postanschrift: 12200 Berlin
Telefon: 030 8104-0
Telefax: 030 8112029
E-Mail: info@bam.de
Internet: www.bam.de

Redaktion:
Prof. Dr. Thomas Böllinghaus (verantw.), VP
Dr. Angelika Recknagel, BAM-PST
Dr. Jürgen Lexow, BAM-PST

unter Mitarbeit zahlreicher Damen und Herren in den Abteilungen

Layout:
BAM-Arbeitsgruppe Z.64

Nachweis von Bildern und Grafiken
BAM-Fachabteilungen und Arbeitsgruppe Z.64

Inhalt

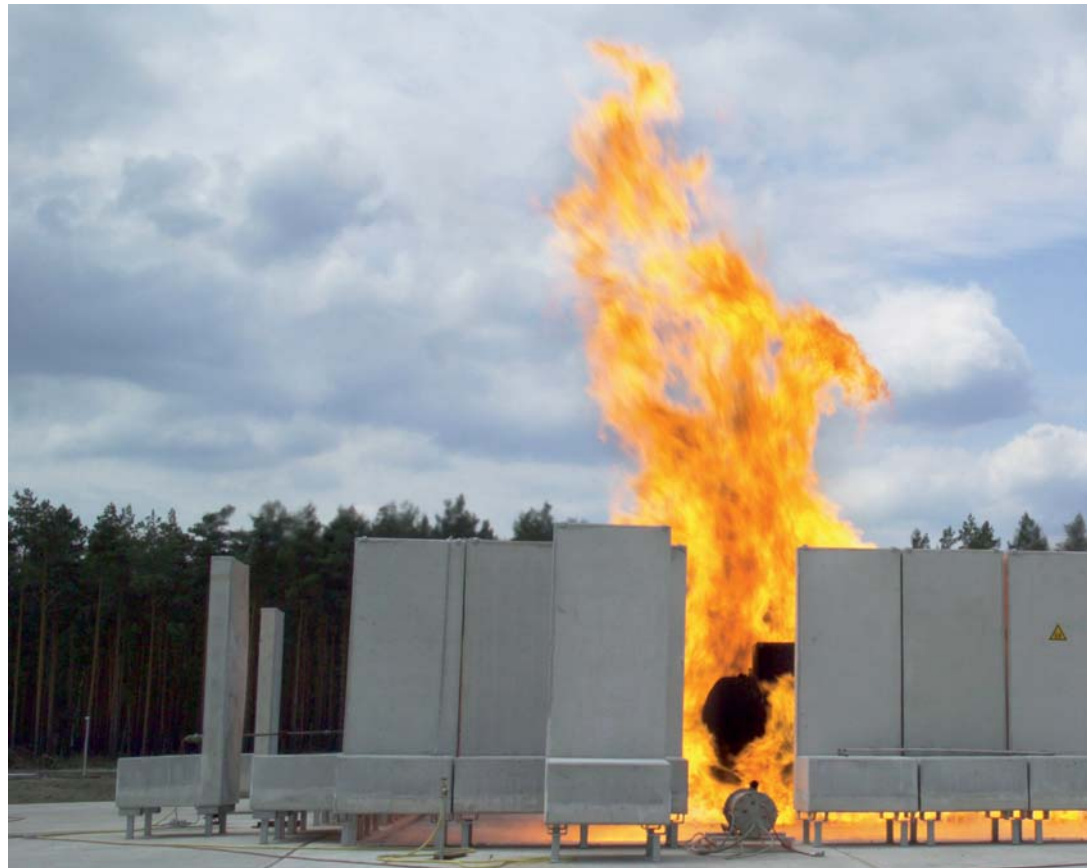
Einleitung	2
Forschungsauftrag	2
Sicherheit in Technik und Chemie	
Forschungsthemen	5
Übergreifende Forschungsthemen	6
Modellierung und Simulation	6
Wasserstofftechnologie	9
Vorbeugender Brand- und Explosionsschutz	11
In-Situ-Messtechnik und Monitoring	13
Extrembeanspruchung	16
Forschungsthemen in den Arbeitsschwerpunkten	19
Analytische Chemie	19
Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen und Gefahrgütern	21
Sichere und umweltverträgliche Verwendung von Materialien	25
Sicherer Betrieb von technischen Systemen und Prozessen	26
Schädigungsmechanismen und Schadensanalyse	29
Rahmenbedingungen	33
Qualität der Forschung	34
Ressourcen	34
Ausstattung	35
Wissenschaftlicher Nachwuchs	36
Vernetzung	37
Abbildungsverzeichnis	38

Einleitung

In den Zeiten der Globalisierung und der beschleunigten technologischen Entwicklungen lassen sich in den Industrieländern nur mit einer entsprechenden Innovationsdynamik und -dichte die Herausforderungen im Hinblick auf Wachstum, Beschäftigung und Strukturwandel erfüllen. Grundvoraussetzung hierfür ist eine leistungsfähige Forschung. Um die Forschungsinfrastruktur in der Bundesrepublik zu erhalten und global wettbewerbsfähig zu bleiben, sind verstärkte Investitionen des Staates und der Wirtschaft notwendig. Mit den Investitionen im Rahmen der Hightech-Strategie hat die Bundesregierung einen wichtigen Schritt zur Förderung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in Deutschland getan. Die Investitionen in die Forschungsinfrastruktur des Landes sind nun von den Forschungseinrichtungen und Universitäten effektiv und effizient zu nutzen.

Für einen möglichst wirksamen Einsatz der Forschungsetats sind Forschungsprogramme sowohl für die Forschungseinrichtung als auch für die Mittelgeber ein wichtiges Instrument im Hinblick auf die Darstellung der Aktivitäten. Dies gilt insbesondere für die Ressortforschungseinrichtungen des Bundes, zu denen die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zählt. Diese Einrichtungen verfügen über einen klaren Auftrag und ihre Forschung ist mit der Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben verbunden. Forschungsprogramme dienen daher besonders in diesen Einrichtungen dazu, Perspektiven im Bereich ihres Aufgabenfeldes sowie ihre Forschungsaktivitäten transparent darzustellen und politisch vertretbar zu machen.

Das vorliegende Forschungsprogramm der BAM gibt einen Überblick über die in den nächsten Jahren aktuellen Forschungsthemen und die hierfür erforderlichen Ressourcen und Rahmenbedingungen.



Forschungsauftrag Sicherheit in Technik und Chemie

Technik und Chemie bestimmen die Lebens- und Arbeitswelt des Menschen. Die BAM hat den Auftrag, ihren Einsatz sicher und umweltfreundlich zu gestalten. Für den Schutz der Bürger unseres Staates ist die technische Sicherheit als ebenso relevant einzustufen wie die innere und die äußere Sicherheit. Durch ihre Tätigkeiten trägt die BAM wesentlich zum wirtschaftlichen Erfolg Deutschlands und zur Akzeptanz der Technik in der Gesellschaft bei. Ein wesentliches Merkmal ihrer Aufgaben ist die für eine Ressortforschungseinrichtung typische Verknüpfung von Forschung und Entwicklung mit anderen wissenschaftlichen Dienstleistungen, die zum Teil hoheitlich begründet sind. Gerade die Verschränkung der drei Tätigkeitsbereiche Forschung und Entwicklung (FE), Beratung und Information (BI) und Prüfung, Analyse, Zulassung (PAZ) ist ein Alleinstellungsmerkmal der BAM im Bereich der Sicherheitstechnik und bedingt – zusammen mit ihrer interdisziplinären Ausrichtung – eine ihrer Stärken.

Die BAM unterstützt mit ihren Tätigkeiten die Bundesregierung, beispielsweise im Rahmen wissenschaftlicher Politikberatung. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse der BAM dienen dabei nicht nur dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), dem die BAM nachgeordnet ist, als Entscheidungsgrundlagen bei der Erfüllung seiner Fachaufgaben. Sie haben auch direkten Bezug zu den Aufgaben anderer Ressorts, wie zum Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), zum Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), zum Ministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) und zum Bundesministerium des Innern (BMI). Wesentliche Zielgruppen der BAM sind neben der öffentlichen Verwaltung Wirtschaftsunternehmen, Normungs- und Regelsetzungsinstitutionen, Forschungseinrichtungen und Verbände der Wirtschaft und der Technik. Insbesondere die Aktivitäten in der Normung und Regelsetzung sowie die Beiträge



für die Entwicklung einer innovativen Infrastruktur tragen zur Unterstützung der deutschen Wirtschaft bei.

Im Rahmen ihres Auftrages als Bundesanstalt, die Sicherheit in Technik und Chemie weiterzuentwickeln, ist die BAM mit der Wahrnehmung folgender Aufgaben betraut:

- Erfüllung hoheitlicher Funktionen zur öffentlichen technischen Sicherheit, insbesondere im Gefahrstoff- und Gefahrgutbereich,
- Beratung der Bundesregierung, der Wirtschaft sowie der nationalen und internationalen Organisationen im Bereich der Materialtechnik 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 Stoffen, Materialien, Konstruktionen und Verfahren im Hinblick auf Sicherheit, Gesundheit, Umweltschutz und den nachhaltigen Erhalt volkswirtschaftlicher Werte.

Dies kann nur durch umfangreiche eigene Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten realisiert werden. Im Hinblick auf die Aufgabenvielfalt der BAM kommt der Forschungsplanung sowie der systematischen Entwicklung neuer Forschungsprojekte eine wichtige Rolle zu. Die Forschungsthemen der BAM werden konsequent am Bedarf von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft ausgerichtet. Ein direkter Kontakt mit den Zielgruppen ist dabei unerlässlich. In die Themenplanung sowie in die Erstellung des Forschungsprogramms eingebunden sind auch die wissenschaftlichen Beiräte und das Kuratorium der BAM. In einer Zielvereinbarung mit dem BMWi wird die generelle Ausrichtung festgeschrieben, die im Forschungsprogramm sowie in BAM-internen Zielvereinbarungen umgesetzt wird.

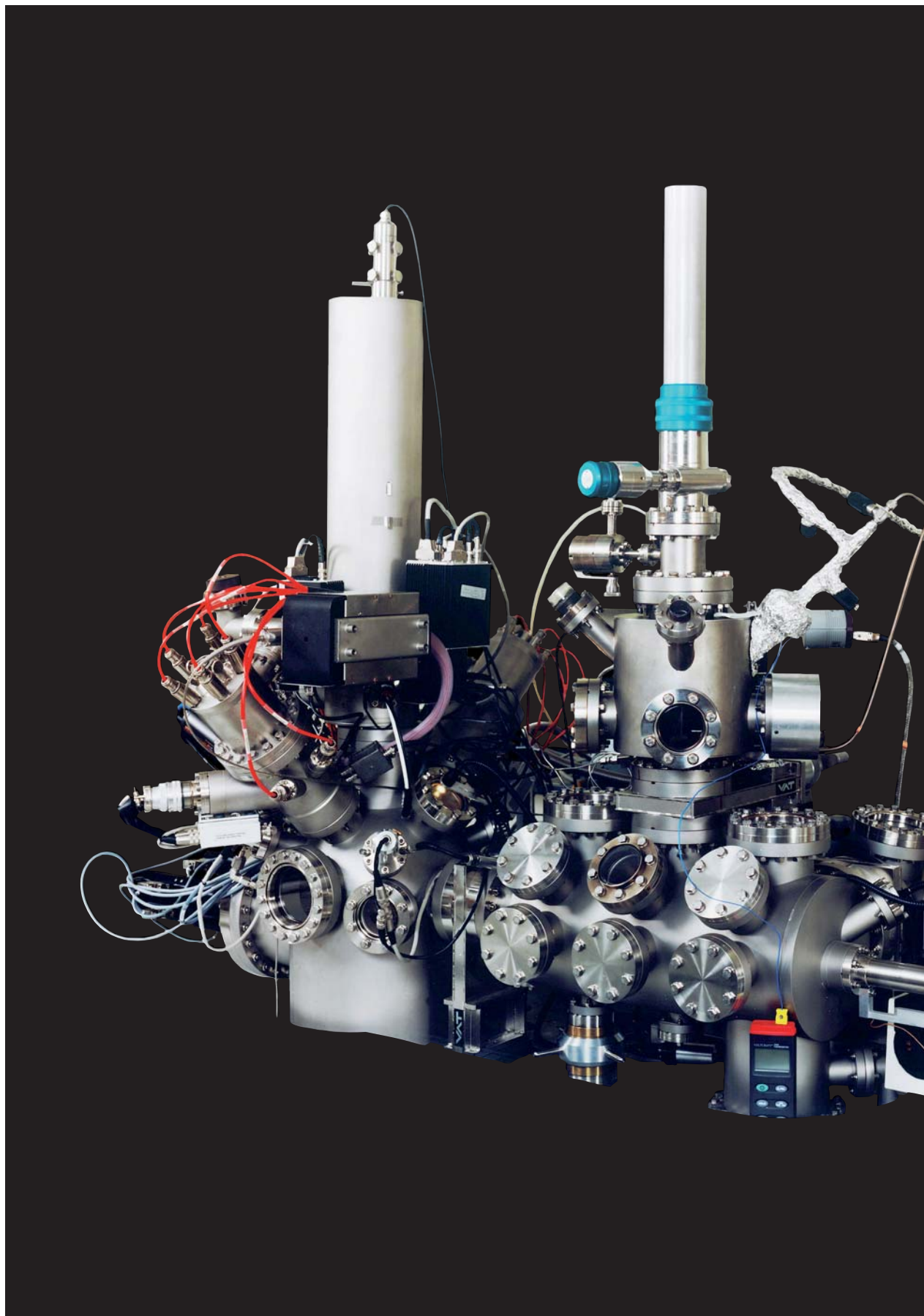
Eine besondere Herausforderung für die BAM ist die Notwendigkeit, wissenschaftliche Kompetenz sowohl kurzfristig abrufen als auch langfristig angelegte Fragestellungen kontinuierlich bearbeiten zu können. Den Bezug der Forschung auf die politik- und technikrelevanten Themen im Aufgabenbereich erreicht die BAM durch eine Ausrichtung ihrer Inhalte auf die Leitlinie >Sicherheit in Technik und Chemie<. Bei der Bearbeitung der Forschungsthemen handeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler frei in der Wahl der Verfahren, unabhängig bei der Interpretation der Ergebnisse und eigenverantwortlich hinsichtlich Ethik und Qualität.

Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegen in der pränormativen Forschung, in der Weiterentwicklung von Prüf- und Analyseverfahren, in der Vervollständigung und

Vertiefung sicherheitsrelevanter Erkenntnisse sowie in der Aufklärung von Schädigungsmechanismen und der Untersuchung des Materialverhaltens. Dabei werden insbesondere innovative und für die Gesellschaft relevante technische Produkte und Prozesse durch sicherheitstechnische Vorsorgeforschung und Technikfolgenabschätzung begleitet. Um innerhalb dieses Rahmens eine bestimmte Fragestellung zu lösen, kann es erforderlich sein, das komplette Spektrum zwischen angewandter und Grundlagenforschung auszuschöpfen. Diese Flexibilität wirkt sich ebenso wie die Interdisziplinarität der BAM als äußerst vorteilhaft bei der Lösung der komplexen wissenschaftlichen Aufgaben in der technischen Sicherheit aus. Gerade die Interdisziplinarität kennzeichnet die Arbeit der BAM und hebt sie von vielen Forschungseinrichtungen ab. Sie ermöglicht eine umfassende interne Zusammenarbeit unter Einbindung diverser natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fachrichtungen. Wesentliche Merkmale der wissenschaftlichen Aktivitäten der Einrichtung sind darüber hinaus die Regelsetzungsrelevanz und die Kontinuität, neben der Neutralität und Unabhängigkeit.

