

Sicherheit in Technik und Chemie



JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT
2015

The image shows the cover of an annual report. The top half is white, and the bottom half is a dark grey triangle that points upwards from the bottom left corner. The text is white and positioned in the bottom right area of the grey triangle.

JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT
2015

Impressum/Editorial Information
Jahresbericht 2015/Annual Report 2015

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

Redaktion/Editing:
Dr. Ulrike Rockland (verantwortl.), BAM-UK
BAM-Z.8

Autoren/Authors:
Dr. Ulrike Rockland
unter Mitarbeit zahlreicher Damen und Herren in den Abteilungen
with the help of numerous colleagues from the departments

Übersetzung/English by
Nigel Pye, NP Services
Foley View, Farleigh Lane,
Maidstone, Kent, ME16 9LX, England
npservices4u@gmail.com

Schlussbearbeitung/Final Editing: BAM

Layout:
BAM-UK, BAM-Z.8

Bilder und Grafiken/Illustrations: Wenn nicht anders vermerkt,
BAM-Fachabteilungen, UK und Referat Z.8

Druck und Verarbeitung/Print:
Conrad GmbH
www.druckereiconrad.de

ISSN 0934-9456

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

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



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

DIE MITGLIEDER DES KURATORIUMS DER BAM

Stefan Schnorr (Vorsitzender)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Leiter der Abteilung Digital- und Innovationspolitik, Berlin

Dr.-Ing. Torsten Babke

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

Professorin Dr.-Ing. Christina Berger

ehemals Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde, Staatliche Materialprüfungsanstalt, Technische Universität Darmstadt

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

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

Professor Dr. rer. nat. Ulrich Buller

Leiter des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie, IZI Institutsteil Bioanalytik und Bioprozesse, Potsdam

Dr.-Ing. Matthias Fankhänel

BASF SE, Senior Vice President, Ludwigshafen

Dr.-Ing. E. h. Bernhard Fischer

Chief Executive Officer, E.ON Generation GmbH, Global Unit Generation, Hannover

Professorin Dr. Ursula Gather

Rektorin der Technischen Universität Dortmund

Dr. rer. nat. Thomas Grandke

ehemals Siemens AG, Corporate Technology, Berlin

Professor Dr. rer. nat. Detlef Günther

Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen der ETH Zürich, Schweiz

Professor Dr. rer. nat. Dr. h. c. mult. Jörg Hinrich Hacker

Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V., Halle

Professor Dr. rer. nat. habil. Dr. h. c. Reinhard F. Hüttl

Wissenschaftlicher Vorstand des GeoForschungsZentrums Potsdam

Dr.-Ing. Stefan Kienzle

Daimler AG, Centerleiter "Leichtbau, Material- und Produktionstechnologien", Sindelfingen

Dr.-Ing. Jutta Klöwer

VDM Metals GmbH, Senior Vice President, Research & Development, Altena

Alexandra Knauer

Geschäftsführerin der KNAUER Wissenschaftliche Geräte GmbH, Berlin

Dr.-Ing. Sebastian Muschelknautz

CEO and Managing Director, TakeOFF Engineering GmbH, München

Professor Dr. sc. nat. Dr. h. c. Joachim Sauer

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Chemie, Arbeitsgruppe Quantenchemie, Berlin

Professor Dr. rer. nat. habil. Ferdi Schüth

Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim

Professorin Dr. rer. nat. habil. Brigitte Voit

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

Professor Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch

Geschäftsführender Direktor des IWT, IWT Stiftung Institut für Werkstofftechnik, Leiter der Hauptabteilung Werkstofftechnik, Bremen

Stand: Juni 2016

INHALT

CONTENTS

BAM 2015 **7**

Sicherheit macht Märkte
Safety creates markets 8

Gespräch mit dem Präsidenten der
BAM, Prof. Dr. Ulrich Panne 10
Interview with BAM's President

Die BAM – eine attraktive Arbeitgeberin
BAM – an attractive employer 14

Zwillingsprojekte der besonderen Art
Special twinning projects 18

Die Juniorprofessur an der BAM 22
Junior professorships at BAM

Weltweite Vernetzung der Materialforschung
World-wide network of materials research 28

Ringversuche: Wissen, dass der Messwert
richtig ist 32
Proficiency testing: knowing that the
measurement is correct

Alumni 36
Alumni

THEMENFELD ENERGIE **40** **FOCUS AREA ENERGY**

Mit Mathematik Materialversagen vorhersagen
Predicting material failure using mathematics 44

Mehr als heiße Luft 48
More than hot air

Mit festem Stand im Meeresboden 52
Standing firm on the seabed



THEMENFELD INFRASTRUKTUR **56** **FOCUS AREA INFRASTRUCTURE**

Verbundwerkstoffe im Feuer 60
Composites in fire

Alternative Treibstoffe: 64
Sicher anders – anders sicher
Alternative fuels: highly dissimilar yet
equally safe

Geopolymer-Beton: Ein Baustoff wird öko 68
Geopolymer concrete: a building material goes eco

THEMENFELD UMWELT **72** **FOCUS AREA ENVIRONMENT**

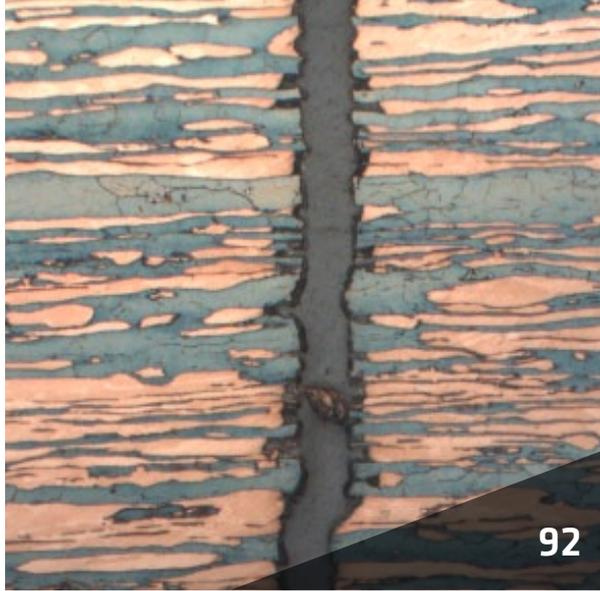
Tieeeeef durchatmen 76
Take a deeep breath

Gesundes Wohnen durch
öko-innovative Bauweisen 80
Healthy living through
eco-innovative construction methods

Messen, wo Hitze alles zerstört: Chemische
Online-Analyse für Hochtemperaturprozesse 84
Measuring, where heat destroys everything:
chemical online analysis for high-temperature
processes



84



92



32

THEMENFELD MATERIAL FOCUS AREA MATERIALS

88

Schädigungsmechanismus verstehen:
Schwingungsrisskorrosion von Wellenwerkstoffen 92
Understanding damage mechanisms: corrosion
fatigue of shaft materials

Der feine Unterschied zur normalen
Metallwerkstatt 98
The subtle difference to a normal metal workshop

Funktionskeramik für sichere Schaltungsträger 102
Functional ceramics for safe circuit boards

Optimierte Wärmeleitung:
Das A und O beim Schweißen 106
Optimised heat control:
the nuts and bolts of welding

THEMENFELD ANALYTICAL SCIENCES FOCUS AREA ANALYTICAL SCIENCES

110

Verbesserte Vergleichbarkeit von
Messungen in der Chemie 114
Improved comparability of measurements
in chemistry

TomoWELD: Defekte in Schweißnähten
präzise erkennen 118
TomoWELD: precise detection of
weld defects

Der richtige Blick ins Auge 122
The right look

Mit Modellierungen kalibrieren: LIBS 126
Calibration using modelling: LIBS

Ein Blick auf fast nichts: Nano 130
A look at almost nothing: nano

ANHANG APPENDIX

134

Die BAM in Zahlen 134
BAM in figures

Lagepläne 136
Sitemaps

Aufgaben | Struktur | Kontakte 140
Tasks | Structure | Contacts





BAM 2015

BAM 2015

SICHERHEIT MACHT MÄRKTE.



SAFETY CREATES MARKETS.

Wir arbeiten für eine ausgeprägte Sicherheitskultur in Deutschland und Sicherheitsstandards, die auch in Zukunft höchsten Anforderungen genügen.

SICHERHEIT MACHT MÄRKTE.

In den Spitzen- und Schlüsseltechnologien Materialwissenschaft, Werkstofftechnik und Chemie leistet die BAM einen entscheidenden Beitrag zur technischen Sicherheit von Produkten, Prozessen und der Lebens- und Arbeitswelt der Menschen.