Die BAM verfährt in ihrem Technologietransfer entsprechend den Leitlinien der Verwertungsoffensive des BMBF mit den zentralen Aktionslinien:

- Patent- und Verwertungsinfrastruktur
- Schutzrechtliche Sicherung von Forschungsergebnissen
- Verwertung von Forschungsergebnissen



Forschungsthemen

Die Bundesregierung hat in der Hightech-Strategie 17 Themenkomplexe identifiziert, die für die Entwicklung Deutschlands im Hinblick auf die Innovationsfähigkeit und zukünftige Herausforderungen von Relevanz sind, wie zum Beispiel die Energietechnologien, die Umwelttechnologien, die Werkstofftechnologien und die Sicherheitstechnologien. In zahlreichen der genannten Themenbereiche ist die BAM schon seit vielen Jahren erfolgreich tätig.

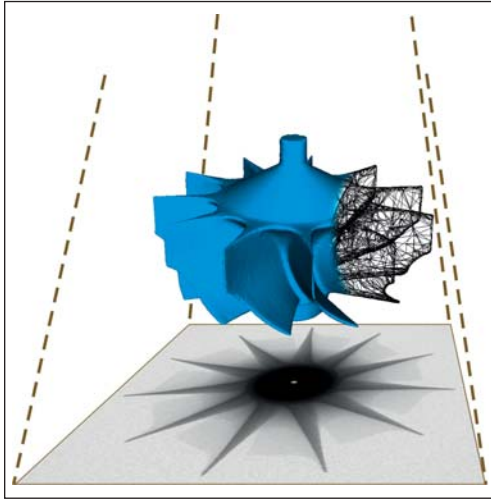
Die Forschungsthemen sind in der BAM fünf abteilungsübergreifenden Arbeitsschwerpunkten zugeordnet:

- Analytische Chemie
- Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen und Gefahrgütern
- Sichere und umweltverträgliche Verwendung von Materialien
- Sicherer Betrieb von technischen Systemen und Prozessen
- Schädigungsmechanismen und Schadensanalyse

Darüber hinaus gibt es in der BAM auch Forschungsaktivitäten in dem Bereich Konformitätsbewertung/Akkreditierung. In dem vorliegenden Forschungsprogramm werden die für die Arbeitsschwerpunkte wichtigen allgemeinen Forschungsziele dargestellt sowie die Themen näher erläutert, die in der Laufzeit des Forschungsprogramms neu aufgegriffen bzw. besonders gefördert werden sollen. Einen Überblick über die Gesamtheit der Forschungsaktivitäten gibt die Webseite der BAM (www.bam.de).

Im Hinblick auf die strategische Entwicklung der BAM wurden zusätzlich übergreifende Fragestellungen, die sich durch eine besondere Aktualität oder Forschungsbedarf auszeichnen, aufgegriffen und den Arbeitsschwerpunkten vorangestellt. Für hoch innovative Forschungsthemen werden BAM-intern Haushaltsmittel im Wettbewerb vergeben.

Übergreifende Forschungsthemen



Modellierung und Simulation

Auf vielen Arbeitsgebieten ist Forschung und Entwicklung ohne Anwendung von Modellen und Simulationsverfahren nicht mehr vorstellbar. Physikalische, chemische und biologische Reaktions- und Transportvorgänge werden durch mathematische Modelle nachgebildet. Sowohl zerstörungsfreie, zerstörungsarme als auch zerstörende Prüfungen erfordern zum Verständnis der Beobachtungen und Messungen zunehmend eine rechnerische Nachbildung der Phänomene.

Unter „Modellierung“ wird hier die Entwicklung und Validierung einer geschlossenen, konsistenten Theorie zur Beschreibung eines Systems als Funktion eines Parametersatzes verstanden. Dieses „Modell“ kann mit Hilfe geeigneter Werkzeuge zur „Simulation“ der Weiterentwicklung des Systems eingesetzt werden, d.h. zur Vorhersage der neuen Zustände dieses Systems. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Aktivitäten sich in einem sehr breiten Spektrum der Längenskalen entfalten – von der Molekularebene über Nano- und Mikrostrukturen bis hin zu Makrostrukturen in der Größenordnung 10^0 m bis 10^2 m.

Nichtlineare, dynamische und kombinierte Beanspruchungen technischer Produkte stellen eine dauerhafte Herausforderung an die Weiterentwicklung der Simulationstechniken dar. Gleichzeitig bleiben Material- und Bauteilversuche zur Kalibrierung der verwendeten Parame-

ter 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 sehr genau und zuverlässig Kennwerte zur Beschreibung des Verhaltens von Werkstoffen und Systemen unter vielfältiger Beanspruchung ermittelt. Gegenwärtig wird in mehreren Abteilungen der BAM zu ausgewählten Fragestellungen die wissenschaftliche Durchdringung der untersuchten Vorgänge zur Ableitung von neuen bzw. zur Weiterentwicklung von bestehenden Modellen vorgenommen. Der spezielle Inhalt dieses Forschungsthemas liegt dementsprechend nicht nur in der gezielten und fachgerechten Anwendung der Simulationsverfahren auf immer vielfältigere Fragestellungen, sondern insbesondere auch auf der Weiterentwicklung der Verfahren selbst im Hinblick auf eine zuverlässige Beschreibung multivariabler Systeme. Zukünftige Forschungsaufgaben für die BAM sind in folgenden Themenfeldern zu sehen:

Werkstoffverhalten

In der Werkstofftechnik liegt der Forschungsschwerpunkt der BAM im Bereich der Modellierung des Werkstoffverhaltens für unterschiedliche Werkstoffklassen und kombinierte Beanspruchungen, z.B. unter thermo-mechanischer und korrosiver Beanspruchung, die auch zyklisch sein kann. Zur Vorhersage von Lebensdauern entwickelt die BAM die Simulationstechniken kontinuierlich weiter. Ein weiteres Forschungsthema umfasst die Beschreibung struktureller Veränderungen infolge Beanspruchung, z. B. die Mikrorissbildung in Polykristallen durch Ermüdungsbeanspruchung.

Das thermomechanische Verhalten geschweißter Bauteile wird z. B. sowohl mit Hilfe numerischer Simulationen als auch mit selbstentwickelten Modellen auf der Grundlage analytischer Ansätze in Verbindung mit neuronalen Netzen durchgeführt. Langfristig soll mit diesen Untersuchungen die Vorhersage und Optimierung schweißbedingter Temperaturfelder, Eigenspannungen und Verzüge in realen Bautei-

len gelingen. Schwerpunkte in der Schweißsimulation während der nächsten Jahre sind dabei insbesondere die Entwicklung neuer Wärmequellenmodelle, die Berechnung des Umwandlungsverhaltens, der Eigenspannungen und der Verzüge beim Schweißen dicker Bleche sowie die Berechnung des Heiß- und Kaltrissverhaltens geschweißter Bauteile. Ein weiteres Forschungsthema sind die in den letzten Jahren konsequent weiterentwickelten Modellierungen des Rissfortschrittes in wasserstoffhaltigen Mikrostrukturen von Schweißverbindungen. In naher Zukunft kommt es darauf an, diese Simulationstechniken auf andere Werkstoffe und Bauteile zu übertragen, um sie schließlich generell in Lebensdauerabschätzungen sicherheitsrelevanter Bauteile einfließen zu lassen.

Im Bereich des Materialschutzes stellt die Modellierung des Korrosionsverhaltens von Stahl in Beton als Beitrag zu einer Lebensdauerbemessung 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 in den nächsten Jahren ist dementsprechend 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.

Eine spezielle Fragestellung des Korrosionsverhaltens betrifft die Wechselwirkung von Festkörperoberflächen bei hohen Temperaturen, hohem Druck und fließendem Medium. In petrochemischen Anlagen, Verbrennungskraftwerken, Vergasungsanlagen und Müllverbrennungsanlagen reagieren heiße Gase mit Oberflächen von Bauteilen. Rohrreißer, verursacht durch Materialabtrag, mit Austritt von heißem Dampf, Gasen oder Gemischen stellen ein Gefahrenpotential für Beschäftigte und Umwelt dar. Die Forschung an der BAM auf diesem Gebiet soll zukünftig vor allem die Frage beantworten, welcher Werkstoff unter welchen Beanspruchungsbedingungen in solchen Bauteilen oder Anlagen geeignet ist. Dazu werden experimentelle Untersuchungen durchgeführt und mit Hilfe numerischer Simulationsverfahren ausgewertet.

Das mittelfristige Ziel dieser Forschung ist die Entwicklung eines vollständigen Korrosionsmodells für martensitisch-ferritische Stähle und niedrig legierte Stähle, welches eine vollständige Massenbilanzierung einschließt.

Eine weitere Anwendung numerischer Simulationen im Materialschutz ist die Nachbildung von Alterungsprozessen und Degradationsmechanismen z.B. bei Polymerbaustoffen. Hier besteht ein erheblicher Forschungsbedarf, denn die Alterung ist je nach Material, Beanspruchung und Dimensionierung spezifisch, insbesondere unter den starken synergetischen und antagonistischen Wirkungen der einzelnen Belastungsfaktoren. Ein weiteres Forschungsgebiet aus dem Bereich der Polymerphysik/-chemie befasst sich unter enger Verzahnung von experimentellen und numerischen Untersuchungen mit molekulardynamischen Vorgängen in glasigen Polymeren unter erhöhtem Druck in Verbindung mit Quell- und Relaxationsprozessen.

Bauwerkssicherheit

Im Bereich der Bauwerkssicherheit stellt sich der Forschungsbedarf zu aktuellen Fragestellungen auf zwei sehr unterschiedlichen Ebenen dar:

Im Baustoffbereich wird die Systembeschreibung zunehmend von der phänomenologischen Vorgangsbeschreibung auf die grundlegende Erfassung der chemisch-physikalischen Zusammenhänge auf Mikro- und Nanoebene verlagert. Derzeit werden für verschiedene Schädigungs- und Transportvorgänge entsprechende Modellansätze entwickelt. Eine Aufgabe der BAM in den nächsten Jahren ist die Umsetzung dieser Modelle in numerische Simulationsverfahren.

Auf der Makro- und Bauteilebene ergibt sich zunehmend wachsender Handlungsbedarf durch den Einsatz neuer Baustoffe und Baustoffkombinationen mit sehr unterschiedlichen Materialcharakteristika. Zukünftiger Forschungsbedarf in der Modellierung besteht insbesondere an der Schnittstelle verschiedener Baustoffe oder Bauteile, d.h. bei der Erfassung deren unterschiedlichen Strukturverhaltens in konsistenten numerischen Modellen. Drei ausgewählte Forschungsthemen aus dem Bereich der Bauwerkssicherheit seien hier beispielhaft genannt:

- Die Boden-Bauwerk-Wechselwirkung beschreibt das Zusammenwirken des nichtlinearen, statischen und dynamischen Tragverhaltens eines Bauwerkes und des Baugrundes bzw. der Gründungselemente. Aufgrund der sehr wesentlichen Maßstabseinflüsse ist eine Nachbildung des Gesamttragverhaltens im Versuch kaum möglich und bleibt der numerischen Simulation vorbehalten. Der zukünftige Forschungsbedarf auf diesem Gebiet umfasst insbesondere die Fortschreibung der bisher entwickelten Modelle für die Berücksichtigung der Wellenausbreitung in Halbräumen (2½- und 3-D-Modelle), die Entwicklung spezieller Koppellemente zwischen Bauwerk und Boden sowie die Struktur-Fluid-Interaktion.
- Ergänzend zum allgemeinen Tragverhalten unter komplexer Beanspruchung ist das Langzeitverhalten von Gründungskonstruktionen genauer zu untersuchen. Dies umfasst derzeit insbesondere Untersuchungen zum Verhalten von Offshoregründungen unter zyklischen Einwirkungen sowie zum Tragverhalten von Schienenfahrwegen für Hochgeschwindigkeitsverkehr unter statischer und dynamischer Einwirkung. Die künftigen Forschungsarbeiten betreffen die Weiterentwicklung von Modellen zur Erfassung nichtlinearer und zyklischer Materialverhaltens in geeigneten numerischen Simulationsverfahren.
- Eine weitere Herausforderung sowohl in versuchstechnischer als auch in numerischer Hinsicht stellen Weiterentwicklungen spezieller technischer Bauteile dar, für die aufgrund des Einsatzes neuer Werkstoffe und Werkstoffkombinationen immer wieder neue bzw. modifizierte Material- und Elementansätze für die Modellbildung im Rahmen von Simulationsverfahren entwickelt werden müssen. Zurzeit betrifft dies im Bereich der Bauwerksicherheit z.B. Stahl-Gussknoten für Offshore-Windkraftanlagen und spezielle energieverzehrende Elemente für dynamisch beanspruchte Bauteile.

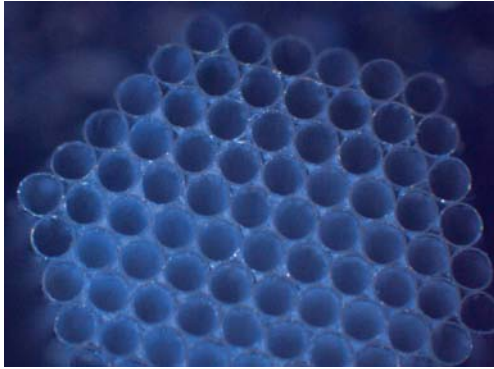
schen Ausbreitungs- und Transportphänomene im Prüfgegenstand werden durch entsprechend angepasste mathematische Verfahren nachgebildet. Damit werden viele Signale, z.B. bei Ultraschall-, Röntgenprüfung und Computertomografie, überhaupt erst interpretierbar. Auch die Rekonstruktion und bildliche Darstellung von Prüfergebnissen wird durch Modellierungsverfahren unterstützt.

In den nächsten Jahren sind wesentliche Fortschritte durch die Verknüpfung von Daten und Modellen verschiedener physikalischer Methoden zu erwarten. Bisher erfolgte die Verknüpfung auf der Ebene von Bildern oder allenfalls 3D-Voxelgeometrien. Für die Zukunft strebt die BAM eine frühzeitige Verknüpfung von Mess- und Rohdaten an, um einen Informationsverlust durch Komprimierung und Reduktion auf einzelne Bildebenen zu vermeiden.

Daneben sind die Rechenverfahren weiter zu verbessern, um auch die zerstörungsfreie Prüfung von komplexeren Geometrien, Werkstoffverbunden und Schichtaufbauten zutreffend zu modellieren. Die Rekonstruktion und Darstellung von Datensätzen der zerstörungsfreien Prüfung kann durch optimierte modellgestützte Ansätze erheblich beschleunigt werden.

Zerstörungsfreie Prüfung

Entwicklung und Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren sind ohne Modellierung und Simulation nicht mehr vorstellbar: Sowohl die akustischen, elektromagnetischen und thermografischen Sensoren als auch die physikali-



Wasserstofftechnologie

Der Einsatz von Wasserstoff als alternativer Energieträger wird intensiv diskutiert und untersucht, wobei viele technische Anwendungen denkbar sind, von der Kleingeräteversorgung über Kraftfahrzeuge bis hin zur Energieversorgung von Gebäuden. Unter diesen Voraussetzungen muss neben den eigentlichen Anwendungen auch die entsprechende Infrastruktur, wie z. B. Versorgungsleitungen und Speicherbehälter, entwickelt werden.

Im Zusammenhang mit der Wasserstofftechnologie eröffnen sich für die BAM Forschungsperspektiven und -notwendigkeiten in zwei Richtungen.

Im Bereich der chemischen Sicherheitstechnik beschäftigt sich die BAM schon seit längerer Zeit intensiv mit dem sicheren Umgang mit Wasserstoff und dem sicheren Einsatz entsprechender Technologien.

Ein Forschungsthema der Werkstofftechnik sind die Folgen einer möglichen Absorption von Wasserstoff in den für neue Technologien verwendeten Werkstoffen, insbesondere mit einer einhergehenden Änderung der ursprünglichen Eigenschaften und einem daraus resultierenden potentiellen Schadensrisiko.

Um Schäden an sicherheitsrelevanten Bauteilen und Komponenten für die innovative Wasserstofftechnologie ausschließen bzw. weitgehend vermeiden zu können, sind gemeinsame Forschungsaktivitäten verschiedener ingenieur- und naturwissenschaftlicher Disziplinen erforderlich. Daher wird eine noch stärkere interdisziplinäre Vernetzung der Forschungsarbeiten sowohl innerhalb der BAM als auch mit anderen Forschungseinrichtungen angestrebt, ähnlich wie sie sich auch in den Instituten anderer

Länder, beispielsweise in Japan, bereits vollzogen hat. Für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM, die sich vorrangig mit dem Thema Wasserstoff beschäftigen, stehen in den nächsten Jahren folgende Forschungsthemen im Vordergrund:

Einfluss von Wasserstoff auf das Werkstoffverhalten von Speicherbehältern und Transportsystemen (Pipelines)

Im Hinblick auf eine sichere Speicherung bzw. einen sicheren Transport von Wasserstoff ist es erforderlich, Verfahren für eine Lebensdauervorhersage von diesen Behältern/Systemen vorzuhalten. Ziel der Forschungsarbeiten in der BAM ist es, die relevanten Parameter, die die Lebensdauer beeinflussen, zu erfassen und zu beschreiben. Neben der primären Belastung durch den Innendruck soll in den nächsten Jahren insbesondere das Wasserstoff-Absorptionsverhalten im direkten Kontakt mit Wasserstoff bei Drücken von bis zu 1000 bar untersucht werden. In den Untersuchungen stehen die thermo-mechanische Beanspruchbarkeit, das Verhalten von Polymerwerkstoffen und mögliche Degradationen von metallischen Werkstoffen im Vordergrund. Frühere Untersuchungen haben zwar gezeigt, dass die in solchen Umgebungen absorbierte Wasserstoffkonzentration vom Oberflächenzustand abhängig ist, jedoch wurde dies für die neuen im Bereich der Wasserstofftechnologie eingesetzten und sehr unterschiedlichen Werkstoffe noch nicht ausreichend quantifiziert. Nur mit diesen Kenntnissen, d. h. wie viel Wasserstoff absorbiert wird und wie viel wirklich degradierend wirkt, lassen sich Verfahren zur Lebensdaueranalyse solcher Speichermedien entwickeln.

Degradation metallischer Werkstoffe

Unter sicherheitstechnischen Aspekten untersucht die BAM bereits seit mehreren Jahren die Degradation metallischer Werkstoffe, die Wasserstoff in sehr unterschiedlichen Medien unter den verschiedensten Beanspruchungen aufnehmen können. Dies betrifft mögliche Änderungen der mechanischen Eigenschaften sowie der Mikrostruktur unter wasserstoffhaltigen Atmosphären genauso wie Untersuchungen zur wasserstoffunterstützten Spannungsris-

korrosion, zur tribomechanischen Beanspruchung von Werkstoffen in flüssigem Wasserstoff oder auch zur wasserstoffunterstützten Kaltrissbildung beim Schweißen. Im Vordergrund werden hierbei das Wasserstoffabsorptionsverhalten und die Änderungen der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe stehen, die für die zukunftsorientierten Technologien eingesetzt werden. Unter anderem sind hierzu die spezifischen Risskriterien gefügeabhängig zu quantifizieren wie z.B. die kritische Wasserstoffkonzentration, bei der eine Degradation eintritt. Dies erfordert auch eine Weiterentwicklung der Verfahren zur Wasserstoffanalyse, zumal für viele innovative Werkstoffe solche kritischen Wasserstoffkonzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze und der Messunsicherheiten der Analyseverfahren liegen. In diesem Zusammenhang stehen auch die Entwicklung und Bereitstellung von Referenzmaterialien. Aus dem gleichen Grund ist die Validierung von Wasserstoffsensoren erforderlich.

Darüber hinaus besteht erheblicher Forschungsbedarf, um die metallphysikalischen Mechanismen aufzuklären, durch die Wasserstoff eine Degradation des Werkstoffes bewirkt. In Hinblick auf eine angemessene Bauteilübertragbarkeit der Erkenntnisse sind neben Laborversuchen oftmals auch Full Scale Tests erforderlich, wobei sich entsprechende Simulationsverfahren als besonders hilfreich erwiesen haben, um die entsprechenden Degradationserscheinungen zu erklären, zu quantifizieren und zu transferieren. Die Ergebnisse solcher Forschungsarbeiten sollen insbesondere verwendet werden, um in den nächsten Jahren entsprechende Strategien zur Schadensvermeidung zu entwickeln.

Beanspruchung und Oberflächencharakterisierung von Funktionswerkstoffen

Im Bereich der Funktionswerkstoffe wird ebenfalls Forschungsbedarf gesehen und zwar bei der tribologischen und korrosiven Beanspruchung von Oberflächen in Wasserstoffumgebung sowie den entsprechenden Charakterisierungsmethoden.

Für reibbeanspruchte Bauteile stellt eine Wasserstoffumgebung eine besondere Beanspruchung dar, da diese oftmals durch Oxidschichten vor erhöhtem Verschleiß geschützt

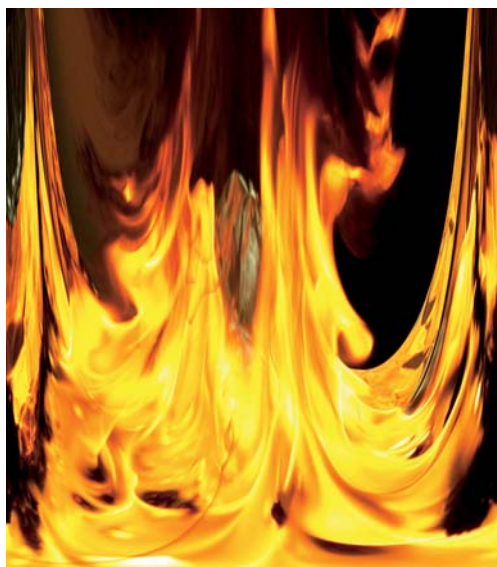
sind. Das Fehlen von Sauerstoff und die reduzierende Wirkung von Wasserstoff verhindern die Erneuerung dieser Schutzschichten und führen somit zu erhöhtem Verschleiß. Bei Verwendung von hochreinem Wasserstoff, der z. B. in Anlagen zur Mikrochipherstellung benötigt wird, müssen zudem aufgrund der Kontaminationsgefahr durch Kohlenwasserstoffe trockenreibende Systeme eingesetzt werden. Dies bedingt den Einsatz von Festschmierstoffen bzw. Verschleißschutzschichten. Hinsichtlich des Verschleißverhaltens dieser Materialien in einer Wasserstoffumgebung besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Bei metallischen Werkstoffen führen die erwähnten Degradationsmechanismen auch bei Reibbeanspruchung, insbesondere bei starker Verformung zur Rissbildung. Weitere Untersuchungen dieser Vorgänge sind z.B. für zuverlässige Dichtungssysteme notwendig.

Bei einigen Werkstoffen hat sich gezeigt, dass sowohl Reibung als auch Verschleiß in Wasserstoffumgebung abnehmen. Daraus lässt sich ableiten, dass sich durch den Einsatz speziell angepasster Werkstoffe ein erhebliches Innovationspotential erschließen lässt.

Neben der tribologischen Beanspruchung soll die korrosive Schädigung von Oberflächen durch Wasserstoff bzw. wasserstoffhaltige Medien betrachtet werden. Die chemische Veränderung von Oberflächen mit und ohne zusätzliche mechanische Beanspruchung, insbesondere bei hohen Drücken sind ebenso von Bedeutung wie elektrochemische Veränderungen an Werkstoffen für Elektrolyseure und Brennstoffzellen.

Für den Nachweis und die Aufklärung der Oberflächenveränderungen bei tribologischer und korrosiver Beanspruchung unter Wasserstoffeinfluss sind Verfahren zur abbildenden und chemischen Oberflächencharakterisierung notwendig, die in der BAM entwickelt werden. Die Untersuchung der chemischen Struktur von Oberflächen und Funktionsschichten unter Beaufschlagung mit Wasserstoff und ihre Korrelation mit den Beanspruchungsbedingungen wird als essentiell für die Funktionalität von Systemen im Bereich der Wasserstofftechnologie angesehen und aufgegriffen.



Vorbeugender Brand- und Explosionsschutz

Zur Sicherheit in Technik und Chemie im Sinne der Daseinsvorsorge des Staates gegenüber seinen Bürgern zählt elementar der Schutz vor Bränden und Explosionen, die aufgrund der unkontrollierten Freisetzung von Wärme und Brandgasen sowie – im Falle von Explosionen – ihrer Druckwirkung mit Gefahren für Personen und Sachwerte verbunden sind.

Zwar wurde bisher auf diesem Gebiet vielfältige anwendungsnahe Forschung und Entwicklung betrieben, dennoch besteht nach wie vor die grundlegende Herausforderung, die komplexe Wechselwirkung chemischer und physikalischer Einflüsse beim Ablauf von Bränden und Explosionen in allgemein gültiger Form zu erfassen und zu klären. Hierzu steht heute ein Instrumentarium von experimentellen Methoden zur Verfügung, wie z. B. zur Charakterisierung des Reaktionsverhaltens von Stoffen, und von numerischen Werkzeugen, wie z. B. zur Vorhersage der Brand-/Explosionsausbreitung in Bauwerken oder technischen Anlagen. Dieses ist weiterzuentwickeln und neuen Erfordernissen anzupassen. Ebenso müssen neue Erkenntnisse auch aus anderen Forschungsbereichen (Chemie, Materialwissenschaft, Strömungsmechanik, Numerik) eingearbeitet werden. In den nächsten Jahren werden daher von der BAM folgende interdisziplinäre Ansätze verfolgt, wobei intensiv die experimentellen Kapazitäten des Freiversuchsgeländes Horstwalde genutzt werden:

Reaktionsverhalten von Stoffen, Stoffgemischen sowie von Gegenständen im Brand- bzw. Explosionsfall

In diesen Themenkreis gehören der Flammenschutz von Polymerwerkstoffen und weiteren flammgeschützten Werkstoffsystemen, neue Baustoffe und Verbundsysteme sowie Baustoffe und Verbundsysteme in (historischen) Bestandsbauten. Weiterhin ist das Brandverhalten von brennbaren Feststoffen, z. B. Massenschüttgütern, festen Brennstoffen, Deponie- und Recyclingstoffen sowie Stäuben ein Forschungsschwerpunkt. Darüber hinaus werden weitere reaktionsfähige Stoffe und Stoffsysteme, wie z.B. brennbare und explosionsfähige Gas- und Dampfgemische sowie chemisch instabile Gase und Gasgemische untersucht.

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.

Brand- und Explosionswirkungen auf technische und bauliche Anlagen sowie Umschließungen

In diesem Themenkreis liegt der Schwerpunkt zukünftiger Untersuchungen in der Wirkung von Bränden und Explosionen auf Gefahrguttanks für den See- und Landverkehr, Tanks zur Beförderung entzündbarer Gase und Flüssigkeiten, Rohrleitungen und Rohrleitungssysteme (bei innerer Zündung), Bauteile und bauliche Anlagen unter gleichzeitiger mechanischer und durch einen Brand verursachter thermischer Beanspruchung sowie staubexplosionsgefährdete Anlagen im Fokus.

Vorbeugender Brand- und Explosionsschutz

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, der Vermeidung von BLE-

VEs (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), den Grundlagen für die Gestaltung von Gefahrguttanks zur Minderung von Brand- und Explosionswirkungen (Tankisolierung, Sicherheitseinrichtungen, druckstoßfeste Bauweise).

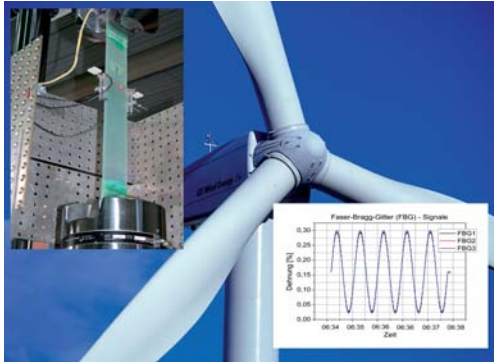
Weitere Untersuchungen betreffen konstruktive Schutzmaßnahmen bei Anlagen für chemisch instabile Gase, innovative Schutzmaßnahmen bei Anlagen für hoch verdichteten Sauerstoff (z.B. die Applikation keramischer Schutzschichten) sowie Maßnahmen zur Vermeidung mechanisch erzeugter Funken als Zündquelle für Brenngas/Luft-Gemische.

Vorhersage von Brand- und Explosionsszenarien sowie quantitative Risikoanalyse

Im Mittelpunkt der Aktivitäten der BAM in diesem Bereich stehen die numerische Simulation von Brand-Struktur-Wechselwirkungen mit nicht-linearen Materialgesetzen, die Entwicklung von Reaktionsmodellen als Module für numerische Simulationen von Brandszenarien und die Entwicklung verifizierter Methoden zur numerischen Simulation von Brandszenarien in Gebäuden, Verkehrsanlagen und baulichen Anlagen der Industrie. Beispielhaft seien hier Fragestellungen genannt, für die zugrunde liegende Modelle und damit auch die angewendeten Programme und Programmmodule ständig fortzuschreiben sind:

- Selbsterwärmungs- und Selbstentzündungsvorgänge in Gasen und Feststoffen
- Erhitzung und Entzündung von Schüttgütern infolge biologischer Zersetzungsprozesse
- Simulation von Brandszenarien und Gasausbreitung
- Druckentwicklung z.B. bei Staub- oder Sprengstoffexplosionen
- Lachenverdunstung und -verdampfung
- Deflagration in Rohrleitungen

Weiterhin werden die Verknüpfung letztgenannter Methoden mit Verfahren der quantitativen Risikoanalyse und deren Anwendung im Brandschutz angestrebt. Darüber hinaus bilden die Weiterentwicklung mathematischer Modelle zur Vorhersage von Bränden in Schüttgütern, Brennstofflagern sowie geologischen Lagerstätten (Kohleflözen) und die Berechnung der Explosionsausbreitung in verfahrenstechnischen Anlagen mit weiterentwickelten Flammen- und Turbulenzmodellen inhaltliche Schwerpunkte theoretischer Arbeiten.



In-Situ-Messtechnik und Monitoring

In letzter Zeit häufen sich Schadensfälle an Bauwerken, bei denen spontan ein Bauteil versagt und ein Teil- oder Gesamteinsturz die Folge ist. Gerade bei Brücken und Hallenkonstruktionen führt dies häufig zu hohem Personen- und Sachschaden. Das oft hohe Brückenalter und das steigende Verkehrsaufkommen (besonders die Zunahme des Schwerverkehrs) stehen in deutlichem Widerspruch zueinander. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass schnell und oft unbemerkt die Tragfähigkeit einer Brücke abnimmt mit den oben erwähnten Folgen. Analog gelten diese Versagensmechanismen auch für andere Tragwerke und technische Anlagen.

Schadensvorbeugend kommen deshalb zunehmend In-Situ-Messtechnik und Monitoring-Systeme für die Zustandsüberwachung (structural health monitoring) zum Einsatz. Werden die mit derartiger Messtechnik gewonnenen aktuellen Zustandsinformationen zusätzlich mit anderen Betriebs- bzw. Anlagedaten in ein Werterhaltungs-Managementsystem zusammengeführt, so lassen sich wirtschaftlich relevante Entscheidungen zu den jeweiligen technischen Produkten zeitnah und sachlich fundiert treffen.

Ähnliches gilt auch für chemische und biochemische Produktionsprozesse. Sensoren und Messsysteme liefern Informationen für die Führung von Prozessen, z.B. im Hinblick auf einen sicheren Ablauf, die Überwachung von Emissionen und die 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 Roh-

stoff- und Energieeinsatz und der Ersatz von Laboranalytik durch Inline-Prozessanalytik zur Absicherung reproduzierbarer Produktqualitäten.