Als Bundesoberbehörde sind wir wirtschaftlich unabhängig und fungieren als neutraler Moderator externer Entscheidungsprozesse. Darüber hinaus ermöglichen wir den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Politik und für die Erfüllung öffentlicher Aufgaben. In unseren nationalen und internationalen Netzwerken betreiben wir Technologietransfer und wir nutzen ihre Kompetenzen und wertvollen Impulse für unsere aktuelle Arbeit und die zukünftige Ausrichtung der BAM.

Im Rahmen unserer gesetzlichen und gesellschaftspolitischen Aufgaben identifizieren, kommunizieren und implementieren wir Anforderungen an die Sicherheit in Technik und Chemie für die Gesellschaft von morgen. Mit unseren Innovationen in Forschung und Entwicklung und der Weitergabe unseres Wissens fördern wir die deutsche Wirtschaft.

We make every effort to produce a strong safety culture in Germany and safety standards that will meet the highest requirements in the future.

SAFETY CREATES MARKETS.

At the cutting edge of key technologies of materials science, materials engineering and chemistry, BAM make a crucial contribution to the technical safety of products, processes and to people's life and work environment.

As a senior federal institute, we are financially independent and act as a neutral moderator in external decision-making processes. In addition, we ensure the transfer of scientific knowledge by providing advice to politicians and performing public duties. We perform technology transfer in our national and international networks and use their competences and valued ideas for both our current work and in setting BAM's future direction.

As part of our legal and political tasks we identify, communicate and implement requirements in "Safety in technology and chemistry" for tomorrow's society. Innovations in research and development and the dissemination of our knowledge help promote the German industry.

GESPRÄCH MIT DEM PRÄSIDENTEN DER BAM, PROF. DR. ULRICH PANNE

INTERVIEW WITH BAM'S PRESIDENT



DAS JAHR 2015 WAR GEPRÄGT DURCH DIE VORBEREITUNG DER EVALUIERUNG DER BAM DURCH DEN WISSENSCHAFTSRAT. DIE ERGEBNISSE LIEGEN NUN VOR, WAS SAGEN SIE DAZU?

Der Wissenschaftsrat hat die BAM als eine beispielgebende Ressortforschungseinrichtung beurteilt, wir überzeugen als wissenschaftsbasiertes Kompetenzzentrum für Sicherheit in Technik und Chemie.

Das bedeutet, dass wir unseren Auftrag sehr gut erfüllen. Dies vom Wissenschaftsrat bestätigt zu bekommen, darüber freue ich mich als Präsident natürlich gemeinsam mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BAM, denn das ist eine großartige Anerkennung unserer Arbeit.

EIN BAUSTEIN DES ERFOLGS DER BAM HEISST INTERDISZIPLINARITÄT. WIE ERFOLGT DIE ZUSAMMENARBEIT ÜBER FACHGRENZEN HINWEG?

Die BAM ist die einzige Einrichtung in Europa, die Sicherheit in Technik und Chemie in der umfassenden multi- und interdisziplinären Breite bearbeitet. Wir leben Interdisziplinarität an der BAM schon sehr lange und werden sie noch weiter ausbauen. Denn wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Fachdisziplinen zusammenarbeiten, kommen hochrelevante und spannende Ergebnisse heraus. Dies spielt eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen in Technologien und Produkte. Wir verfügen über die Systemkompetenz, haben ganzheitliches Wissen um Werkstoffe, deren Herstellung und Verarbeitung und die Funktionen der resultierenden Produkte, Bauteile oder Anlagen. Die Bündelung in den fünf Themenfeldern Energie, Infrastruktur, Umwelt, Material und Analytical Sciences helfen uns, unsere Kompetenz im vielfältigen Wissenschaftsbereich stärker sichtbar werden zu lassen.

Zusammenarbeit erfolgt aber auch mit anderen Institutionen, ob mit Universitäten oder außeruni-

versitären Forschungseinrichtungen. Hier haben wir mit vielen Partnern an unterschiedlichen Standorten in Deutschland sehr wichtige Kooperationen etabliert. Auch die Fortsetzung der Exzellenzinitiative durch den Bund und die Länder bietet neue Möglichkeiten. Die BAM hat mit der Graduiertenschule für Analytical Sciences Adlershof (SALSA) mit der Humboldt-Universität zu Berlin bewiesen, wie attraktiv wir als Kooperationspartner sind.

STICHWORT INTERNATIONALITÄT: WAS HAT DIE BAM HIER NOCH VOR?

Die BAM ist eine international sehr gut vernetzte und auch im Ausland sehr anerkannte Ressortforschungseinrichtung. Wir sind nicht nur in nationalen, sondern auch in internationalen Gremien sehr gut vertreten. Unser Spektrum an Kompetenzen sowie die zahlreichen von unseren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf sehr hohem Niveau bearbeiteten Aufgaben erzeugen ein einzigartiges internationales Leistungsprofil. In Zukunft wollen wir noch stärker unsere europäische Vernetzung nutzen und ausbauen.

WER ERFOLGREICH FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG BETREIBT, BRAUCHT DIE BESTEN KÖPFE. WIE STELLT SICH DIE BAM HIER AUF?

Der Wissenschaftsrat (WR) hat uns bestätigt, dass die in vielen Bereichen exzellente Forschungsinfrastruktur der BAM uns attraktiv für in- und ausländische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler macht, einschließlich der Doktorandinnen und Doktoranden. Dies stärkt unsere Nachwuchsgewinnung. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben auf den WR auch einen sehr motivierten Eindruck gemacht. Das ist einerseits auf die Forschungsbedingungen, aber auch auf die aktive Personalentwicklung zurückzuführen, die wir an der BAM betreiben. Ebenfalls positiv sieht der Wissenschaftsrat die Gleichstellungsmaßnahmen der BAM. Wir erreichen also schon einiges beim Wettbewerb um die besten Köpfe. Wir wollen künftig aber noch mehr tun und unsere Rekrutierungsstrategie weiter schärfen.

AUCH DAS THEMA BERUF UND FAMILIE SPIELT IM WETTBEWERB BEI DER PERSONALGEWINNUNG EINE WICHTIGE ROLLE. WAS TUT DIE BAM HIER?

Wir haben zusätzlich zu den bereits bestehenden Maßnahmen das „audit berufundfamilie“ erfolgreich durchlaufen und sind hierfür ausgezeichnet worden. Unsere Angebote reichen vom Eltern-Kind-Büro bis hin zu flexiblen Arbeitszeiten, was insgesamt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BAM ermöglicht, ihre beruflichen und familiären Aufgaben gut miteinander zu vereinbaren. In den kommenden drei Jahren werden die Rahmenbedingungen der täglichen Arbeit bei der BAM noch familien- und lebensphasenbewusster gestaltet werden.

Dabei geht es neben der flexiblen Arbeit auch um die Unterstützung bei familiären Freistellungsphasen und familienbewusste Gesundheitsangebote. Wir müssen aktiv etwas dafür tun, damit die Menschen neben der Kindererziehung oder Pflege der Eltern auch erfolgreich im Beruf sein können. Wo bei wir hier an der BAM bereits viele weitreichende Regelungen haben, mit denen wir uns wirklich nicht verstecken müssen.



WIE SIEHT ES IM BEREICH DER BERUFLICHEN AUSBILDUNG BEI DER BAM AUS?

Wir bilden bei der BAM für viele Berufe aus und das machen wir gemeinsam sehr erfolgreich: Wir sind einer der besten Ausbildungsbetriebe Berlins, wie uns von der Industrie- und Handelskammer Berlin und der Handwerkskammer Berlin attestiert worden ist, wir werden besonders für das vielfältige Ausbildungsspektrum der BAM und die Integration der Auszubildenden in den wissenschaftlichen



Alltag gelobt. Im Jahr 2015 wurde die BAM mit dem IHK-Siegel für exzellente Ausbildungsqualität ausgezeichnet. Über solche Anerkennungen freue ich mich besonders.

SIE HABEN AUCH DAS ZIEL, DIE KOMMUNIKATION DER BAM WEITER ZU VERSTÄRKEN. WAS IST HIERZU GEPLANT?

Unser Auftrag ist es, durch Beratung und Information Lösungen für sicherheitstechnische Probleme zu erarbeiten und diese bekannt zu machen. Dadurch tragen wir dazu bei, dass diese Lösungen zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben eingesetzt werden. Der Wissenschaftsrat hat uns hierzu empfohlen, aufgrund des vielfältigen Aufgabenspektrums und der heterogenen Adressatengruppen der BAM eine übergreifende Kommunikationsstrategie zu verfolgen. Es wurde gelobt, dass wir uns derzeit intensiv mit diesem Thema befassen. Aber nicht nur die Außenkommunikation, auch die Kommunikation innerhalb der BAM soll weiterentwickelt werden. Die Einrichtung eines Referats „Unternehmenskommunikation“ hat der Wissenschaftsrat als eine geeignete Maßnahme hervorgehoben, um die Etablierung einer übergreifenden Kommunikationsstrategie in der BAM voranzutreiben.

THE YEAR 2015 WAS MARKED BY THE PREPARATION FOR BAM'S EVALUATION BY THE GERMAN COUNCIL OF SCIENCE AND HUMANITIES (WISSENSCHAFTSRAT). THE RESULTS ARE NOW AVAILABLE, WHAT IS YOUR OPINION ON THE MATTER?

The Council of Science's evaluation deemed BAM as an exemplary departmental research institution: a strong science-based competence centre for safety

in technology and chemistry. This means that we fulfil our task very well. Having this confirmed by the Council of Science is a great recognition of our work, which I, as president, and BAM's employees are very happy about.

INTERDISCIPLINARITY IS A KEY COMPONENT IN BAM'S SUCCESS. HOW DOES COLLABORATION TAKE PLACE ACROSS THE VARIOUS DISCIPLINES?

BAM is the only facility in Europe that deals with safety in technology and chemistry at a comprehensive multi- and interdisciplinary scale. We have implemented interdisciplinarity at BAM for a long time and want to expand it even further because when scientists from various disciplines work together, the results that emerge are highly significant and exciting. This plays a crucial role in the inclusion of new scientific knowledge in existing and new technologies and products. We share expertise through the system: we possess holistic knowledge of materials, their manufacture and processing and the functions of the resulting products, components or installations. Grouping the topics in the five focus areas of energy, infrastructure, environment, materials and analytical sciences helps us make our expertise more visible in the diverse scientific world.

We also cooperate with other institutions such as universities or non-university research institutes where we have established very important links with many partners at different locations in Germany. The continuation of the Excellence Initiative by the Federal Government and the German states also offers new opportunities. BAM has demonstrated its qualities as an attractive collaboration partner through the Graduate School of Analytical Sciences Adlershof (SALSA) with the Humboldt Universität zu Berlin.

KEYWORD INTERNATIONALITY: WHAT ARE BAM'S CURRENT PLANS IN THIS AREA?

BAM is an internationally very well-connected federal research institution that is also highly regarded abroad. We are very well represented in both national and international associations. Our range of expertise and the numerous tasks executed at a very high standard by our researchers create a unique international performance profile. In the

future, we aim to use and expand our European network further.

THE SUCCESSFUL CONDUCT OF RESEARCH AND DEVELOPMENT REQUIRES THE BEST MINDS. WHAT DOES BAM OFFER IN THIS RESPECT?

The Council of Science has confirmed that BAM's excellent research infrastructure in many areas makes us attractive for domestic and foreign scientists including Ph.D. students. This strengthens our young talent recruitment programme. Our employees have also made a very strong impression on the Council of Science. This is due to the research conditions and the active staff development that BAM conducts. The Council of Science also commended BAM's equal opportunity policy. We have achieved quite a bit in the competition for the best minds. In the future, we aim to do more to sharpen our recruitment strategy.

THE ISSUE OF A GOOD WORK-LIFE BALANCE ALSO PLAYS AN IMPORTANT ROLE IN THE COMPETITION FOR RECRUITMENT. WHAT IS BAM DOING IN THIS RESPECT?

In addition to the current measures, we have also successfully passed the „work-family audit“ with distinction. Our offers range from parent-child-office to flexible working hours, which overall enables BAM's employees to reconcile their work and family responsibilities. In the next three years, the framework conditions of daily work at BAM will be made even more family and lifecycle friendly.

In addition to flexible working hours we also offer support in parental responsibility, retirement planning or compassionate leave phases and family-oriented health services. We must actively help people be successful in their job alongside childcare responsibilities or looking after parents. In this regard, we already have many far-reaching regulations at BAM of which we can be proud.

WHAT ABOUT THE FIELD OF VOCATIONAL TRAINING AT BAM?

BAM offers training for many professions which is something we do very successfully. We are one of the best training enterprises in Berlin, which was certified by the Berlin Chamber of Industry and

Commerce and the Berlin Chamber of Crafts and we were particularly commended for the wide range of training opportunities at BAM and the integration of trainees into the scientific everyday life. In 2015, BAM was awarded the Chamber of Industry and Commerce Seal of Excellence for training quality. I am particularly pleased with such recognition.

A FURTHER AIM IS TO STRENGTHEN BAM'S COMMUNICATION. HOW ARE YOU PLANNING TO DO THIS?

Our task is to develop solutions for safety-in-technology issues and make them known through consultation and information. Thus we contribute to the implementation of these solutions into the execution of public services.

The Council of Science recommended we adopt a comprehensive communication strategy because of BAM's diverse range of tasks and its heterogeneous target groups. Our current programme for dealing intensively with this subject was acclaimed. In addition to external communication, communications within BAM should also be further developed. The Council of Science appreciated the establishment of the „Corporate Communications“ Section as an appropriate measure to promote the creation of a comprehensive communication strategy in BAM.



DIE BAM – EINE ATTRAKTIVE ARBEITGEBERIN

BAM – AN ATTRACTIVE EMPLOYER



ÜBERPRÜFT UND ZERTIFIZIERT: DIE FAMILIEN- UND LEBENSPHASENFREUNDLICHE PERSONALPOLITIK DER BAM

Man könnte meinen, die Arbeitswelt dreht sich immer schneller: Kommunikationsflut auf allen Kanälen, steigende Anforderungen, den gesamten Tag Termine und immer weniger Zeit für die Familie. So ist das vielleicht in vielen Organisationen. In der BAM dagegen hat sich die Leitung des Hauses für die Vereinbarkeit von Beruf und Familie entschieden. Ein wichtiger Aspekt, wenn es darum geht, die besten Köpfe in der Forschung zu gewinnen und die bereits bei der BAM beschäftigten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter weiter zu fördern. Im Dezember 2015 erhielt die BAM das Zertifikat zum „audit berufundfamilie“ – ein Verfahren zur systematischen Erfassung, Reflexion und Weiterentwicklung einer familien- und lebensphasenbewussten Personalpolitik.

Flexible Arbeitszeiten, Teilzeit und Teleheimarbeit sind in der BAM schon seit einigen Jahren Bestandteil ihrer Personalpolitik. Besonders gut angenommen wird die flexible Arbeitszeit. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können im Zeitrahmen von 6 bis 20 Uhr ihre Arbeitszeit in Abstimmung mit der OE-Leitung festlegen. Arbeitsbeginn und Dienstschluss sind frei wählbar und auch Arbeitsunterbrechungen über mehrere Stunden sind möglich. Auf dem persönlichen Zeitkonto wird die Arbeitszeit dann verbucht. Vorübergehende Mehrarbeit kann durch Gleittage, von denen es maximal 12 im Kalenderjahr gibt, ausgeglichen werden. So können die Kleinen mittags vom Kindergarten stressfrei abgeholt oder hilfebedürftige Familienangehörige zum Arzt begleitet werden. Und am späten Nachmittag können wissenschaftliche Diskussionen oder Versuchsplanungen fortgesetzt werden.

Voraussetzung ist, dass die Bereiche während der üblichen Geschäftszeiten auskunftsfähig bleiben, auch wenn die Expertin oder der Experte mal gerade nicht am Platz ist. Aber das lässt sich ja organisatorisch regeln.

Apropos organisatorisch regeln: Seit neustem hat die BAM auch ein Eltern-Kind-Büro. Es dient zur Überbrückung von kurzfristigen Betreuungsengpässen und ist mit allem ausgestattet, was Mama oder Papa zum Arbeiten am PC und der Nachwuchs währenddessen brauchen.

Das Angebot zu Teilzeit – auch Altersteilzeit, Teleheimarbeit oder Freistellung hilft unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ebenfalls, Beruf und Privates besser zu verbinden. So bieten wir verschiedene Teilzeitmodelle an, um die wöchentliche Arbeitszeit individuell vereinbaren zu können. Das direkte Gespräch mit den Kolleginnen und Kollegen ist wichtig und auch der Versuchsstand kann nicht im Wohnzimmer aufgebaut werden. Grund genug, die alternierende Teleheimarbeit in besonderen Fällen anzubieten: Ein oder zwei Tage in der Woche von zu Hause aus am Computer arbeiten, die restlichen Tage dann in der BAM.