Ausgehend von aktuellen Schadensfällen und Trendanalysen (z.B. Brückenzustandsbericht der BAST, VDI/VDE-GMA Roadmap für Prozesssensorik) wird sich die BAM im Bereich der In-situ-Messtechnik und des Monitorings in den nächsten Jahren primär mit folgenden Themen beschäftigen:

Werkstoff- und bauteilintegrierte 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 funktionalen Eigenschaften und Fähigkeiten sollen möglichst nicht oder nur gering durch die Sensorintegration beeinträchtigt werden.

Die BAM gehört zu den international führenden Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der faseroptischen Sensorik. Aufbauend auf dieser Kompetenz werden gemeinsam mit Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen die Aktivitäten zur Verbesserung der Integrationsfähigkeit von faseroptischen und piezoelektronischen Sensoren in innovative Werkstoffe in den nächsten Jahren vorangetrieben. Auch neue Sensortechnologien werden auf Integrationsfähigkeit hin untersucht. Besonders im Fokus steht die Entwicklung verteilter faseroptischer Sensornetzwerke zur Überwachung großräumiger Anlagen (z.B. Deponien), Bauwerke (z.B. Deiche) und Bauteilen (z.B. Rotorblätter von Offshore-Windenergieanlagen). 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 (z.B. Multi-Sensor-Datenfusion) zur Verarbeitung der Sensordaten entwickelt.

Selbstorganisierende Funk-Sensornetzwerke

Für die schnelle und einfache Nachrüstung von Bauwerken und Anlagen mit Sensortechnik werden selbstorganisierende Funk-Sensornetzwerke benötigt, die keine aufwändige Verkabelung erfordern. Diese müssen als Vielkanal-System mit mehr als 256 Knoten betrieben werden können, einzelne Sensorknoten müssen örtlich und zeitlich flexibel hinzugefügt oder entfernt werden können, der Energieverbrauch eines einzelnen Sensorknotens muss im Hinblick auf lange wartungsfreie Überwachungszeiten auf ein Minimum reduziert werden. Entsprechend optimiert werden müssen für diesen Anwendungsfall auch die zum Einsatz kommenden Sensoren. Die BAM wird gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie geeignete Systemlösungen entwickeln und validieren.

Monitoringbasierte Bewertung von Bauwerken und Anlagen

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 sehr weit vorangetrieben. Professionelle Technik ist inzwischen markterhältlich. Der weitere Forschungsbedarf besteht nunmehr darin, die in den Messdaten enthaltenen Informationen für den beabsichtigten Zweck nutzbar zu machen. Dazu gehört die Entwicklung von Verfahren zur automatischen Analyse von Dauermessreihen 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.

Entwicklung von Smart Structures

Unter „Smart Structures“ werden Bauteile und Bauwerke verstanden, die in der Lage sind, adaptiv auf äußere Einwirkungen und Beanspruchungen oder auf Strukturänderungen (z.B. infolge Alterung) zu reagieren. Diese Fähigkeit erfordert den Einsatz von Strukturelementen, die diese Anpassung erlauben (z. B. regelbare Feder- und Dämpferelemente), 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. Der BAM liegen umfangreiche Forschungsergebnisse sowohl zu Monitoringsystemen als auch zu Schwingungsdämpfern etc. vor. Die Verbindung beider Elemente zu „Smart Structures“ ist ein multidisziplinäres Forschungsziel der nächsten Jahre.

Prozess-Sensorik und -Analytik

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 durch die PAT (process analysis technology) Initiative der Food and Drug Administration in den USA im geregelten Bereich der pharmazeutischen Industrie derzeit eine besondere Aufmerksamkeit. Aber auch in der chemischen Industrie, der Biotechnologie und Lebensmitteltechnologie sind durch Entwicklungen im Bereich der Miniaturisierung, Hochdurchsatzanalytik und Modellierung von Prozessen zahlreiche parallele Ansätze zur PAT-Initiative zu beobachten, vorhandene analytische Strategien für die Prozesskontrolle im Sinne von GMP (good manufacturing practice) zu erweitern. Kostenreduktion durch ein besseres Verständnis von dynamischen Produktionsvorgängen, eine Verbesserung der Qualität und umweltfreundlichere und sichere Verfahren sind die Triebkräfte, Prozessanalytik in Zukunft verstärkt einzusetzen.

Daraus entstehen für die BAM in naher Zukunft wichtige Forschungsaufgaben. Beispielsweise

wird zur Optimierung von bestehenden chemischen Produktionsanlagen in den nächsten Jahren neue Prozess-Sensorik benötigt, die sich ohne großen Aufwand in bestehende Anlagen integrieren lässt. Mit der zukünftigen Prozess-Sensorik muss es möglich werden, Zwischen- und Trendinformationen zu den Eigenschaften bereits während der Entstehung der chemischen Produkte zu erfassen und zur Regelung des Prozesses zu nutzen. Als Beitrag zur sichereren und qualitätsverbessernden Prozessführung konzentriert sich die Forschung in der BAM auf größere Selektivität und Auflösung, geringere Messunsicherheit der Prozess-Sensorik sowie Informationen über die räumliche Verteilung von Prozessdaten (z. B. Hot-spots in Katalysatoren). Wesentliches Ziel der Forschungsarbeiten der BAM liegen in der verbesserten Kontrolle und Steuerung von Bioprozessen (z.B. Biogasanlagen). Hierfür wird die geeignete Prozess-Sensorik entwickelt und validiert. Weiterer Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Prozess-Sensorik ist im Zuge der verstärkten Nutzung der Mikroverfahrenstechnik zu sehen. Im Fokus der weiterführenden verfahrensbezogenen Forschungsarbeiten stehen u. a. Inline-NIR-Spektroskopie, Echtzeit-Prozess-Gaschromatographie, Prozess-Bio-Chromatographie, Prozess-Immunoassay-Analytik und Biochip-Sensorik.

Identifikation und Überwachung von Gefahrguttransportbehältern durch RFID-Technologie

Die bisherige Überwachung von Gefahrguttransporten mittels Frachtpapieren und Kennzeichnungen ist nur schwer möglich und keineswegs lückenlos. Im Zuge der immensen Weiterentwicklung in der Mikroelektronik und der Informationstechnik lässt sich die Sicherheit von Gefahrguttransporten zukünftig durch neue Technologien, beispielsweise mittels RFID (Radio Frequency Identification) oder auch Transpondertechnologie sowie Telematik (Verkehrstelematik), beträchtlich erhöhen. Damit können neben der automatischen Überwachung von Gefahrguttransporten, z. B. bei Tunneldurchfahrten, auch bei Unfällen die notwendigen Informationen für Rettungskräfte zeitnah zur Verfügung gestellt werden. Auch Abweichungen von den eingegebenen Fahrrouten oder Informationen der zuständigen Sicherheitsbehörden können extrem rasch erfolgen, beispielsweise bei einem terroristischen Angriff.

Bei Nutzung von RFID-Systemen mit kombinierter Sensorik ('smart labels') eröffnet sich die Möglichkeit, den Zustand des Gefahrguts und der Umschließung zu überwachen. Derzeit werden in der BAM die verschiedenen Systeme zur lückenlosen Überwachung von Gefahrguttransporten verglichen, ihre Eignung geprüft und der Sicherheitsgewinn abgeschätzt. Ein Vorschlag zur Einarbeitung der durch diese pränormative Forschungsaufgabe erarbeiteten Ergebnisse in das Regelwerk wird vorbereitet.

Gefahrstoffmonitoring

Aufgrund der gesamten sicherheitstechnischen Entwicklung wird zukünftig der Bedarf an In-situ- bzw. Online-Monitoring von gefährlichen Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen sowie Marker-Substanzen in solchen Medien unter Ausnutzung des ATR (Attenuated Total Reflection) und des SPR Surface Plasmon Resonance) Effektes sowie der Total-Internal Reflection Ellipsometry (TIRE) stark zunehmen. Im Fall ATR sind heute Nachweisempfindlichkeiten im ppm- und ppb-Bereich erreichbar. Um die Probleme mit Querempfindlichkeiten und Degradationsmechanismen zu minimieren oder gar auszuschließen, sind zukünftig geeignete Marker-Substanzen zu identifizieren, die dann als Tracer im gefährlichen Medium eingesetzt werden. Prinzipiell ist mit einer Kombination dieser Verfahren ein schnelles und empfindliches optisches Monitoring von außen an der Behälter-, Reaktor- oder Rohrleitungsinnenseite durch ein im verwendeten Spektralbereich transparentes Fenster realisierbar. Das eigentliche Sensorsystem kommt vollständig ohne elektrische Komponente aus, da der Nachweis im reflektierten Strahl (als Merkmal in den ellipsometrischen Größen) erfolgt. Damit ist prinzipiell auch ein Einsatz in explosionsgeschützter Umgebung denkbar. Die BAM wird ein erstes Demonstratorsystem zum Nachweis von ausgewählten Medien bzw. Marker-Substanzen entwickeln. Dabei sind sowohl technische (Sensordesign, eingesetzte Materialien), technologische (Stabilität, Sensitivität, Selektivität) als auch theoretische (Modellierung, Kalibrierung, Driftkorrektur) Aufgaben zu lösen.



Extrembeanspruchung

Aufgrund der wirtschaftlich-technischen Entwicklung ist davon auszugehen, dass sicherheitsrelevante Bauteile, Strukturen, Anlagen und Systeme länger im Betrieb bleiben, als es ursprünglich bei ihrer Konzipierung vorgesehen war, teilweise gestützt durch risikobasierte Inspektionen oder präventive Reparaturen. Gleichzeitig werden neue sicherheitsrelevante technische Produkte so konstruiert, dass sie unter Verwendung innovativer Werkstoffe möglichst Material sparend und somit kostengünstig für immer längere Lebensdauern ausgelegt werden.

Insgesamt nimmt durch diese wirtschaftlich-technische Entwicklung aber auch durch veränderte oder nicht vorgesehene Umgebungs- und Umweltbedingungen die Beanspruchung von Bauteilen und Montagegruppen in sicherheitstechnisch relevanten Strukturen, Anlagen und Systemen zu.

Die Funktionsfähigkeit solcher Bauteile und Montagegruppen wird vornehmlich dadurch bestimmt, ob sie die auf sie wirkende Beanspruchung ertragen können, also die Beanspruchung kleiner ist als ihre Beanspruchbarkeit. Wird die Beanspruchbarkeit erreicht oder sogar überschritten, erfüllt das Bauteil die erwarteten Funktionen nicht und es kommt zu einem technischen Schaden. Immer häufiger liegen aufgrund der dargestellten Zusammenhänge Beanspruchungen an der Grenze der Beanspruchbarkeit, nehmen also extreme Werte an. Das Bauteilverhalten und die Materialeigenschaften unter solchen Extrembeanspru-

chungen sind also in Hinblick auf die Sicherheit technischer Produkte ein besonders wichtiges zukünftiges Forschungsgebiet der BAM. Da es sich bei Extrembeanspruchungen in der Regel um überlagerte Beanspruchungsarten, beispielsweise mechanisch, thermisch, korrosiv, erosiv, tribologisch etc., handelt, werden die interdisziplinären Potentiale des Hauses verstärkt für die Arbeiten an diesem Thema genutzt. Ziele der Forschung in der BAM auf diesem Gebiet sind die Quantifizierbarkeit der Beanspruchung, die Verbesserung der Beanspruchbarkeit und die Quantifizierung des Abstandes zwischen Beanspruchung und Beanspruchbarkeit.

Das Material- und Systemverhalten von Bauteilen ist im Allgemeinen abhängig von der Beanspruchungsgeschwindigkeit. Hohe Beanspruchungsgeschwindigkeiten treten zum Beispiel bei Stoßbelastungen von Bauteilen auf. Eine zutreffende analytische Ermittlung von Tragwiderständen, maximalen Verformungen oder des Energieaufnahmevermögens ist nur bei bekannten Material- und Systemkennwerten möglich. Zur Ermittlung entsprechender Kennwerte steht in der BAM eine hydraulische Versuchseinrichtung zur Verfügung, in der Stoßbeanspruchungen bis zu einer Kraft von 1000 kN oder einer Geschwindigkeit bis zu 8,5 m/s aufgebracht werden können. Durch Wegregelung des Versuchsablaufs kann, im Gegensatz zu Fallversuchen, jede Probe bis zum endgültigen Versagen beansprucht und so das vollständige Energieaufnahmevermögen bestimmt werden. In der Vergangenheit wurde z. B. das Materialverhalten von Stahlbetonbauteilen und Betonstählen bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten, wie sie im Lastfall Flugzeugabsturz oder Gaswolkenexplosion auftreten können, untersucht. In der Regel werden die Versuche so allgemeingültig konzipiert, dass die Ergebnisse als Eingangswerte für numerische Simulationen aufbereitet werden können. In den nächsten Jahren sollen weitere Strukturen unter spezieller Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit untersucht werden.

Sicherheit von Offshore-Windkraftanlagen

Auch im Hinblick auf alternative Energiequellen ist die Extrembeanspruchung ein Thema. Bis 2020 wird in der Europäischen Union ange-

strebt, den Gesamtbedarf an Energie zu 20 % aus erneuerbaren Energien abzudecken. Diese Quote soll vor allem durch Offshore-Windenergiegewinnung erreicht werden. Im sensiblen Bereich der Sicherstellung von Energieversorgung wird hiermit technisches Neuland betreten, insbesondere durch die extrem hohen Lastspielzahlen von 109 Zyklen und u. a. überlagernd einwirkende korrosive Beanspruchungen. Aktuelle Forschungsthemen der BAM betreffen die extrem belasteten Trag- und Gründungsstrukturen von Offshore-Windkraftanlagen, wobei die Schwerpunkte der Untersuchungen auf den Verbindungselementen (Rohrknoten, Grouting) und der Pfahlbettung liegen. Durch experimentelle Untersuchungen und durch Entwicklung entsprechender Simulationsmodelle sollen die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit dauerhaft sichergestellt werden. Neben dem Strukturverhalten ist die Ermittlung der realen Extrem- und Ermüdungslasten aus Wind und Wellen als Grundlage für ein optimiertes Design ein Forschungsthema der BAM.

Dynamische Beanspruchungen

Ein weiteres Forschungsgebiet aus dem Bereich der Extrembeanspruchungen umfasst die Erforschung dynamischer Beanspruchungen (z.B. infolge Verkehr, Maschinenschwingungen oder Erdbeben) und deren Auswirkungen auf Bauwerke. In Fortführung der langjährig an der BAM durchgeführten Arbeiten werden in den kommenden Jahren folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Verbesserte realistische Bauwerk-Boden-Wechselwirkungsmodelle für eine erschütterungsresistente Gründungsauslegung sicherheitsrelevanter Infrastruktur (Kraftwerke, Autobahnbrücken)
- In-situ Messungen zur Beurteilung der Zuverlässigkeit existierender (geschädigter, reparierter und verstärkter) Bauwerke
- Experimente mit angepassten Materialien und Systemen (high strength, high ductility concrete)
- Leistungsfähigkeit von Isolations- und Dämpfungskomponenten unter dynamischer Beanspruchung

Auswirkungen von Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung auf den Lebenszyklus

Mechanische Hochgeschwindigkeitsbeanspruchungen, wie sie zum Beispiel bei der Fertigung durch High Speed Cutting oder Kugelstrahlen erzeugt werden, führen zur mechanischen Wellenausbreitung in den verarbeiteten Werkstoffen, bei der Dehnraten zwischen 10^2 und 10^4 1/s erreicht werden. Ähnlich hohe Verformungsgeschwindigkeiten treten im Zusammenhang mit Werkstoffverformungen infolge gezielter oder unvorgesehener Einwirkung von Explosivstoffen oder Geschossen auf. Über die Auswirkungen solcher Extrembeanspruchungen auf die Beanspruchbarkeit von sicherheitsrelevanten Bauteilen während ihres weiteren Lebenszyklus ist bisher nur sehr wenig bekannt. Als ein erster Schritt zur Klärung dieser Frage werden Materialproben mittels der vorhandenen Split-Hopkinson-Prüfeinrichtung bei entsprechenden Dehnraten untersucht. In weiterführenden Forschungsarbeiten werden dann gezielt die Auswirkungen einer Deflagrations- bzw. Detonationsbeanspruchung auf eine mögliche Veränderung der Materialeigenschaften und die daraus resultierenden möglichen Folgeschäden und die Restlebensdauer untersucht. Die Erkenntnisse daraus sind besonders relevant für die sicherheitstechnische Auslegung und Bewertung von Strukturen, Anlagen und Systemen nach unbeabsichtigten (Unfälle) oder unvorhergesehenen (Anschläge) Extrembeanspruchungen.