Neben den organisatorischen Arbeitsmaßnahmen spielen aber noch weitere Aspekte eine Rolle, damit die BAM attraktive Arbeitgeberin ist. So muss das Thema Beruf und Familie in der Organisation verankert werden. Dazu zählen innerbetriebliche Kommunikationsmaßnahmen, geschulte und sensibilisierte Führungskräfte bis hin zu geldwerten Leistungen. Folgerichtig ist bei der BAM Familienbewusstsein im Führungsleitbild, als Führungsaufgabe und beim Führungskräfte-Feedback ein großes Thema.



Vorbereitung eines Experimentes zur Charakterisierung hochdynamischer Materialeigenschaften von Proben aus Metallen und Metallschäumen

Preparing an experiment to characterise the hydrodynamic material properties of samples from metals and metal foams

Auf dem Zertifikat kann sich die BAM aber nicht ausruhen, denn das Audit sichert eine nachhaltige Verankerung der familienbewussten Personalpolitik. Und diese Nachhaltigkeit äußert sich durch Re-Auditierungen. Alle drei Jahre wird der Status quo erneut aufgenommen, kritisch analysiert und daraus das weitere Vorgehen passgenau bestimmt.

DIE BAM BEIM NACHWUCHS AUF DEM RADAR

Der wissenschaftliche Nachwuchs hat die BAM als attraktive Arbeitgeberin schon lange entdeckt. Hier zählen aber mehr die wissenschaftlichen Fortentwicklungsmöglichkeiten durch Bachelor-, Master- oder Promotionsarbeiten oder gar einer Juniorprofessur (siehe dazu Seite 22) in den Ingenieur- und Naturwissenschaften in Kooperation mit einer Hochschule. Die spannenden wissenschaftlichen Themen, die manchmal nur die BAM anbietet, die hervorragende Geräteausstattung und auch die Möglichkeit, die Synergieeffekte zu nutzen, die die BAM durch ihre breite wissenschaftliche Expertise aufweist, machen die BAM hier attraktiv. Die nationale und internationale wissenschaftliche und organisatorische Vernetzung der BAM mit Hochschulen

und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ist für den wissenschaftlichen Nachwuchs von hohem Interesse. Ein Beispiel für die Zusammenarbeit der BAM mit einer Graduiertenschule ist SALSA. SALSA steht für School of Analytical Sciences Adlershof. Federführend ist die Humboldt-Universität zu Berlin, sie hat im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder die einzige Graduiertenschule Deutschlands mit dem Kernthema Analytical Sciences nach Berlin-Adlershof holen können. Doktorandinnen und Doktoranden werden hier interdisziplinär und fächerübergreifend gefördert. Dazu haben sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Analytischen und Physikalischen Chemie, Biologie, Physik, Statistik, Modellierung und Didaktik zusammengeschlossen, darunter viele von BAM.

Familienbegriff bei der BAM

„Familie ist dort, wo Menschen füreinander Sorge tragen und soziale Verantwortung übernehmen“

Und auch an Auszubildenden leidet die BAM keinen Mangel. Im Jahr 2015 wurden 63 junge

Menschen in 10 staatlich anerkannten Ausbildungsberufen ausgebildet. Die Ausbildungsquote liegt somit bei acht Prozent. Das Spektrum umfasst Berufe der Industrie und Handelskammer (IHK), der Handwerkskammer und der Berufe des öffentlichen Dienstes. Das hohe Ausbildungsniveau an der BAM wurde im Oktober 2015 durch die Verleihung des Siegels der IHK „Exzellente Ausbildungsqualität“ bekräftigt. Die von der IHK geforderten Pflicht- und Exzellenzkriterien hat die BAM in allen Bereichen mehr als gefordert erfüllt. Das Siegel gilt für einen Zeitraum von zwei Jahren und kann durch eine Rezertifizierung verlängert werden.

Bei den Kleinsten genießt die BAM auch schon eine hohe Attraktivität. Von den Bambinis, organisiert in Clubs wissenschaftlicher Vereine, die die BAM besuchen, bis hin zu den Girls, die an ihrem Mädchen-Zukunftstag (Girls' Day) die BAM erforschen, sind sich alle einig: Forschung an der BAM ist spannend.

Das Kapital der BAM sind ihre hervorragend ausgebildeten und hochengagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Mit unserer Personalpolitik unterstützen wir unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, damit sie eine

Balance zwischen ihren verschiedenen Lebensbereichen finden. So tragen wir auch ein Stück zur Chancengleichheit von Frauen und Männern bei.

VERIFIED AND CERTIFIED: BAM'S FAMILY AND LIFE STAGES FRIENDLY PERSONNEL POLICY

One might say that the professional world is turning faster: communication overflows on all channels, increasing demands, appointments throughout the entire day and increasingly less time for the family. Perhaps this is the case in many organisations. However, BAM's management has chosen a family friendly work-life balance which is an important aspect when it comes to attracting the best minds in research and to further support BAM's established employees. In November 2015, BAM was awarded a certificate from the "work-and-family" audit – a procedure for the systematic recording, reflection and development of a family and life stage friendly personnel policy.

Flexible working hours, part-time employment and teleworking have been part of BAM's personnel policy for several years. Flexible working hours are particularly well received.

Employees can set their working hours within the 6am-8pm timeframe in agreement with the management of their Organisational Unit. Starting and finishing hours can be freely selected and work interruptions of several hours are also possible. Working hours are registered on their personal time-sheet. Short-term overtime can be offset through flexi-days, of which there is a maximum of 12 in a calendar year. In his way, children can be picked up without hassle from kindergarten or family members in need of support can be accompanied to the doctor and scientific discussion or planning of experiments can be continued in the late afternoon.

The condition is that all areas are able to provide information during normal business hours, even if the expert is not present at the time. However, this can be regulated organisationally.

Speaking of organisational regulation, BAM has also recently established a parent-child office which serves to bridge short-term childcare problems and is equipped with everything the mother or father needs to work on the computer and to occupy the child in the meantime.



*Girls' Day an der BAM
Girls' Day at BAM*

The selection of part-time - even partial retirement, teleworking or leave of absence also helps our employees to better combine their work and private life. We offer a variety of part-time models in order to individually arrange weekly working hours. Direct communication with colleagues is important and of course the test rig cannot be built in the living room. This is why we only offer alternating telework in special cases: working one or two days a week from home on the computer and the remaining days in BAM.

The topic of a work-life balance must be anchored in the organisation. As such, in addition to the organisational work measures, other aspects also play a role in ensuring BAM is an attractive employer. These include internal communication measures, trained and sympathetic executives and pecuniary benefits. Consequently, family awareness is an important management task in BAM's management profile and an important topic in terms of management feedback.

However, BAM cannot rest regarding the certificate because the audit requires the sustained anchoring of a family-oriented personnel policy. And this sustainability manifests itself through re-audits. The status quo is re-recorded and critically analysed every three years to precisely determine the next course of action.

BAM IS ON THE RADAR OF THE NEXT GENERATION

Young scientists discovered BAM to be an attractive employer a long time ago. However, in this regard, the scientific development opportunities through bachelor, master or Ph.D. theses or even a junior professorship (see page 22) in engineering and natural sciences in cooperation with a university are more significant. BAM is made attractive by the exciting scientific topics that sometimes only

BAM can offer as well as the excellent instrumentation and the possibility to utilise the synergistic effects offered by BAM through its broad scientific expertise. BAM's national and international scientific and organisational networking with universities and other research institutions is of great interest for young scientists. SALSA is an example of BAM's cooperation with a graduate school. SALSA stands for School of Analytical Sciences Adlershof. The Humboldt-Universität zu Berlin is in charge, which was able to bring the only graduate school in

BAM's Family concept

„Family is where people care and assume social responsibility for one another“

Germany with a core subject of analytical sciences to Berlin-Adlershof under the German Federal Government's and States (Länder) Administrations' Excellence Initiative. Ph.D. students receive inter- and cross-disciplinary support. Scientists of analytical and physical chemistry, biology, physics, statistics, modelling and didactics joined forces for this purpose, many of whom are from BAM.

BAM does not suffer a shortage of vocational trainees either. In 2015, 63 young people were trained in 10 state-recognised training occupations. The vocational training quota is thus eight percent. The spectrum includes professions in the Chamber of Industry and Commerce (IHK), Chamber of Crafts and positions in the civil service. The high level of vocational training at BAM was affirmed in October 2015 by the "excellent training quality" seal awarded by the IHK. BAM more than fulfilled the compulsory and excellence criteria demanded by the IHK in all areas. The seal is valid for a period of two years and may be extended by a recertification.



Verleihung des IHK-Siegels
Award of the IHK seal

BAM also enjoys a high degree of attractiveness among the youngest. From the Bambini, organised by the clubs from scientific associations that visit BAM, to the Girls who explore BAM on their "future prospects for girls" day, everyone agrees: research at BAM is exciting.

Highly trained and highly committed employees are BAM's capital. Our personnel policy supports our employees to find a balance between their different areas of life. Thus, we also make a small contribution to equality of opportunity for women and men.



KONTAKT/CONTACT

Julia Sommer
✉ Julia.Sommer@bam.de

Z.3 Personal, berufliche Ausbildung
Z.3 Human Resources,
Vocational Training

ZWILLINGSPROJEKTE DER BESONDEREN ART

SPECIAL TWINNING PROJECTS



Foto: Ulrich Wacker

Gizeh Pyramiden
Giza Pyramids

Es ist durchaus als Sinnbild zu verstehen, wenn die Europäische Union eines ihrer wichtigsten Außenhilfe-Instrumente „TWINNING“ nennt. Zwillinge sollten von Anfang an gute nachbarschaftliche Beziehungen pflegen – gleichermaßen zum gemeinsamen und jeweils eigenen Nutzen. Dadurch sollen neue Formen der Zusammenarbeit entstehen.

In Twinning-Projekten unterstützt die Verwaltung eines EU-Mitglieds den Aufbau einer entsprechenden Partnerinstitution. Der Partner des derzeit laufenden Projektes ist Ägypten. Gemeinsam mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat die BAM die Leitung einer deutsch-italienischen Verwaltungspartnerschaft mit der ägyptischen Akkreditierungsstelle Egyptian Accreditation Council (EGAC) übernommen.

QUALITÄTSINFRASTRUKTUR – SPIELREGELN FÜR DEN GLOBALEN HANDEL

Für die ägyptischen Partner besitzt das Projekt hohe politische Priorität, unterstützt es doch unmittelbar die Unterzeichnung eines Handelsabkommens zwischen Ägypten und der EU. Hierin werden beispielsweise die Produktgruppen definiert, die dann ohne zusätzliche Prüfungen in den ägyptischen und europäischen Binnenmarkt eingeführt werden dürfen – das wird Kosten sparen, den Handel ankurbeln, die Produktsicherheit in Ägypten erhöhen und nicht zuletzt den Fluss von unsicheren Produkten in den europäischen Binnenmarkt minimieren. Wir europäische Verbraucher können uns darauf verlassen und bemerken sie kaum mehr: Unsere funktionierende Qualitätsinfrastruktur basierend auf EU-Verordnungen und -Richtlinien, weltweiten Standards, zuverlässigen Prüfeinrichtungen und internationalen Anerkennungsabkommen. Für die ägyptischen Partner ist die Angleichung an die europäischen und internationalen Spielregeln des globalen Handels ein aufwändiges Vorhaben.

21 MONATE, 90 MASSNAHMEN, EIN ZIEL: DIE GEGENSEITIGE ANERKENNUNG

Der Weg führt über die gegenseitige Anerkennung der nationalen Akkreditierungsstellen – der Behörde in jedem EU-Land, die bestätigt, dass ein Prüflabor kompetent ist und die von dem Labor ausgestellten Bescheinigungen über die Einhaltung von rechtlichen Vorgaben und Normen vertrauenswürdig sind. Nur wenn die Arbeitsweise der ägyptischen EGAC

in vergleichbarer Weise organisiert ist wie in den europäischen Akkreditierungsstellen, werden auch die Prüfungen der ägyptischen Laboratorien als gleichwertig anerkannt. Und hier setzen die Aktivitäten des Twinning-Projekts an. Über zwanzig Expertinnen und Experten aus deutschen und italienischen Behörden im Bereich Qualitätsinfrastruktur führen in den geplanten einundzwanzig Monaten Projektlaufzeit gut 90 verschiedene Maßnahmen wie Beratungen, Trainings, Seminare und Konferenzen durch, um ihr Wissen und ihre Erfahrungen an die ägyptischen Kolleginnen und Kollegen weiterzugeben. „Capacity Building“ heißt das Stichwort, also der Aufbau und die Stärkung von personellen Kompetenzen sowie technischer und administrativer Infrastruktur. Dazu gehören auch Studienbesuche der ägyptischen Partner in den beteiligten europäischen Institutionen.

TWINNING MACHT MÄRKTE

Deutschland hat sich bislang in gut 750 Twinning-Projekten engagiert, die BAM war in den vergangenen 15 Jahren immerhin an 19 davon beteiligt. Da ist eine Menge Erfahrung und ein über die Grenzen Europas hinausgehendes Netzwerk entstanden, das die BAM als Twinning-Partner im Bereich Qualitätsinfrastruktur nicht nur für das BMWi, sondern europaweit attraktiv und sichtbar macht. Mit ihrem Twinning-Engagement unterstützt die BAM aber nicht zuletzt auch die Außenwirtschaftsförderung des BMWi. Schließlich ist Ägypten Deutschlands drittwichtigster Handelspartner in der arabischen Welt, hinter Saudi Arabien und den Vereinigten Arabischen Emiraten, und mit mehr als 80 Millionen Verbrauchern einer der wichtigsten Absatzmärkte in der MENA Region (Middle East & North Africa). Und nebenbei stärkt das Twinning-Projekt auch die wirtschaftliche und politische Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Ägypten.

When the European Union calls one of its main external assistance instruments “twinning”, it must be taken as a definite indication. Twins should maintain good neighbourly relations from the outset – for both common and individual benefits. This is intended to create new forms of cooperation.

In twinning projects, the administration of an EU member supports the development of the respective partner institution in another country. The partner of the currently running project is Egypt. BAM has

taken over the lead of a German-Italian partnership with the Egyptian accreditation body Egyptian Accreditation Council (EGAC) together with the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi).

QUALITY INFRASTRUCTURE - GROUND RULES FOR GLOBAL TRADE

The project has a high political significance for the Egyptian partners, after all, it directly supports the signing of a trade agreement between Egypt and the EU. This would specify, for example, the product groups which may then be imported into the Egyptian and European internal market without additional tests – which will save costs, boost trade, increase product safety in Egypt and last but not least, minimise the flow of unsafe products into the European single market. European consumers rely on but hardly notice our functioning quality infrastructure based on EU regulations and directives, global standards, reliable testing facilities and international recognition agreements. But for the Egyptian partners, the alignment towards European and international rules of global trade is a complex project.

21 MONTHS, 90 MEASURES, ONE OBJECTIVE: MUTUAL RECOGNITION

The path to success leads along mutual recognition of national accreditation bodies: the authorities in each EU country which confirm the competence of a testing laboratory and that the certificates issued by the laboratory are trustworthy with regard to the compliance with the legal requirements and standards. The Egyptian laboratories' tests are recognised as equivalent only if the operation of the Egyptian EGAC is organised in a similar way to the European accreditation bodies. This is where the activities of the Twinning project begin. More than twenty quality infrastructure experts from German and Italian authorities will provide over 90 different measures such as consultancy, training, seminars and conferences to share their knowledge and experience with the Egyptian colleagues over the planned twenty-one months of the project. The keyword is "capacity building", i.e. the establishment and strengthening of staff competences and technical and administrative infrastructure. This includes study visits by the Egyptian partners in the participating European institutions.



Zinaida Gorina (RTA, Beraterin, DAkKS) und Ashraf Seef (RTA Counterpart, EGAC) bei den letzten Vorbereitungen der Präsentation zum 7. Projektsteuerungstreffen in Kairo.

Zinaida Gorina (RTA, consultant, DAkKS) and Ashraf Seef (RTA Counterpart, EGAC) at the last preparations of the presentation for the 7th Project Control Meeting in Cairo.

TWINNING MAKES MARKETS

Germany has so far been engaged in more than 750 twinning projects and BAM has been involved in at least 19 over the last 15 years. This created an abundance of experience and a network that goes beyond the borders of Europe, which makes BAM attractive and significant as a twinning partner in the field of quality infrastructure not only for the BMWi, but throughout Europe. With its twinning engagement, BAM also supports BMWi's foreign trade promotion. After all, Egypt is Germany's third most important trading partner in the Arab world,

after Saudi Arabia and the United Arab Emirates and with its more than 80 million consumers is one of the most important markets in the MENA region (Middle East & North Africa). The twinning project additionally also strengthens the economic and political cooperation between Germany and Egypt.