Thermische Energiewandlung

Sichere, zuverlässige Energieversorgung ist die Grundlage jeder Industriegesellschaft. Thermische Kraftwerke übernehmen die Grundlastversorgung und die Spitzenlast, je nach Typ des Kraftwerks. Die Vorgabe der Bundesregierung, die CO_2 -Emissionen aus deutschen Quellen drastisch zu vermindern, hat zu Entwicklungen in der Verbrennungstechnik geführt, die die kombinierte thermische, korrosive und mechanische Beanspruchung der beteiligten Bauteile stark erhöht. Für den Erhalt gegenwärtiger Sicherheitsstandards bringt dies erheblichen Forschungsbedarf mit sich.

Zusätzlich wird die Geothermie als alternative thermische Energiewandlungstechnik zukünftig stark genutzt werden, da diese Energiequelle

kontinuierlich vorhanden und somit für die Grundlastversorgung geeignet ist. Geothermische Anlagen beinhalten Komponenten, die auch in thermischen Anlagen verwendet werden, wie zum Beispiel Dampfturbinen, Heißdampfleitungen und Ventile. Geothermische Dampfturbinenanlagen in Deutschland werden nicht mit ungefährlichem Wasserdampf betrieben, sondern mit niedrig siedenden Flüssigkeiten, wie z.B. Ammoniak. Ein wesentliches Forschungsthema in der BAM wird mit Hinblick auf die erwähnte Beanspruchung der Test von Komponenten, dem Bauteil ähnlichen Körpern und genormten Probekörpern unter der kombinierten Beanspruchung aus Arbeitstemperatur, Arbeitsmedium und mechanischer Belastung sein.

Mit Blick auf die Sicherheit werden weiterhin Untersuchungen zur Technologie der CO₂-Abscheidung, des CO₂-Transports und der CO₂-Speicherung durchgeführt. Die Beanspruchung besteht dabei aus CO₂, Feuchtigkeit, Aquiferwasser und Temperatur. Bei den geothermischen Anlagen fokussiert die BAM ihre Forschung auf potentielle Leckagen und Eindringen von geothermale Wasser in Trinkwasserführende Schichten.

Wichtig sind in dem Themenkomplex auch Langzeitversuche bis 24.000 h zur Beobachtung des Langzeitverhaltens.

Forschungsthemen in den Arbeitsschwerpunkten



Analytische Chemie

Der sichere und umweltverträgliche Einsatz der Chemie und Materialtechnik ist von guter Analytik im Sinne von Quantität und Qualität abhängig. Besonders die Fortschritte in den Lebenswissenschaften und der Nanotechnologie belegen nachdrücklich, dass die Analytische Chemie heute Schrittmacher von Entwicklungen ist und eine „enabling“ Technologie für neue Fragestellungen sein kann. Die Analytische Chemie wird für die Innovationsfelder der Zukunft eine Querschnittswissenschaft von entscheidender Bedeutung sein, da eine umfassende stoffliche Charakterisierung von End- und Zwischenprodukten industrieller Prozesse die Qualität im Sinne von Güte und Wert bestimmt. In globalen Märkten wird sich der Wirtschaftsstandort Deutschland in Zukunft vorrangig über das Produktmerkmal „Qualität“ differenzieren können.

Die Analytische Chemie wird aber auch in den gesellschaftspolitischen Kontroversen der Zukunft eine bedeutsame Funktion haben. Diskussionen um Lebensmittelsicherheit oder Klimaveränderungen können rational nur auf der Basis belastbarer analytischer Ergebnisse geführt werden. Die BAM trägt diesen Entwick-

lungen und ihrer Bedeutung im Rahmen ihres Arbeitsschwerpunktes Analytische Chemie Rechnung.

Sicherheit in Chemie und Technik 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 Echtzeit werden für eine Risikoabschätzung und –steuerung zunehmend relevant.

Die Analytische Chemie ist eine der wesentlichen Querschnittsaufgaben der BAM, ihre Weiterentwicklung in der BAM wird durch eine Vielzahl von aktuellen Fragestellungen aus dem Bereich der Materialwissenschaften, Chemie und Technik begleitet. Dazu gehören alle methodischen und instrumentellen Aspekte des analytischen Innovationszyklus, d.h. integraler Bestandteil sind auch die Qualitätssicherung und metrologische Fragestellungen, zertifizierte Referenzmaterialien als Bestandteil dieser Konzepte und die Etablierung von Verfahren durch Normung bzw. Ringversuche in der analytischen Praxis.

In den nächsten Jahren stehen in der Analytischen Chemie der BAM folgende Forschungsthemen im Vordergrund:

Bio- und Nanotechnologie

Die Bio- und Nanotechnologie werden heute als Schlüsseltechnologien für eine zukünftige breit angelegte Wertschöpfung betrachtet. Eine Herausforderung ist die rasante kommerzielle Umsetzung von Ergebnissen, d.h. „alltägliche“ Technologie ist eng mit aktueller Grundlagenforschung zu verknüpfen. „Bessere“ analytische Möglichkeiten durch Instrumentierung oder methodische Fortschritte können in diesen sich schnell entwickelnden Märkten den Unterschied für einen kommerziellen Erfolg bedeuten. Eine bessere nationale Infrastruktur für Analytik kann so zu einem bedeutenden Standortvorteil werden. Hier sieht die BAM zukünftige Aufgaben.

Materialien und Werkstoffe mit charakteristischen Skalen im Nanometerbereich stehen im Mittelpunkt zahlreicher analytischer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der BAM. Neben der Analytik von Nanopartikeln (z.B. Größe, Gestalt, Zahl) und der Oberflächenstruktur und Zusammensetzung von Partikeln wird die Analytik nanoskaliger Oberflächen und Grenzflächen bei modifizierten und strukturierten Polymeren und Compositen in der Hochtechnologie von besonderer Bedeutung sein. Die BAM wird sich in diesen Bereich mit der Entwicklung geeigneter Bestimmungsverfahren und Referenzmaterialien beschäftigen.

Nanoskalige Aerosole aus anthropogenen und natürlichen Quellen werden in der Umweltchemie im Spannungsfeld zwischen Klimawandel und unterschiedlichen Energieträgern ebenfalls Gegenstand von Untersuchungen sein. Instrumentell werden die Forschungsbestrebungen sich besonders auf die Methodenkombination von Partikelstrahlanalyse-technik, bildgebenden Verfahren und klassischen spektroskopischen Verfahren wie der Raman- und Röntgenfluoreszenzspektroskopie konzentrieren. In diesem Zusammenhang wird auch die Nutzung der Synchrotronstrahlung für analytische Fragestellungen bei BESSY besondere Aufmerksamkeit erfahren.

Beispielsweise soll auf die Erfahrungen mit der Errichtung der beiden Messstrecken (BAMline und μ -spot-Beamline) am BESSY aufgebaut werden und durch Methodenkombination von SAXS, XRD, EXAFS, XANES, RFA und Raman-spektroskopie eine neue Qualität in der Analytischen Chemie nanoskaliger Strukturen erreicht werden. Der Einsatz komplementärer Methoden ist Basis für eine komplexe Modellierung funktioneller Nanostrukturen und miniaturisierter technischer Bauelemente.

In der Proteinanalytik werden sich die Arbeiten auf immunochemische Verfahren konzentrieren. Besonders multidimensionale Formate (Microarrays) haben erhebliches Entwicklungspotential für die Umweltanalytik, Lebensmittelkontrolle und Diagnostik. Besonderen Forschungsbedarf sieht die BAM im Bereich der Antikörperproduktion (Qualitätssicherung, Effizienz der Herstellung, Verfügbarkeit, Kosten) und der Testentwicklung. Antikörper eignen sich als biologisches Referenzmaterial, so dass ein Fernziel die Etablierung einer nationalen bzw. internationalen Antikörperbank für charakteri-

sierte, monoklonale Antikörper ist, die zu diagnostischen Zwecken eingesetzt werden können. Im Bereich der Biophotonik wird sich die BAM vorrangig mit der Fluoreszenzdetektion von Biomakromolekülen auseinandersetzen. Mittelfristig wird auch die Übertragung von Prinzipien der biochemischen Detektion auf Sensoren, z.B. Enzymtests und immunologische Teststreifen mit simpler optischer Detektion, angestrebt.

Anorganische und organische Analytik

Im Bereich der klassischen anorganischen Analytik legt die BAM ihren Forschungsschwerpunkt auf methodische und instrumentelle Neuentwicklungen der Festkörperanalytik. Beispiele sind die direkte Bestimmung von Nichtmetallen in metallischen Systemen durch Photonenaktivierung oder Ansätze zur verbesserten Quantifizierung bei Bestimmungsverfahren, die eine Laserablation zum Probeneintrag verwenden. Im Mittelpunkt der Forschung der organischen Analytik bei Lebensmitteln stehen in den nächsten Jahren neue Verfahren und Referenzmaterialien für Mykotoxine sowie der Einsatz von stabilen Isotopen für die Authentizitätsprüfung.

Öffentliche Diskussionen um leichtflüchtige Schadstoffe in Innenräumen, Biogase oder die Folgen der Klimaveränderung werden die Entwicklung von neuen und empfindlicheren Referenzverfahren für Gase notwendig machen. Spektroskopische Verfahren, wie die Cavity-Ringdown-Spektroskopie, oder multidimensionale Ansätze der Gaschromatographie erlauben dabei einen empfindlicheren und selektiveren Zugang zu komplexen Gasgemischen.

Bei der Entwicklung von neuen organischen und anorganischen Referenzmaterialien werden neben den klassischen Matrixmaterialien der Material- und Umweltanalytik zunehmend reine Stoffe für die Rückführung berücksichtigt.



Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen und Gefahrgütern

Mit ihren Tätigkeiten in diesem Arbeitsschwerpunkt leistet die BAM einen wesentlichen Beitrag zur Beherrschung der Gefahren und Risiken, die von explosiven, brennbaren und anderweitig in gefährlicher Weise reaktionsfähigen Stoffen und Stoffsystemen ausgehen. Im Fokus steht dabei der Stoff, von der Herstellung über den Transport und der Lagerung bis hin zur Entsorgung. Mit im Blick ist dabei immer die sichere Umschließung dieser Substanzen. Hier trägt die BAM beispielsweise zur Verbesserung der Transportsicherheit radioaktiver Stoffe bei.

Der notwendige Einsatz von Gefahrstoffen birgt auch die Gefahr eines Missbrauchs, beispielsweise im Rahmen terroristischer Anschläge. Hier leistet die BAM wertvolle Beiträge im Hinblick auf die Prävention. Dies schließt sowohl die Prüfung und Entwicklung technischer Möglichkeiten zur Erkennung von Sprengstoffen als auch die Prüfung der Auswirkungen von Explosionen auf Gebäudefassaden ein.

In naher Zukunft stehen folgende Forschungsthemen im Vordergrund, für die insbesondere das Freiversuchsgelände der BAM in Horstwalde genutzt werden wird:

Deflagrations- und Detonationsvorgänge in Rohrleitungen

Die Sicherheit von Rohrleitungen gewinnt durch den Ausbau der Netze im petro-chemischen Bereich und im Chemieanlagenbau zunehmend an Bedeutung. Gleichzeitig ist ein erhöhtes Unfallaufkommen mit chemisch instabilen Gasen in Chemieanlagen zu verzeichnen. Dies zieht einen zunehmenden Regelungsbedarf nach sich und hat zur Gründung der Informal Working Group for Classification under the Globally Harmonised System (GHS), Chemically Instable Gases geführt. Die weitere Einführung von Normen und Richtlinien in diesem Bereich erfordert zunächst ein hohes Maß an pränormativer Forschung und auch grundlegende wissenschaftliche Untersuchungen zur Klärung der Phänomenologie von Deflagrations- und Detonationsvorgängen in Rohrleitungen.

Ein besonderes Thema sind dabei die Deflagrationen in geschlossenen Rohrleitungen. Die bei detonativ verlaufenden Explosionen auftretenden Spitzendrücke können die offiziellen Auslegungsgrenzen üblicher Rohre deutlich übersteigen. Der Stand der Kenntnisse beschränkt sich derzeit nur auf ideale Bedingungen. Theoretische Betrachtungen, insbesondere numerische Simulationen, wurden in diesem Zusammenhang bisher nur in geringem Maße berücksichtigt.

Das Ziel der zukünftigen Forschungsarbeiten in der BAM besteht darin, die Explosionsdaten bis zu den sicherheitstechnisch relevanten Obergrenzen unter Berücksichtigung praktisch maßgeblicher Einflussfaktoren und realistischer Bedingungen zu ermitteln. Forschungsbedarf besteht aber auch auf der Seite der transportierten Medien, wie in der Bestimmung von Stabilitätsgrenzkonzentrationen und -drücken, Zündtemperaturen und maximalen Explosionsdrücken. Diese experimentellen Untersuchungen dienen der Validierung der laufenden Forschungsarbeiten zur Modellierung von Flammenausbreitung und Turbulenzerzeugung sowie der Selbstentzündung und der zu erwartenden Explosionsdrücke, um so zu präziseren Lebensdaueraussagen und sicherheitstechnischen Auslegungen zu gelangen. Als wesentliche Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten werden Beiträge für ein besseres Verständnis und eine Vorhersage für das Anlaufen, Umschlagen und die Ausbreitung von Deflagrationen und Detonationen in Rohren und deren

Belastbarkeitsgrenzen in Abhängigkeit von ihren Materialeigenschaften erwartet. Dies betrifft insbesondere Gase mit der Bezeichnung „chemisch instabil“ (UN (GHS)), für die bisher kaum Erkenntnisse vorliegen.

Wirtschaftlich interessant an den Forschungsarbeiten ist die Klärung der Frage, welche Sicherheitsreserven für Standardbauteile existieren und wie sich durch einfache Maßnahmen eine bestehende Standardrohrleitung und ihre Anbindungen an verfahrenstechnische Apparate aus sicherheitstechnischer Sicht verbessern lässt.

Konstruktiver Explosionsschutz

Im Bereich des konstruktiven Explosionsschutzes ist die Bundesrepublik Deutschland weltweit führend. Es kommt darauf an, diesen Standortvorteil, beispielsweise bei der sicherheitstechnischen Auslegung von Systemen, Anlagen und Bauteilen (s. AS 4), zu erhalten.

Besonderer Forschungsbedarf resultiert aus der Explosionsschutzrichtlinie RL 94/9/EG, die Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen erfüllen müssen. Grundlage für die Konformitätsbewertung ist die Bewertung von Zündgefahren, die unter anderem von mechanisch erzeugten Funken ausgehen können. Die Kenntnisse über die Wirksamkeit und die Wahrscheinlichkeit von mechanisch erzeugten Schlagfunken in Hinblick auf die Zündung der jeweiligen Brenngas-Luft-Gemische sind jedoch noch keinesfalls ausreichend. Daher wird die BAM die bisherigen experimentellen Untersuchungen mit der in der Verfahrenstechnik häufigen Werkstoffkombination Stahl-Stahl unter einer größeren Variation kinetischer Schlagenergien fortführen und weitere Versuche mit anderen Materialkombinationen durchführen. Die Ergebnisse werden insbesondere zur Validierung von numerischen Simulationen zur Schlagfunkenentstehung (Clusteranalyse) herangezogen.