From left to right: Jana Klink (BAM), Nadia Noureldin (PAO), Mohamed Osman (EGAC), Zinaida Gorina (DAkKS), Ahmed Fouli (EGAC), Alaa Abdel Salam (EGAC), Norbert Schultes (BMW), Hany El Desouki (EGAC), Mohamed Ali (PAO), Ashraf Seef (EGAC) – Participants at the 7th Project Control Meeting. In the middle: the two project managers Dr. Schultes and El Desouki

Personen v.l.n.r.: Jana Klink (BAM), Nadia Noureldin (PAO), Mohamed Osman (EGAC), Zinaida Gorina (DAkKS), Ahmed Fouli (EGAC), Alaa Abdel Salam (EGAC), Dr. Norbert Schultes (BMW), Hany El Desouki (EGAC), Mohamed Ali (PAO), Ashraf Seef (EGAC) Teilnehmer des 7. Projektsteuerungstreffens. In der Mitte die beiden Projektleiter Dr. Schultes und El Desouki

KONTAKT/CONTACT

Dr. rer. nat. Ulrich Wacker
✉ Ulrich.Wacker@bam.de

Jana Klink
✉ Jana.Klink@bam.de

S.3 Internationaler
Technologietransfer
S.3 International Technology
Transfer



DIE JUNIORPROFESSUR AN DER BAM

JUNIOR PROFESSORSHIPS AT BAM

Die BAM – hier arbeiten knapp 1700 Menschen an der Sicherheit in Technik und Chemie für eine ausgeprägte Sicherheitskultur in Deutschland und für Sicherheitsstandards, die auch in Zukunft höchsten Ansprüchen genügen. Der hohe Stand der gegenwärtigen Forschung trägt die Verantwortung für die Zukunft in sich. Wer in den folgenden Jahrzehnten noch bestehen will, ist verpflichtet, den wissenschaftlichen Nachwuchs für die kommenden Herausforderungen zu interessieren und auszubilden sowie für den schnellen Wissenstransfer zu sorgen. Kurz: Die hier erarbeiteten Erkenntnisse müssen hinaus an die Universitäten.

Die beamtenrechtliche Stelle der Juniorprofessur wurde bereits 2002 im Hochschulrahmengesetz verankert, um dem herausragenden wissenschaftlichen Nachwuchs die Chance zu geben, eine Zeit von maximal sechs Jahren ohne eine Habilitation an Hochschulen zu forschen und zu lehren. Bei abschließend positiver Begutachtung können sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für eine lebenslange Professur qualifizieren – gleichsam als zweite Einstiegsmöglichkeit in die wissenschaftliche Karriere.

Die BAM beschäftigt Juniorprofessorinnen und Juniorprofessoren seit 2007 und gehörte so zu den ersten außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die diese Professuren angeboten haben. Die Forschungstätigkeit findet in der BAM statt, die Lehre an der Universität. Die bisherigen Erfahrungen sind sehr erfreulich: Erstklassige wissenschaftliche Ergebnisse, durchweg positive Evaluierungen und in einem Fall der Ruf auf eine W3-Professur an der Humboldt-Universität zu Berlin.

Nearly 1,700 people work here at BAM on safety in technology and chemistry creating a strong safety culture in Germany and raising safety standards that will also meet the highest standards in the future. The high level of current research shoulders responsibility for the future. He who wants to survive through the following decades must engage and train young scientists to meet the challenges ahead and ensure rapid knowledge transfer. In short, knowledge developed here must translocate to the universities.

The position of junior professorship is a civil service post as envisaged by the 2002 Higher Education Act (Hochschulrahmengesetz). It provides a chance for outstanding young scientists to pursue independent research and teaching at universities over a period of up to six years – without a hitherto customary habilitation. The scientists can then qualify for a tenure professorship if they get a positive final appraisal – which may guarantee a second entry point in their academic careers.

BAM has employed junior professors since 2007 and was thus one of the first non-university research institutions to have offered these professorships. Research takes place at BAM and teaching at the universities. The results so far are very positive: first class scientific results, consistently positive evaluations and in one case an inauguration as a W3 professor at Humboldt-Universität zu Berlin.



PROF. DR. RER. NAT. SABINE KRUSCHWITZ

„Mein Forschungsthema ist die zerstörungsfreie Baustoffprüfung, insbesondere die zerstörungsfreie Materialcharakterisierung von Baustoffen. Ich versuche Defekte im Baustoff zu finden, von denen wir keine direkten Reflexionen oder andere eindeutige Messgrößen bekommen, wie es sonst oft bei Strukturuntersuchungen der Fall ist. Dazu gehören die Ortung von Entmischungsvorgängen und Materialfrühschädigung sowie die Ableitung von Korngrößen- oder auch Feuchteverteilungen. Die absolute Feuchte im Mauerwerk oder Estrich zerstörungsfrei zu messen ist tatsächlich sehr schwer. Verfahren wie Radar- oder Mikrowelle zeigen zwar eine Abhängigkeit vom Feuchtegehalt. Generell messe ich mit diesen Verfahren aber immer nur die Änderung einer physikalischen Eigenschaft, beispielsweise die Verlangsamung und Dämpfung einer Radarwelle, also indirekte Parameter, nicht die Feuchte selbst. Will ich wissen, wie viel Wasser im System ist, muss ich das System kalibrieren. Und System bedeutet hier Messverfahren plus in der Regel inhomogener Baustoff. Denn wir können davon ausgehen, dass wir es fast an jedem Messobjekt mit einem Unikat zu tun haben.“

Im Labor lassen wir den Schaden, wie Feuchteeintrag im Baustoff, kontrolliert ablaufen. Mit Radar- oder Ultraschall-Verfahren oder einer Kombination davon untersuchen wir, wie sich die Signale infolge der Feuchte ändern. Gleichzeitig entnehmen wir kleine Bohrkern aus der Probe, um den Feuchtegehalt sicher – nämlich gravimetrisch – nachweisen zu können. Die Ergebnisse korrelieren wir dann miteinander.

Ziel ist es, die Empfindlichkeit der möglichen Messverfahren zu ermitteln und dies sowohl baustoff- wie auch tiefenabhängig. Und natürlich müssen wir mit einem ausreichend empfindlichen Messverfahren auch weitere Einflussgrößen, wie Bewehrungsstäbe in der Nähe oder die Zusammensetzung des Baustoffes gut kennen.

Die Ergebnisse wollen wir in die Normungsdiskussion einbringen. In der zerstörungsfreien Prüfung sind bislang nur sehr wenige Bereiche genormt. Dabei ist Feuchte nur eine von vielen Schadensursachen. Man denke da nur an Schäden infolge Entmischungsprozessen, Frost-Tau-Wechseln oder Alkaliesäurereaktionen. Es gilt zu untersuchen, mit welcher Methode wir welchen Schaden zu welchem Zeitpunkt registrieren können und wie stark

der Schaden ausgeprägt sein muss, um Signalveränderungen messen zu können.“

„My research topic is non-destructive materials testing, in particular non-destructive characterisation of building materials. I'm trying to find defects in building materials where we get no direct measurement echoes or other clearly defined parameters as is often the case in structural investigations. These include the localisation of separation processes, cases of early material damage and the identification of grain size or moisture distributions. Absolute moisture content in masonry or screed is really very difficult to measure non-destructively, though methods such as radar or microwave display a dependence on moisture content. Generally, I use these methods for my measurements, but I can only measure the change in physical properties such as the slowing down and attenuation of a radar wave, i.e. indirect parameters, not the moisture itself. If I want to know the water content in the material, I have to calibrate the system. But a system means the measurement method plus a building material that is usually inhomogeneous: one can assume that almost all measurement objects are unique.

In the laboratory, we let the damage such as moisture ingress in a building material proceed in a controlled way. We investigate the changes in signals due to moisture content using radar or ultrasonic methods or a combination thereof. At the same time, we extract small cores from the sample to be able to measure the moisture content precisely – i.e. gravimetrically. We then correlate the results with each other.

The aim is to determine the potential measurement methods' sensitivity with regard to different building materials and as a function of depth. If we have found a sufficiently sensitive measurement method, we must also be able to detect or measure other parameters such as rebars close the measurement site or even the building material's composition.

We want to integrate the results into standardisation discussions. Only a few fields of non-destructive testing have so far been standardised. Moisture is only one of many causes of damage. One need only think of the types of damage due to separation processes, frost-thaw cycles or alkali silica reactions (concrete cancer). It is important to investigate the methods most suited to measure the damage: how severe the deterioration needs to be and over what time it takes to develop for the method to be able to detect changes in the signals.”

KONTAKT/CONTACT

Prof. Dr. rer. nat. Sabine Kruschwitz

✉ Sabine.Kruschwitz@bam.de

8 Zerstörungsfreie Prüfung
Technische Universität Berlin,
Institut für Bauingenieurwesen
8 Non-destructive Testing
Technische Universität Berlin,
Institute of Civil Engineering

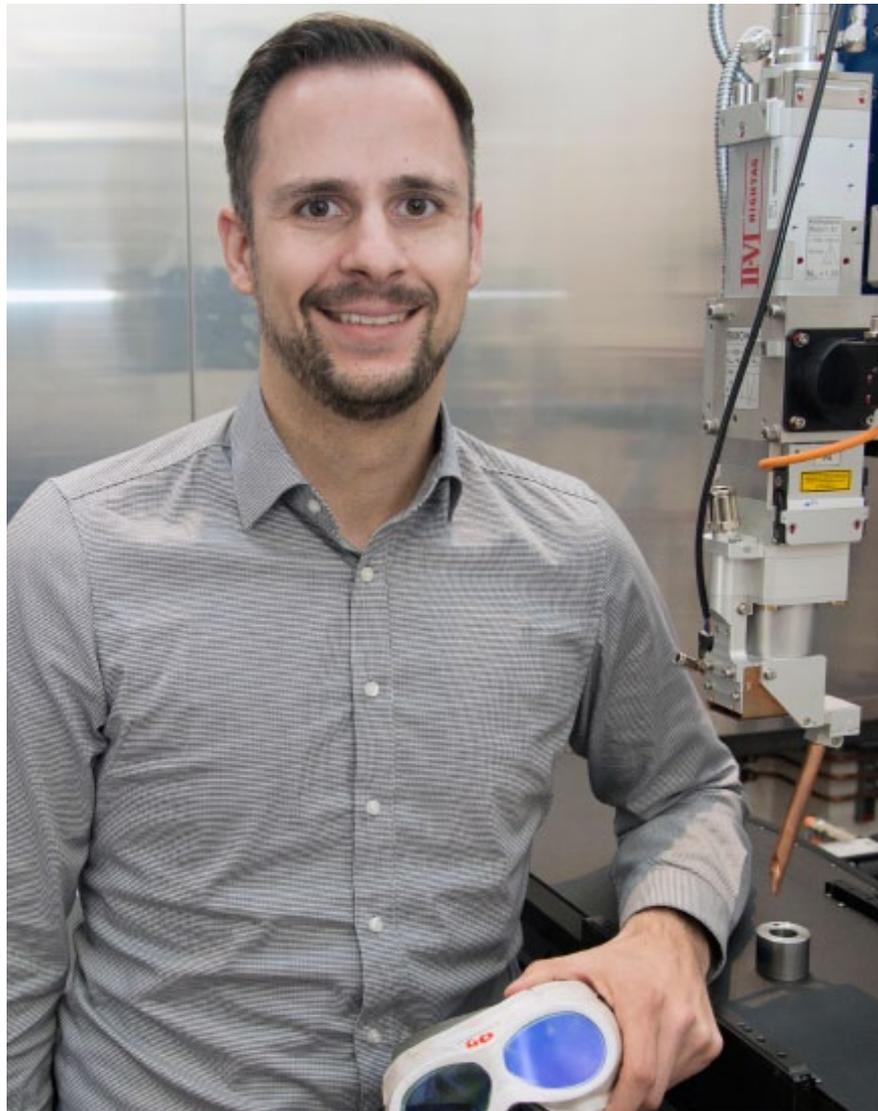


PROF. DR.-ING. KAI HILGENBERG

„Der Dualismus BAM – Universität und damit auch BMWi – Industrie ist für mich in der Position eines Juniorprofessors ein hoch interessanter Ansatz. Durch die hervorragende Anbindung im BAM-Fachbereich 9.3 Schweißtechnische Fertigungsverfahren habe ich Zugang zum Wissen der Kolleginnen und Kollegen und zur Anlagentechnik – und das gleich von Anfang an. So konnte ich schnell mit der wissenschaftlichen Arbeit im Bereich Verfahren und Technologien für hochbeanspruchte Schweißverbindungen beginnen. Mich interessiert es, Materialien mit wenig aber präzise eingebrachter Energie zu fügen oder deren Oberflächen zu modifizieren. Zwei Projekte laufen bereits. Eng verzahnt mit dem BAM-Fachbereich Makrotribologie und Verschleißschutz entwickeln wir Oberflächen mit punktförmig erhabenen Strukturen und untersuchen, wie man dadurch tribologische Eigenschaften beeinflussen kann. Dabei schmelzen wir mit Laserstrahlung Hartstoffpartikel lokalisiert in der Oberfläche ein. Damit lässt sich die Verschleißbeständigkeit um mehrere Faktoren steigern – ein gewünschtes Erfordernis beispielsweise für Werkzeuge in der Umformtechnik.

Im zweiten Projekt haben wir bereits ein Patent angemeldet, bei dem das Patentamt uns schon grünes Licht signalisiert hat. Ein elegantes Verfahren, mit dem man Materialien fügen kann, die sich mit der klassischen Schweißtechnik nicht verbinden lassen. Die beiden zu fügenden Materialien werden im Überlappstoß aneinander gelegt. In der oberen Blechlage sind Löcher eingebracht. Mit dem Laserstrahl schmelzen wir lokal das untere Blech. Mit einem Magneten verdrängen wir die Schmelze nach oben und füllen die Löcher auf. Durch eine nur kurzzeitige Existenz der Schmelze reduzieren wir intermetallische Phasen, die typischerweise bei artungleichen Metallen entstehen und bei schwingender Beanspruchung zu einem Versagen der Verbindung führen. Unsere Füge-technik erinnert an genietete Verbindungen, doch ohne Nieten. Ein völlig neues Fügeverfahren, das für den Automobilbau hoch interessant ist. Dort wird heute schon eine Vielzahl verschiedener Stahlsorten kombiniert mit Leichtmetallen verwendet, die sicher verbunden werden müssen.

Eine meiner beiden Vorlesungen an der Technischen Universität Berlin hat den Titel „Innovative Konzepte in der Schweißtechnik“. Ich möchte Wissens- und Methodenkompetenz vermitteln. Damit die Studierenden konzentriert folgen, habe ich mich für eine Kombination aus Vortrag und Kleingrup-



penarbeit entschieden. Durch wissenschaftliche Recherche werden Lösungsansätze für industrielle Problemstellungen in den Gruppen erarbeitet und vorgestellt. Ein Konzept, das offensichtlich aufgeht, denn die Studierenden haben die Lehrveranstaltung hervorragend evaluiert.“

„Close links between BAM and academia and, also, between BMWi and industry are very interesting approaches for me in the position of a junior professor. The excellent network within BAM's 9.3 Welding Technology Division has provided access to the knowledge of colleagues and technological equipment – right from the beginning. Thus I was able to quickly start my scientific work in the field of processes and technologies for highly-stressed welded joints. I'm interested in joining or modifying the surfaces of materials using small amounts of precisely applied energy. Two projects are currently running. In close cooperation with BAM's Macrotribology and Wear Protection Division we develop surfaces with a pattern of slightly raised dots and

investigate how tribological properties can thus be influenced. We melt hard material particles into spots of the surface with a laser beam. This can increase wear resistance by several times – a desired requirement for example in tools for metal forming.

In the second project we have applied for a patent and the Patent Office has already signalled a green light. It is an elegant method by which one can join materials that cannot be connected using traditional welding technology. The two materials to be joined are arranged in a lap joint. Holes are placed in the upper layer of sheet, and a laser beam melts the lower sheet locally. A magnet displaces the melt upward to fill the holes. Since the melt only exists for a short period, we can reduce intermetallic phases that typically emerge in dissimilar metals and lead to joint failures under cyclic load. Our joining technique resembles riveted connections – but without rivets. This is an entirely new joining method, which may be of great interest to the automobile industry where a number of different grades of steel are already combined with light metals that need to be joined.