Ein bedeutendes Thema für zukünftige Forschungsarbeiten ist zudem die Sicherheit von Armaturen und Anlagenteilen gegen Ausbrennen in hoch verdichtetem Sauerstoff. Dies stellt besondere Anforderungen an die Werkstoffauswahl; denn die bisher verwendeten metallischen Werkstoffe zeichnen sich zwar durch gute Materialeigenschaften aus, lassen sich

leicht be- und verarbeiten und sind kostengünstig. Sie können aber aufgrund des ungünstigen Abbrandverhaltens nicht in hoch verdichtetem Sauerstoff eingesetzt werden. Ein Ziel der Forschungsarbeiten ist es, die Beständigkeit und das Abbrandverhalten keramischer Schutzschichten auf diesen Werkstoffen eingehender zu untersuchen, durch die der unmittelbare Kontakt des Werkstoffes mit Sauerstoff vermieden werden kann. Hierzu werden in der BAM in den nächsten Jahren vor allem quantitative Untersuchungen hinsichtlich Dicke und Art der jeweiligen Schutzschicht durchgeführt. In einer neu entwickelten Versuchsanlage werden praxisnahe Kombinationen aus nicht metallischen und metallischen Werkstoffen untersucht, wie sie in Armaturen und Anlagen für hoch verdichteten Sauerstoff gebräuchlich sind.

Entwicklung experimenteller und numerischer Verfahren zur Strukturanalyse von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe

Durch den weltweit zunehmenden Transport- und insbesondere Zwischen- und Endlagerbedarf für radioaktive Stoffe kommen vermehrt neue Behältermodelle auf den Markt, für die die entsprechenden sicherheitstechnischen Bewertungen vorzunehmen sind. Die sicherheitstechnisch herausragende Bedeutung der Transport- und Lagerbehälter (TLB) für radioaktive Stoffe erfordert eine stetige Weiterentwicklung der Versuchs- und Messtechnik und auch numerischer Berechnungsverfahren, um solche Bewertungen nach dem Stand von Wissenschaft und Forschung durchführen zu können.

Der Forschung der BAM auf diesem Gebiet konzentriert sich dabei vor allem auf die wissenschaftlich fundierte Untersuchung von Brennelement- und HAW-TLB in Originalgröße und im Modellmaßstab in experimentellen und rechnerisch modellierten Fallversuchen. Dazu wird die Bestimmung von Randbedingungen für die korrekte Skalierung von Modellbehälterversuchen, die Erprobung neuer Messverfahren zur Qualifizierung von Beanspruchungen und Deformationen sowie die Entwicklung von werkstoffmechanischen Konzepten zur Beurteilung der Bauteilsicherheit vertieft verfolgt. Die Untersuchung von TLB-Stoßdämpfermaterialien zur Herleitung von bisher nur rudimentär vorliegenden Werkstoffgesetzen für die dynamische Modellierung mit der Methode der

Finiten Elemente ist ein bedeutender Forschungsaspekt, der in den nächsten Jahren konzentriert bearbeitet wird. Darüber hinaus sind Dichtsystem- und Dichtungsuntersuchungen zur Störfall- und Langzeitsicherheitsanalyse durchzuführen. Die experimentellen Untersuchungen dienen der Quantifizierung von Sicherheitsreserven sowie der Verifizierung von analytischen und numerischen Berechnungsverfahren.

Im Rahmen der numerischen Simulationen wird die BAM ihre Forschungsarbeiten vor allem darauf konzentrieren, realistische Modelle für die Lastfälle der Behälterfallversuche zu entwickeln, die dann für eine Aufprallanalyse bestrahlter Brennelemente verwendet werden können. Hierfür sind auch die Modellierungsverfahren zur Berechnung der Temperaturverteilung zu erweitern, beispielsweise hinsichtlich der Wärmeabfuhr bei Behälterumhausung oder für Brandeinwirkung.

Beständigkeit von Materialien gegen chemische, mechanische und korrosive Beanspruchung

Aus ökonomischen und ökologischen Gründen hat eine intensive Entwicklung zur Reduzierung des Verpackungsaufwandes eingesetzt. Diese Innovationen im Verpackungsbereich sind durch Forschungsarbeiten zu begleiten. Wesentliche Forschungsthemen der BAM sind dabei die chemische Widerstandsfähigkeit neuer Kunststoffverpackungen, die Widerstandsfähigkeit gegenüber periodisch oder wiederholt auftretenden mechanischen Belastungen (Vibrationen) und stoßartigen äußeren Belastungen (Impact) sowie effiziente Dichtheitsnachweisverfahren. Zur Bestimmung der chemischen Verträglichkeit von Kunststoffverpackungen, hier vor allem der Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion, werden Full Notch Creep Tests (FNCT) durchgeführt. Ziel ist es, über Kurzzeitversuche zu einer Aussage über das Langzeitverhalten der untersuchten Kunststoffverpackung zu gelangen. Die beim Transport von Gefahrgut auftretenden Lasten sollen durch Vibrations- und Impactexperimente, unter Berücksichtigung von Temperatur, Innendrucke etc., verifiziert werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Hinblick auf Maßnahmen für den sicheren Transport ausgewertet.

Die experimentellen Untersuchungen zu quasi-statischen und dynamischen Durchstoßversuchen an Blechen und Wandungsaufbauten werden unter verbesserten Bedingungen fortgesetzt mit dem Ziel, das Verhalten verschiedener Tankwerkstoffe unter Unfallbedingungen vergleichen zu können. Insbesondere soll die Beständigkeit von auf metallischen Werkstoffen (Tankwänden) aufgetragenen Beschichtungen und Isolierungen gegen mechanische Beanspruchungen untersucht werden. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die für statische und dynamische Beanspruchungen bekannten Werkstoffgesetze hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf die speziellen Anforderungen, wie sie bei Tankwerkstoffen und Tankwandaufbauten gefordert werden, zu überprüfen und vereinfachte Berechnungsansätze zu entwickeln.

Beständigkeitsbewertungen bilden eine wesentliche Grundlage für die stoffbezogenen Baumusterzulassungen für Tankcontainer und ortsbewegliche Tanks zur Beförderung gefährlicher Güter durch die BAM und finden darüber hinaus bei der stoffbezogenen Bewertung von Kesselwagen, Tankfahrzeugen und anderen Gefahrgutumschließungen sowie Lagertanks als Erkenntnisquelle Verwendung. Zur Erhöhung der Anzahl von Beständigkeitsbewertungen der metallischen und polymeren Tankwerkstoffe sind umfangreiche Untersuchungen mit neuen metallischen Werkstoffen wie höherlegierten Werkstoffen und Duplexstählen sowie polymeren Beschichtungssystemen in den zur Beförderung vorgesehenen Gefahrgütern und wassergefährdenden Stoffen erforderlich. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen tragen zur Verbesserung der Sicherheit von Gefahrguttransporten und bei der Lagerung wassergefährdender Stoffe bei.

Entwicklung sicherheitstechnischer Prüfverfahren für leichte Druckbehälter

Die bestehenden Prüfvorschriften und –verfahren für Composite-Druckbehälter bauen auf bisherigen Erfahrungen mit Stahlbehältern auf, ohne den neuen Bauweisen und Werkstoffen ausreichend Rechnung zu tragen. Dies wirkt sich insbesondere nachteilig auf die Weiterentwicklung und die Optimierung der neuen Treibgasspeicher aus. Im Hinblick auf sicherheitstechnisch vertretbare Alternativlösungen entstand ein Ansatz (Probabilistic Approval

Approach (PAA)), der eine direkte Beurteilung der Betriebssicherheit solcher Behälter unter Berücksichtigung von Komponenten- und Werkstoffversuchen ermöglichen soll. In diesem Zusammenhang wird an der Global Technical Rule (GTR) für Wasserstofffahrzeuge mit Großserienspeichern gearbeitet. Für ein tragfähiges Prüfkonzept sind umfangreiche pränormative Forschungsarbeiten erforderlich, beispielsweise zur Wasserstoffkompatibilität, der Ermüdungsfestigkeit und Eigenspannungsanalyse. Die Ergebnisse sollen das Verständnis der Schädigungsmechanismen und Degradationsprozesse vertiefen und zur Gewichtsreduzierung sowie Lebensdauerabschätzung der Speicher unter zyklischer Last bei einem gleichzeitig relativ hohen statischen Lastanteil beitragen. Zur Untersuchung des Linerverhaltens und der Interaktion im Hybrid werden ZfP-Methoden und optische Verfahren intensiv eingesetzt. Insgesamt muss für eine durchgängige sicherheitstechnische Optimierung solcher Treibgaspeicher die gesamte Prüfverfahrenspalette, angefangen bei Full-Scale-Tests bis hin zu Werkstoffprüfungen unter Begleitung von Simulationsrechnungen ausgeschöpft werden. Hierbei sollen auch die Übertragungsmöglichkeiten von Ansätzen für die Schädigungsmodellierung auf Filamentebene in eine Schadensakkumulationshypothese auf der Ebene der unidirektionalen Schichten oder gar der Mehrschichtverbunde untersucht werden.

Risikoanalyse

In vielen Bereichen der Wirtschaft ist eine Risikoanalyse für den Betrieb oder die Verwendung technischer Produkte erforderlich, die üblicherweise auf einer Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Versagens, eines Schadens oder eines Störfalles und einer Abschätzung des resultierenden Ausmaßes oder der Schwere der Folgen beruht.

Eine quantitative Bewertung aufgrund einer mathematischen Verknüpfung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenzen ist in der Störfall-Verordnung und in anderen technischen Bereichen in Deutschland nicht gefordert. Wegen der Forderungen in anderen europäischen Mitgliedsstaaten, beispielsweise nach einer quantitativen Risikoanalyse oder nach dem Einhalten gesetzlich festgelegter Risiko-Akzeptanzwerte, besteht jedoch ein zunehmender Bedarf, die deterministische

Vorgehensweise bei vielen deutschen Sicherheitskonzepten zu überdenken.

Die mögliche Forderung nach einer quantitativen Risikoanalyse betrifft insbesondere die chemische Industrie und hier im Wesentlichen die Anlagentechnik (s. AS 4) und den Gefahrguttransport. In beiden Fällen handelt es sich um Kernkompetenzbereiche der BAM. Die BAM wird daher in den nächsten Jahren ihre Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet intensivieren. Im Vordergrund stehen dabei die Risikobewertung für die Routenplanung von Gefahrguttransporten und die quantitative Risikoanalyse für verfahrenstechnische Anlagen.



Sichere und umweltverträgliche Verwendung von Materialien

Die Verwendung von Materialien ist für die BAM unter zwei unterschiedlichen Gesichtspunkten von besonderem Interesse. Einerseits sollen von den Materialien möglichst keine schädigenden Einflüsse ausgehen, andererseits sind die Materialien selbst Umwelteinflüssen ausgesetzt, deren Wirkung auf die Materialien betrachtet werden muss.

Bezüglich der Ressourcenschonung lässt sich feststellen, dass die volkswirtschaftliche Bedeutung eines sparsamen und nachhaltigen Umgangs mit Rohstoffen und Recyclingprodukten bekannt ist, aber noch nicht in allen wirtschaftlich und ökologisch relevanten Bereichen realisiert wurde.

Nach wie vor findet eine rasante Materialentwicklung statt, um den Anforderungen in innovativen Produkten gerecht werden zu können. Dabei muss sichergestellt sein, dass durch den Einsatz der Materialien keine Gefährdung für die Bevölkerung und die Umwelt resultiert. Auch für die Akzeptanz neuer Materialien spielt der Sicherheitsaspekt 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.

Nachhaltiger Umgang mit Ressourcen

Frühere industrielle Aktivitäten haben zum Teil erhebliche Abraum- und Abfallmengen hinterlassen, die sowohl Schadstoffe als auch Wertstoffe enthalten und mit modernen Auf-

schlussmethoden wirtschaftlich verwertet und gereinigt werden können. Die Forschung in der BAM konzentriert sich auf Hochtemperatur-Verfahren, mit denen z.B. Industrie- und Hütenschlacken aufbereitet werden können. Ausgehend von den bisherigen Forschungsergebnissen soll vor allem die Rückgewinnung von seltenen Metallen optimiert werden. Eine weitere Rohstoffersparnis ist bei der Phosphatgewinnung für die Düngemittelherstellung aus phosphathaltigen Klärschlammaschen zu erwarten.

Im Rahmen der Verknappung der natürlichen Ressourcen wird die Gewinnung und Erprobung von Schmierstoffen aus nachwachsenden oder wiederverwendeten Ausgangsmaterialien zukünftig in erheblichen Dimensionen zunehmen. Schwerpunkt der BAM-Forschung ist es daher für die nächsten Jahre, die thermochemischen Verfahren zur Gewinnung entsprechender Materialien zu optimieren und die Verwendbarkeit der Produkte sicherzustellen.

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 so genannter intelligenter Werkstoffe wird die Materialcharakterisierung in den nächsten Jahren noch mehr als bisher an Bedeutung gewinnen. Zum Beispiel erweitert sich einerseits der Bedarf an Kenndaten für Konstruktion und Anwendungen mit neuen Werkstoffentwicklungen, andererseits müssen neue Materialparameter definiert und mit Messmethoden untersetzt werden.

Zur Förderung des sicheren Einsatzes technischer Produkte aus solchen neuen Werkstoffen werden vielfältige Kenndaten benötigt. Nachfolgend sind einige Bereiche aufgelistet, in denen sich die BAM mit der Bestimmung der benötigten Kenndaten befassen wird, wie z.B. die tribologische Charakterisierung neuartiger AlFe-X-Y-Legierungen für strukturelle Anwendungen (u. a. Automobilbau), die Reaktionsmechanismen bei der Alterung von modernen Baustoffen und die Wirksamkeit und Beständigkeit von Stabilisatoren für Polymerwerkstoffe.

Der zunehmende Einsatz von mikro- und nanostrukturierten Materialien erfordert neue Messmethoden für die zerstörungsfreie Materialcharakterisierung, insbesondere an Keramik, Metallschäumen, Verbundwerkstoffen während der Fertigung oder nach Schadensereignissen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt zurzeit in der Erforschung und Nutzung der kohärenten Röntgen-Topografie-Verfahren mit Klein- und Weitwinkelstreuung. In den nächsten Jahren steht in diesem Bereich in der BAM die Optimierung der Ortsauflösung und Geschwindigkeit allgemein verfügbarer Messmethoden im Vordergrund. Die Messergebnisse werden dabei anwendungstypisch mit mechanischen und mikrostrukturellen Eigenschaften korreliert.

Mikrobiologische 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 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 weiter entwickelt. Auf diese Weise will die BAM dazu beitragen, die durch mikrobiologische Prozesse ausgelösten Schädigungen an Oberflächen (z.B. Biofilmbildung an Fassaden) und an anorganischen und organischen Materialien (z.B. vorzeitiger Abbau Holzschutzmittel, Resistenz gegenüber bioziden Nanopartikeln, Kontamination von Lacken in industriellen Anwendungen) zukünftig besser zu verstehen.



Sicherer Betrieb von technischen Systemen und Prozessen

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, über die Betriebsphase einschließlich Überwachung und Reparatur bis hin zur Demontage und Recycling. Seit ihrem Ursprung im 19. Jahrhundert ist die BAM der Gewährleistung dieser Sicherheitsstandards verpflichtet; sie stellt einen wichtigen Anteil ihrer laufenden Aktivitäten dar.

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 ver-

langt von der Wirtschaft und den Überwachungsorganen zuverlässige, aussagekräftige und realistische, also auf den Einsatzzweck und -bereich entsprechender Produkte und Systeme abgestimmte Prüfverfahren und Simulationstechniken.

Mit der 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 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.

Auslegung von Bauteilen

Um ein ausreichend hohes Sicherheitsniveau von Bauteilen unter den anhaltenden Innovationen in der Werkstofftechnik zu gewährleisten, muss die bisherige Vorgehensweise der Standardprüfungen mit einer ganzheitlichen bauteilorientierten Lebenszyklusbewertung und Schadensanalyse verknüpft werden. Dies lässt sich erreichen, indem bisherige und neue Prüftechniken für den jeweiligen Fall angepasst mit Belastungs- und Überlasttests in realen Anwendungsumgebungen an Bauteilen in einer Kette kombiniert werden, aus der sich die richtigen Schlüsse für eine durchgängige Sicherheitsbewertung technischer Produkte ziehen lassen. Dabei ist es ausdrücklich nicht das Ziel, nur eine Reihe von langwierigen, komplexen und teuren Experimenten mit einer größeren Bauteilnähe durchzuführen. Vielmehr kommt es darauf an, den zunehmenden Abstraktionsrahmen über *Full Scale Tests* unter möglichst realistischen Beanspruchungen und Geometrien bis hin zu eher werkstofftechnischen Basisuntersuchungen so auszuschöpfen, dass eine durchgängige Übertragbarkeit der Resultate in beide Richtungen möglich wird. Für eine korrekte Übertragung der realen Beanspruchungen und geometrischen Konfiguration zwischen Bauteilversuchen und Experimenten mit Kleinproben bieten sich vielfach numerische Be-

rechnungsverfahren an. Diese Betrachtungsweise gestattet es insbesondere, das Langzeitverhalten eines Bauteiles unter der während der Fertigung eingebrachten und ggf. einer im nachfolgenden Betrieb überlagerten Beanspruchung zu charakterisieren.

Das Langzeitverhalten unter kombinierten Beanspruchungen wird in den nächsten Jahren insbesondere an gefügten Bauteilen untersucht werden. Dabei kommt es vor allem darauf an, die Auswirkungen der durch das fügetechnische Fertigungsverfahren eingebrachten thermo-mechanischen Beanspruchungen auf die nachfolgende Betriebsphase zu klären. Zu diesem Thema werden unter anderem Untersuchungen zur Wirkung kleiner Heiß- und Kaltrisse in Schweißverbindungen nichtzerstörend inspiziert und unter nachfolgenden kombinierten mechanisch-korrosiven Betriebsbeanspruchungen untersucht. Ein wesentliches Ziel dieser Untersuchungen ist es, die entsprechenden Prüf- und Bewertungsverfahren für Systeme, in denen sich solche Bauteile befinden, in Kombination mit Simulationsverfahren zu optimieren. Damit soll es zukünftig gelingen, das in letzter Zeit häufiger beobachtete katastrophale Versagen von geschweißten Bauteilen in Systemen durch Kaltrissbildung während der Fertigung und nachfolgender Spannungsrissskorrosion im Betrieb möglichst auszuschließen. Weitere Forschungsarbeiten werden sich darauf konzentrieren, die durch den Fügeprozess induzierte Spannungs- und Dehnungsverteilung genauer als bisher zu erfassen, insbesondere unter dem Aspekt der während der Fertigung vorliegenden Schrumpfbegrenzungen. In diesem Zusammenhang werden die InSitu-Untersuchungen mittels Synchrotronstrahlung zur Wirkung des unterschiedlichen Transformationsverhaltens hochfester Werk- und Zusatzwerkstoffe auf die Spannungs- und Dehnungsverteilung im Nah- und Fernfeld von Schweißverbindungen weiter vorangetrieben.

Die rasanten Werkstoffinnovationen im Fahrzeugbau werfen insbesondere bei Verwendung von Dualphasen- und Trip-Stählen in den letzten Jahren zunehmend Fragen nach den Einsatzgrenzen auf. Daher wird die Ermittlung der Schwing- und Betriebsfestigkeit der aus diesen neuen Werkstoffen gefertigten Komponenten unter möglichst realistischen Beanspruchungsszenarien eine zukünftige Aufgabe der BAM sein.

Auch im Bereich der Korrosionsprüfung wird die BAM die bereits einsetzende Entwicklung zu einer größeren Realitätsnähe der Testverfahren zukünftig weiter stark unterstützen. Beispielsweise wird der an der BAM entwickelte Drop-Evaporation-Test so weiter entwickelt, dass damit die Wirkung von Salzaufkonzentrationen an ganzen Baugruppen und ihr Beitrag zum Versagen durch Spannungsrisskorrosion unter möglichst realen Bedingungen untersucht werden kann.

In verstärktem Maße werden gegenwärtig rechnergestützte Verfahren zur Auslegung von Bauteilen eingesetzt. Damit wird einerseits die Entwicklungszeit von Komponenten deutlich verkürzt, denn anhand von Simulationswerkzeugen kann die Werkstoffauswahl optimiert und das Bauteilverhalten analysiert werden. Auf der anderen Seite kann der digitalisierte Entwurf eines neuen Werkstücks schnell zur Steuerung von CNC-Fertigungsverfahren umgesetzt werden. Eine wesentliche Grundlage dieser rechnergestützten Verfahren sind die hinterlegten Werkstoffdatenbanken, woraus sich der Konstrukteur die relevanten Kennwerte der Kandidatenwerkstoffe holt. Die Generierung von zuverlässigen Daten für diese Sammlungen erfordert die qualitätsgesicherte Durchführung von Versuchsreihen. Die Entwicklung und Validierung von Referenzprüfverfahren zur Ermittlung von reproduzierbaren Kennwerten insbesondere unter komplexer Belastung bleibt eine zentrale Aufgabe der BAM.

Beurteilung von Anlagen und Bauwerken

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 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. In diesem Zusammenhang werden sowohl sicherheitsrelevante Infrastruktur- als auch historische Bauwerke zur Erhaltung des kulturellen Erbes betrachtet. Die Weiterentwicklung von Verfahren zum Schutz und zur Instandset-

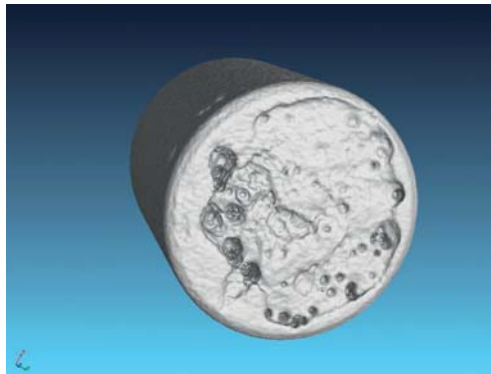
zung von Bauwerksoberflächen, u. a. unter Einbeziehung nanotechnologischer Neuerungen, ist notwendig zur Gewährleistung eines dauerhaften, gefahrlos nutzbaren Gebäudezustandes. In diesem Rahmen entwickelt und validiert die BAM Beurteilungskriterien für die Wirksamkeit bestehender und neuer Verfahren. 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.

Ein zentrales Thema zur Gewährleistung eines sicheren technischen Prozesses ist die Prüfung von Bauteilen und Komponenten unter prozessnahen Bedingungen. In der Entwicklung neuer fossilen Kraftwerke, die mit einem deutlich verminderten CO₂-Ausstoß operieren sollen, werden Leitungen und Komponenten einer thermischen und korrosiven Beanspruchung sowie einer mechanischen Belastung ausgesetzt, die höher liegen als in den herkömmlichen Anlagen. Die Entwicklung geeigneter Prüfverfahren zur Erfassung der Werkstoffveränderungen unter diesen kombinierten Beanspruchungen erfordert spezielle Laboranlagen zur Simulation der auftretenden Wechselwirkungen im geeigneten Maßstab sowie den Einsatz von aufwändigen Techniken zur Gefügecharakterisierung und Phasenidentifikation. Die Analyse der gewonnenen Ergebnisse ermöglicht die Kalibrierung und Überprüfung von thermodynamischen und kinetischen Modellen zur Vorhersage der Festkörperreaktionen und der Schädigungsentwicklung. In einem speziellen Berstprüfstand im Freiversuchsgebäude der BAM werden Druckgefäße und -leitungen unter realen Bedingungen ohne Gefährdung des Prüfpersonals und von Unbeteiligten bis hin zum Versagen geprüft. Dadurch werden unter Einsatzbedingungen die Versagensmechanismen untersucht, die Versagensmodelle überprüft und die Versagenskriterien validiert.

Zerstörungsfreie Prüfung von Anlagen und Systemen

Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung von Anlagen gibt es eine Reihe von offenen Fragen, die aufgrund komplexer Geometrien und unterschiedlichen Materialeigenschaften nur durch den Einsatz spezieller Prüfkonzepte lösbar sind. Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung dieser Konzepte ist die Optimierung der gerätetechnischen Grundlagen. Hier sieht die BAM noch einen erheblichen Forschungsbedarf, der auch durch Simulation und Modellierung gestützt werden muss. Zum Beispiel bietet die ortsauflösende und bildgebende Ultraschallprüftechnik für komplexe Geometrien bei einer Vielzahl von großindustriellen Problemstellungen (D2-Stützen, Wellen, Wälzlager, Turbinenschaft) genaue Aussagen über die Größe, Lage und Art der Materialfehler. Ziel der Forschungsaktivitäten der BAM auf diesem Gebiet ist sowohl die Anpassung der Gerätetechnik – in der Regel Gruppenstrahler-Technologie - als auch die Weiterentwicklung leistungsfähiger Rekonstruktionsalgorithmen, um das Leistungspotential gegenwärtiger und zukünftiger bildgebender Verfahren steigern zu können.

In der Kraftwerkstechnik wird infolge der Leistungssteigerungen und der damit verbundenen höheren Beanspruchung der Komponenten ein zunehmender Einsatz von Nickellegierungen erwartet. Damit verbunden ist die Forderung nach einem qualifizierten Nachweis der Langzeitbeständigkeit hinsichtlich Korrosion, Festigkeit und Verformungsfähigkeit dieser Strukturwerkstoffe. Im Hinblick auf die Ultraschallprüfung an Schweißverbindungen oder gegossenen Komponenten aus Nickellegierungen werden sich die Forschungsarbeiten der BAM mit der Schallfortpflanzung in grobkörnigen und/oder dendritischen Strukturen beschäftigen. Diese Aktivitäten knüpfen an früheren Entwicklungen zur Ultraschallprüfung von austenitischen Schweißungen und Mischschweißverbindungen an.



Schädigungsmechanismen und Schadensanalyse

Schäden an technischen Produkten verursachen erhebliche betriebswirtschaftliche Kosten und volkswirtschaftliche Verluste. Beispielsweise machen allein die durch Korrosion entstehenden Kosten in den Industrieländern 3,5 Prozent der Bruttowertschöpfung aus. Ähnliches gilt für andere Schädigungsmechanismen.

Voraussetzung für eine treffsichere Schadensanalyse, insbesondere aber für 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. Beispielsweise sind heute immer noch die Mechanismen weitgehend unbekannt, nach denen Risse in Bauteilen bei einer überlagerten Beanspruchung, die u. a. thermisch, mechanisch (tribologisch) und/oder korrosiv sein kann, eingeleitet werden und fortschreiten.

Die wissenschaftliche Klärung von Schädigungsmechanismen eröffnet ein weites Feld von Beiträgen zur zukünftigen Erhöhung der Sicherheit von Bauteilen, Anlagen, Systemen und Bauwerken. 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.

Die Forschung der BAM auf dem Gebiet der Schädigungsmechanismen fließt unmittelbar in die Schadensanalyse ein und umgekehrt. Die Gründe für das Versagen sicherheitsrelevanter technischer Produkte sind zumeist mannigfaltiger Natur. Häufig überlagern sich gerade bei katastrophalen Schäden im Rahmen einer Ereigniskette mehrere ungünstige Umstände, zumal gerade dadurch eine Überlagerung verschiedener Beanspruchungen verursacht wird. Eine widerspruchsfreie Schadensanalyse setzt deshalb sowohl umfangreiches Fachwissen über die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge als auch fundierte Erfahrung in der Analyse komplexer technischer Systeme und Bauwerke voraus. In den meisten Fällen ist daher die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Schadensanalyse erforderlich – eine Voraussetzung, die gerade die BAM erfüllt.

Umgekehrt ist es zwar das Primärziel jeder Schadensanalyse, die Ursache für das Versagen von Bauteilen, Bauwerken, Geräten oder Anlagen herauszufinden. Jedoch ergibt sich in den Fällen, in denen sich das Schadensbild durch bekannte Mechanismen und Zusammenhänge nicht eindeutig einordnen lässt, häufig anschließender Forschungsbedarf, teilweise im Bereich der Grundlagenforschung. Mit der Ursachenfindung verbindet sich zudem die Forderung, gleichartige oder ähnliche Schäden in der Zukunft auszuschließen und – falls nötig – bestehende Regelwerke durch neue Erkenntnisse aus Schadensfällen zu verändern. Damit ergibt sich häufig auch ein pränormativer Charakter der aus der Schadensanalyse resultierenden Forschung.

Nachfolgend sind beispielhaft Forschungsthemen beschrieben, die in diesem Arbeitsschwerpunkt in nächster Zeit im Fokus stehen:

Sichere Restnutzung von Infrastrukturbauwerken

Eine lange Nutzung bestehender Infrastrukturbauwerke ist von großem wirtschaftlichem Nutzen. Ausgangspunkt einer Bauwerksbewertung ist eine aktuelle Zustandsanalyse in Form von Bauwerks- und Laboruntersuchungen, ergänzt durch theoretische und rechnerische Analysen der Resttragfähigkeit. Insbesondere bei Bauwerken unter häufig wechselnder Beanspruchung ergeben sich daraus auch Aussagen über eine Restnutzungsdauer. Wichtig für

eine gleichermaßen zuverlässige und wirtschaftliche Bewertung ist insbesondere eine wirklichkeitsnahe Ermittlung der Schädigungen und der Resttragfähigkeit. Ein Forschungsschwerpunkt an der BAM liegt dementsprechend sowohl auf der Verfahrensentwicklung zur Schadensanalyse als auch auf der Verbesserung der theoretischen Bewertungsverfahren. Auf Grundlage langjähriger Erfahrungen werden derzeit an der BAM Versuche zur Ermittlung von Schädigungs- und Versagensmechanismen an Originalbauteilen einer Stahl-Fachwerkbrücke unter komplexer Beanspruchung durchgeführt. Die rissgefährdeten Bereiche werden dabei radiographisch untersucht. Die Ergebnisse werden für die Bewertung der Restlebensdauer und die Festlegung von Untersuchungskonzepten insbesondere von Bahnbrücken herangezogen. Zukünftig sollen die entwickelten Verfahren auch für die Bewertung anderer Bauwerke und Baustoffe wie z.B. für Stahlbeton- und Spannbetonbrücken in entsprechend angepasster Form eingesetzt werden

Optimierung von Baustoffen

Einen Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten zu Schädigungsmechanismen an Baustoffen stellen Untersuchungen zur Alkali-Kieselsäurereaktion (AKR) in Beton dar. Diese Art der Betonschädigung verursacht alleine in Deutschland jährlich Reparaturkosten im Millionenbereich. Ziel der Forschung ist deshalb die Untersuchung der Faktoren zur Vermeidung von Schäden durch eine AKR. Bei der Alkali-Kieselsäurereaktion (AKR) reagieren empfindliche Gesteinskörnungen mit Alkalien, die im Zement schon vorhanden sind oder von außen zusätzlich zugeführt werden (z.B. durch Tausalze). Ein Forschungsthema ist hierbei der Einfluss von Zusatzstoffen (Flugasche, Mikrosilika, natürliche Puzzolane) und latent hydraulischen Stoffen auf den Verlauf der AKR. Die Erfahrung zeigt, dass Betonrezepturen mit Zusatzstoffen weniger anfällig gegen eine AKR sind. Eine derzeit durchgeführte Studie verfolgt deshalb das Ziel, die Reaktionsmechanismen bei einer AKR in Beton mit und ohne Zusatzstoffe zu untersuchen. Die Ergebnisse sollen zukünftig dazu beitragen, Betonrezepturen unter Berücksichtigung von Zusatzstoffen zu optimieren, um in Zukunft Schäden durch diesen Reaktionsmechanismus zu minimieren.

Schädigung an Hochleistungskompositen

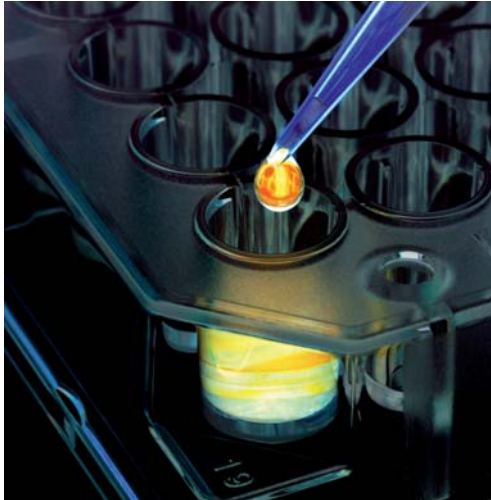
Der stark zunehmende Einsatz kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe (CFK) im Aerospace-Sektor wird seit zwei Dekaden von einem Informationsmangel über die mikrostrukturellen Versagensmechanismen begleitet. Die extreme Anisotropie und die hohe Grenzflächendichte der Substruktur dieses Strukturwerkstoffs erschweren sowohl die Modellierung als auch die thermomechanisch begründete Prognose des Versagens. Der Komposit-typische Vorteil der homogenen Spannungsverteilung muss erkauf werden mit dem Nachteil „spontanen“ Versagens an der Belastungsgrenze, nachdem subkritische Grenzflächendefekte bis zum Erreichen des Destruktionsniveaus akkumuliert sind. Erst die in der BAM entwickelte Interface-selektiven Röntgen-Refraktions-Topographie konnte den systematischen Zusammenhang zwischen der Defektentwicklung und dem Ermüdungsversagen herstellen. Das für Nanorisse und -poren sensitive Verfahren mit internationaler Alleinstellung wird in der BAM erfolgreich eingesetzt und in enger Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen optimiert. Aktuell stehen hier die Beschleunigung der Messtechnik und die bessere Ortsauflösung an, um in akzeptablen Messzeiten statistisch gesicherte Erkenntnisse von genügend vielen vorbelasteten Probekörpern zu erreichen. Weiterhin wird bereits die in-situ-Synchronisierung der zerstörungsfreien und der mechanischen Prüfung durch Integration eines Röntgen-Refraktion-Scanners in die Prüfmaschine vorbereitet.





Rahmenbedingungen

Eine leistungsfähige Forschung braucht geeignete Rahmenbedingungen, damit sie den an sie gestellten Ansprüchen genügen kann. Nur mit den notwendigen materiellen und personellen Ressourcen lässt sich die gewünschte hohe Qualität der Forschung realisieren. Eine weitere Rahmenbedingung 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 Qualitätssicherung 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. Jährlich führt die BAM im Bereich der Forschung und Entwicklung eine Eigenevaluation durch. Die Tätigkeiten werden begleitet durch wissenschaftliche Beiräte sowie ein Kuratorium.

Die BAM arbeitet nach den Grundlagen der guten wissenschaftlichen Praxis der DFG und verfügt über ein flächendeckend eingeführtes Qualitätsmanagement. Weitere interne Maßnahmen sind die Festlegung von Zielvereinbarungen als auch ein regelmäßiges Controlling verbunden mit einem internen Ranking.



Ressourcen

Die BAM verfügt über ein fest budgetiertes und weitestgehend flexibilisiertes Haushaltsvolumen von ca. 100 M€. Darüber hinaus verzeichnete sie im Jahr 2007 Einnahmen aus Prüfungs- und Zulassungstätigkeiten in Höhe von 8,0 M€, von denen ca. 6,5 M€ an den Bund abgeführt wurden. Zusätzlich wurden 2007 Forschungsdrittmittel in Höhe von 12,4 M€ umgesetzt.

Ungefähr 60 Prozent der Arbeitszeit des dauerhaft und des befristet beschäftigten Personals werden für den Bereich Forschung und Entwicklung aufgebracht. Die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in der BAM sind miteinander verzahnt, so dass der reine Forschungsanteil nicht genau ausgewiesen werden kann. Etwa 80 % der Forschungsdrittmittel werden für Personal bereitgestellt, sodass pro Jahr etwa 65 % der gesamten Personalkosten, dies sind zwischen 45 und 50 M€ im Bereich Forschung und Entwicklung investiert werden. Die restlichen rund 40 Prozent verteilen sich auf die Tätigkeitsbereiche Beratung und Information (22 %), Prüfung, Analyse, Zulassung (13 %) und Infrastruktur (8 %). Auch in Zukunft wird die BAM, der Empfehlung des Wissenschaftsrates folgend, eine ausreichende Verschränkung dieser Tätigkeitsfelder sicherstellen, um ihre Kompetenz und Wettbewerbsfähigkeit weiter auszubauen.

Erstmalig wurden für das Jahr 2008 Haushaltsmittel BAM-intern für die Bearbeitung von Forschungsthemen im Wettbewerb vergeben. Im Rahmen der „Innovationsoffensive BAM“ haben die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die Möglichkeit, für innovative Fragestellungen zusätzliche Projektmittel aus dem Haushalt der BAM zu erhalten. Es werden dabei besonders die Projektanträge gefördert, die einen unmittelbaren Bezug zu den im Forschungsprogramm angeführten Themenstellungen

gen haben und abteilungsübergreifend angelegt sind. Auch in den Folgejahren wird die BAM einen Teil der im Rahmen der Innovationsoffensive der Bundesregierung zusätzlich bereitgestellten Haushaltsmittel für die Generierung solcher innovativer Forschungsleistungen nutzen.

Eine wichtige leistungsorientierte Ressource stellen Drittmittel dar. Sie sind für die BAM ein wichtiger Faktor zur Gewährleistung der wissenschaftlichen Qualität und internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Drittmittelprojekte fördern wesentlich die nationalen und internationalen Kooperationen mit Hochschulen, anderen Forschungseinrichtungen und mit der Wirtschaft. Diese tragen wiederum erheblich zum Kompetenzerhalt, insbesondere aber zum Know-how-Transfer bei und sichern so die Einbettung der BAM in das Gesamtgefüge der Scientific Community. Darüber hinaus sind Drittmittel 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 zunehmende Beantragung von Drittmitteln und berücksichtigt den Erfolg sowohl bei der Leistungsbewertung und bei der Vergabe von Leistungsprämien als auch bei der Vergabe von Haushaltsmitteln.

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-Kodex Grundsätze für die Einwerbung von Drittmitteln festgeschrieben. Einer dieser Grundsätze ist es, eine Ausgewogenheit bei den Drittmittelumsätzen bezogen auf die Fördermittelgeber zu erreichen. Die Darstellung der 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 Drittmittelbereich 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 For-

schungsmittel hinsichtlich ihrer Herkunft sicherzustellen, ist der uneingeschränkte Zugang der BAM zu den verschiedenen Drittmittelquellen eine wesentliche Voraussetzung. Hierfür wird sich die BAM zusammen mit dem BMWi auch in Zukunft einsetzen.

Im Rahmen ihres Auftrages die deutsche Wirtschaft zu unterstützen, 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. Wichtig ist es daher, dass das BMWi-interne Förderprogramm „Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen bei der Umsetzung von Innovationen in den Bereichen Messen, Normen, Prüfen und Qualitätssicherung („MNPQ-Transfer“), das der besonderen Förderung des Mittelstandes durch die ressorteigenen Bundesanstalten dient, erhalten bleibt und ggf. noch ausgebaut wird.

Aufgrund ihrer regelsetzenden Tätigkeiten werden für die BAM zukünftig auch die neu eingerichteten Förderprogramme zur besseren Vernetzung von Forschung und Normung von Interesse sein. Als Beispiel sei hier das Projekt „Innovation mit Normen und Standards (INS)“ des BMWi zu nennen.



Ausstattung

Ein hohes Niveau bei der technischen Ausstattung ist eine Voraussetzung für die hervorragende Stellung der BAM auf dem Gebiet der Sicherheit in Chemie- und Materialtechnik. 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. Über ihre einmaligen Einrichtungen informiert die BAM auf ihrer Website.

In den nächsten Jahren wird die BAM die im Rahmen der Innovationsoffensive der Bundesregierung gegebenen Möglichkeiten nutzen, um noch stärker als bisher die apparative Ausstattung zu erweitern und zu modernisieren. Auf diese Weise werden die Voraussetzungen geschaffen, um den wachsenden Anforderungen im Zuge der zunehmenden Globalisierung der Forschung gerecht zu werden.



Wissenschaftlicher Nachwuchs

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. Nur wenn es gelingt, rechtzeitig Nachwuchslücken in diesem Bereich zu vermeiden, kann die laufende Innovationsoffensive zu einem nachhaltigen Erfolg geführt werden.

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. Sie hat bereits vor zehn Jahren ein Doktoranden- und ein Nachwuchswissenschaftlerprogramm initiiert. Ergänzt werden diese Programme seit Anfang 2006 durch ein Programm für den Austausch hochrangiger junger Wissenschaftler mit renommierten internationalen Instituten, der

Adolf-Martens-Fellowship. In diesem Zusammenhang wird die BAM künftig vermehrt international ausgerichtete Aktionen vorantreiben, die junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammenführen. Parallel dazu werden in vielen Bereichen der BAM Studenten und Diplomanden verschiedener Universitäten und Fachhochschulen im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten sowie Praxissemestern ausgebildet. Auch mit der nebenberuflichen Lehrtätigkeit ihrer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Universitäten und Fachhochschulen trägt die BAM verstärkt zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses bei, vor allem in den für die Aufgaben der BAM bedeutsamen Fachgebieten.

Doktorandenprogramm

In dem 1996 begonnenen Programm 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 2007 auf etwa 80 Personen erweitert. Ziel ist es, in den Folgejahren etwa 100 Doktorandinnen und Doktoranden zu beschäftigen. Dafür werden etwa zwei Prozent der Haushaltsmittel bereitgestellt. Seit dem Drittmittelzuwachs ab dem Jahr 2001 ist auch eine weitgehende Zusatzfinanzierung aus diesen Mitteln möglich.

Seit Einrichtung des Doktorandenprogramms haben über 100 Personen fast ausschließlich an deutschen Universitäten promoviert. Nur wenige sehr gute Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden nach ihrer Promotion übernommen. Der größte Teil verlässt die BAM und trägt zum Know-how-Transfer in den Aufgabengebieten der BAM bei. Zur Erweiterung der internationalen Kooperationen ist es das Ziel, in den nächsten Jahren den Anteil ausländischer Doktoranden mit Abschlüssen von renommierten Universitäten deutlich zu erhöhen und sich damit mehr an dem internationalen Wissenschaftlertausch 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.

Post-Doc-Programm

Parallel zum Doktorandenprogramm wurde 1995 ein Nachwuchswissenschaftlerprogramm initiiert, in dem zunächst bis zu 35 promovierte Wissenschaftler bis zu fünf Jahren eingestellt wurden. Im Jahr 2006 wurde das Programm in ein Post-Doc-Programm überführt. Seitdem besteht eine Beschäftigungsmöglichkeit für zwei plus zwei und im Falle einer Habilitation von drei plus drei Jahren. Mit dem Post-Doc-Programm soll jungen, promovierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern im Rahmen einer zeitlich befristeten Tätigkeit die Möglichkeit gegeben werden, sich entsprechend beruflich weiter zu qualifizieren. Die Finanzierung erfolgt aus den Mitteln der Abteilungen, in denen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler tätig sind.

Das Programm ist eine wichtige Quelle zur Gewinnung wissenschaftlichen Personals. Um Chancengleichheit herzustellen und eine Bestenauswahl zu treffen, müssen sich zukünftig die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus diesem Kreis bei der Besetzung einer Dauerstelle dem Wettbewerb mit externen und aus Forschungsmitteln bezahlten Bewerbern stellen.

Adolf-Martens-Fellowship

Um promovierten Spitzenwissenschaftlerinnen und –wissenschaftlern kürzere Forschungsaufenthalte in der BAM zu ermöglichen, wurde ab dem Jahr 2006 im Sinne eines Post-Doc-Programmes eine international ausgerichtete Fellowship angelegt. Ziel dieser Adolf-Martens-Fellowship ist es, den Wissenstransfer in die BAM hinein und aus der BAM heraus zu steigern. Hiermit sollen qualifizierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt gewonnen werden (<http://www.bam.de/de/aktuell/stellenangebote/index.htm>). Die Fellowship wird aus zentralen Mitteln der BAM finanziert. Über die Auswahl entscheidet ein interner Beraterkreis.



Vernetzung

Für eine 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 damit mit renommierten Instituten weltweit weiter 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.

Bilderläuterungen

- Deckblatt: Röntgenmessplatz der BAM (BAMline) mit 6-Kreis-Goniometer an der Berliner Synchrotronstrahlungsquelle BESSY für die Untersuchungsmethoden: Reflektometrie (z. B. Schichtdickenbestimmung), Röntgenbeugung (z. B. Kristallstrukturanalyse), Laue-Kontrast-Radiographie (z. B. Bestimmung der Verformung elektronischer Bauteile) sowie Refraktions-Computertomographie (z. B. Grenzflächen-Visualisierung in Verbundwerkstoffen).
- Seiten 2/3 Prüfstand zur Untersuchung thermischer Unfalleinwirkungen auf Gefahrgutumschließungen (BAM Testgelände Technische Sicherheit). Die Befuerung der Versuchsobjekte erfolgt über in Positionierung und Propan-Durchflussmenge variierbare Gasbrenner.
- Seiten 4/5 Sekundärionen-Massenspektrometer (links) mit zusätzlichen Präparationskammern (rechts) zum Einsatz im Bereich der Schicht- und Oberflächenanalytik
- Seite 6 Durchstrahlungsprüfung eines Rotors; am Bildschirm simuliert
- Seite 9 Wasserstoffspeicherung in Glaskapillaren; Ausschnitt eines Arrays aus 91 einzelnen Rundkapillaren
- Seite 11 Brandversuch an Kinderspielzeug zur Messung des Massenverlustes sowie der Wärme- und der Schadstofffreisetzung
- Seite 13 Online-Überwachung zur Schadensfrüherkennung bei Rotorblättern von Windenergieanlagen durch die Integration von Fasersensoren
- Seite 16 Prüfung eines Stahlgussknotens aus der Gründungskonstruktion einer Offshore-Windkraftenergieanlage in der 25MN-Großprüfmaschine
- Seite 19 Analytik mit Synchrotronstrahlung am Berliner Elektronenspeicherring (BESSY)
- Seite 21 50-m³-Silo zur Untersuchung druckentlasteter Staubexplosionen (BAM Testgelände Technische Sicherheit)
- Seite 25 Aus Holz auswachsendes Pilzmycel
- Seite 26 Traglastversuch an einem Original-Träger einer über 100 Jahre alten englischen Eisenbahnbrücke im Großbauteilprüfstand
- Seite 29 Zerstörungsfreie computertomographische Analyse der korrosiven Schädigung von Stahl in Stahlbeton
- Seiten 32/33 Screening von bioanalytischen Reagenzien
- Seite 34 *links*: Fluoreszenzimmunoassay in der Bioanalytik
- Seite 34 *rechts*: Referenzmaterial BAM-M388 für die Analyse der Kupferlegierung Nordic Gold, dem Material aus dem die 10, 20 und 50 Eurocent-Münzen hergestellt werden
- Seite 35 Große Fallversuchsanlage für Prüfobjektmassen bis 200 Tonnen (BAM-Testgelände Technische Sicherheit). Dort können u.a. CASTOR-Behälter in Originalgröße Unfall simulierenden Fallversuchen auf ein unnachgiebiges Fundament unterzogen werden.