One of my two lectures at the Technische Universität Berlin has the title „Innovative concepts in welding technology“. I want to convey scientific and methodological skills. I opted for a combination of lectures and small group work to ensure the students maintain their interest in the topic. The groups carry out scientific investigations and develop and present solutions for industrial problems. The concept is obviously working because the students have evaluated the course with an excellent mark.“

KONTAKT/CONTACT

Prof. Dr.-Ing. Kai Hilgenberg

✉ Kai.Hilgenberg@bam.de

9 Komponentensicherheit

Technische Universität Berlin,

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

9 Component Safety

Technische Universität Berlin,

Institute for Machine Tools and Factory Operation



Miniaturre roller mit laserimplantierter Oberfläche

Miniature roller with laser etched surface

PROF. DR. RER. NAT. CHRISTIANE STEPHAN

„Wie beginnt Korrosion und was passiert in den ersten 200 Stunden, wenn reaktive, rauchgasähnliche Gase, wie sie in unterschiedlichen Verbrennungskraftwerken vorkommen, mit einer Stahloberfläche reagieren? Eine typische Abgas-komponente in solchen Kraftwerken ist Schwefeldioxid. Der Schwefel aus dem Schwefeldioxid reagiert mit dem Stahl und bildet neue Phasen an der Grenzfläche zwischen Korrosionsschicht und Stahl. Das führt zu Materialverlust und Materialgewinn. Wir interessieren uns für die initialen Prozesse, welche Rauchgaskomponenten zuerst mit dem Stahl reagieren und welche chemische Reaktionen infolgedessen im Stahl und in der wachsenden Korrosionszone ablaufen. Kurz: Wann bilden sich warum welche Phasen, wie hoch ist daraus folgend der Materialverlust und -gewinn und lassen sich daraus Lebensdauerprognosen für Bauteile ableiten. Mit verschiedenen mikroskopischen Analysen und Beugungsexperimenten untersuchen wir die Phasen und Kristallstrukturen der sich bildenden Korrosionszone. Dadurch wollen wir die Diffusionswege besser verstehen. Mit diesen Daten erarbeiten wir Korrosionsmodelle, mit denen wir das Materialverhalten modellieren wollen. Ziel ist es auch, mit diesen Modellen Prognosen über Nutzungszeit oder Restlebensdauer von Materialien abzuleiten.“

Die ersten wissenschaftlichen Beschreibungen von Korrosionsschäden gehen auf das 17. Jahrhundert zurück. Dennoch gibt es immer noch viele ungeklärte Fragen zu den chemischen Reaktionen, die in und an der Oberfläche von Metallen ablaufen und Korrosion hervorrufen. Daher wählte ich die technische Mineralogie der Energiematerialien zum Thema meiner Juniorprofessur. Die hervorragende Geräteausstattung und Infrastruktur der BAM, der Forschungsstandort Berlin sowie die organisatorische Anbindung an die FU sind eine exzellente Basis für meine Forschung.“

“How does corrosion start and what happens in the first 200 hours when reactive, flue-gas-like gases produced in combustion power plants react with a steel surface? A typical flue gas component in such power plants is sulphur dioxide. The sulphur from sulphur dioxide reacts with the steel to form new phases at the interface between the steel and a corrosion layer. This leads to material losses and material gains. We are interested in the initial processes: what flue gas components react first with the steel and what chemical reactions occur in the steel and the growing corrosion zone as a result? In short: when, why and what phases



emerge, what are the subsequent material losses and gains and whether lifetime prediction for components can be derived from them. We use various microscopic analysis and diffraction tests to investigate the phases and crystal structures of the emerging corrosion zone with the intention of better understanding the diffusion paths. Based on this data, we develop corrosion models to model the material behaviour. The aim also includes using these models to establish forecasts for operating time or the remaining service life of materials.

The first scientific descriptions of corrosion damage date back to the 17th century. Nevertheless, there are still many unanswered questions about the chemical reactions that take place in and on the surface of metals and cause corrosion. Therefore, I chose technical mineralogy of energy materials as the topic of my junior professorship. BAM's excellent equipment park and infrastructure, the research location of Berlin and organisational links to the FU create an excellent basis for my research.”

KONTAKT/CONTACT

Prof. Dr. rer. nat. Christiane Stephan

✉ Christiane.Stephan@bam.de

5 Werkstofftechnik
Freie Universität Berlin,
Institut für Geologische Wissenschaften
5 Materials Engineering
Freie Universität Berlin, Institute for Geology

WELTWEITE VERNETZUNG DER MATERIALFORSCHUNG

WORLD-WIDE NETWORK OF MATERIALS RESEARCH

Die führenden Materialforschungsinstitute schließen sich weltweit immer mehr zusammen, um global relevanten Aufgaben- und Fragestellungen gemeinsam nachzugehen. Was im Jahr 2005 auf Initiative des japanischen National Institute for Materials Science (NIMS) begann, konnte im Juni 2007 mit der offiziellen Gründung in der BAM erfolgreich ausgebaut werden: Das World Materials Research Institute Forum (WMRIF). Es hat sich zum Ziel gesetzt, die weltweit bedeutenden Institute zusammenzuführen, die in der Werkstoffforschung und den angewandten Technologien tätig sind.

Dieses Forum knüpft ein Forschungs- und Erfahrungsnetz, um wesentliche Fragen aus gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen wie der Energieversorgung, dem Umweltschutz, der technischen Sicherheit und dem Gesundheitsschutz durch Information und Kommunikation in der Fachwelt effizienter zu klären als bisher. Mittlerweile beteiligen sich rund 50 werkstoffwissenschaftliche Einrichtungen aus 21 Ländern am Forum.

Die Bundesregierung unterstützt das Projekt ausdrücklich, schließlich bilden neuartige Materialien den Anfang der Wertschöpfungskette. So hängen rund 70 Prozent aller technischen Innovationen direkt oder indirekt von den Eigenschaften der verwendeten Materialien ab. „Die globalen Herausforderungen in den Werkstoffwissenschaften nehmen zu. Und so finden wir uns heute zusammen, um die gemeinsame internationale Plattform der werkstoffwissenschaftlichen Forschungsinstitute zu schaffen.“ Mit diesen Worten begrüßte am 14. Juni 2007 der Staatssekretär im Bundeswirtschaftsministerium, Dr. Joachim Würmeling, die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Gründungskonferenz des WMRIF im Ludwig Erhard-Saal der BAM.

Das Forum hat auch die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Fokus. Unter maßgeblicher Organisation durch den Vizepräsidenten der BAM, Professor Dr. Thomas Böllinghaus, stellten junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus WMRIF-Mitgliedsinstituten ihre aktuellen Forschungsergebnisse in Workshops zur Diskussion. Die besten Vorträge wurden mit bislang insgesamt 20 Gastaufenthalten auf Einladung von WMRIF-Instituten prämiert; eine gute Möglichkeit für die Preisträgerinnen und Preisträger, ihre Erfahrungen auf internationalem Parkett zu erweitern und ihre fachlichen Kontakte auszubauen, die teilweise in wissenschaftliche Projektkooperationen mündeten.

Die Vorträge der WMRIF-Workshops sind erhältlich als Peer-reviewed Beiträge in drei Büchern, gedruckt und als E-Book des Springer Verlags. Die Anzahl von mehr als 20.000 heruntergeladenen Beiträgen zeigt die Tragweite der vom WMRIF aufgegriffenen Themen.

Zu den neuen drängenden Fragen der nahen Zukunft zählen jene der kritischen Materialien und deren Ersatz. Sie sind ein Thema der zehn bedeutendsten Trends in der Materialforschung. Daher rückten sie auf der 6. Generalversammlung des Zusammenschlusses am 14. und 15. September 2015 in den Focus des Kongresses. Organisiert wurde das Treffen vom amerikanischen Lawrence Livermore National Laboratory in Livermore, Kalifornien. Der Titel des Symposiums lautete sinngemäß übersetzt: „Computergestützte Materialwissenschaften, Charakterisierung und kritische Materialien“.

Die Verfügbarkeit von Materialien kann kritisch werden. So können die Vorkommen benötigter Rohstoffe zur Herstellung von Materialien immer ärmer, aber auch deren Gewinnung immer aufwen-



diger werden. Indium ist relativ rar und bei dessen Abbau mit großen Umweltschäden behaftet. Weil es vergleichsweise teuer ist, treibt es die Gesamtkosten der organischen Photovoltaik nach oben. Elemente der Seltenen Erden werden für die Herstellung von Permanentmagneten für die Motoren, Lithium für die Batterien unserer zukünftigen Elektromobilität benötigt. Rohstoffengpässe zeichnen sich hier ab.

Auch die wirtschaftliche Verfügbarkeit kann kritisch werden, wenn nur wenige Unternehmen diese Rohstoffe gewinnen oder sie aus nur wenigen Regionen kommen: Monopolartige Unternehmensstrukturen oder die Verfügbarkeit in wenigen Regionen können die Rohstoffe für den Weltmarkt durch Zölle oder Exportbeschränkungen gezielt verknappen und verteuern.

Um diesen absehbaren Versorgungsengpässen entgegenzuwirken, muss in der Materialforschung über Alternativen und Recyclingverfahren geforscht werden. Eine funktionierende Kreislaufwirtschaft könnte die Wirtschaftlichkeit dieser kritischen Materialien verbessern. Nationale Forschungsschwerpunkte und Förderprogramme sind hier gefordert. Viele Gründe also, für die weltweite Vernetzung der Expertinnen und Experten aus der Materialforschung.

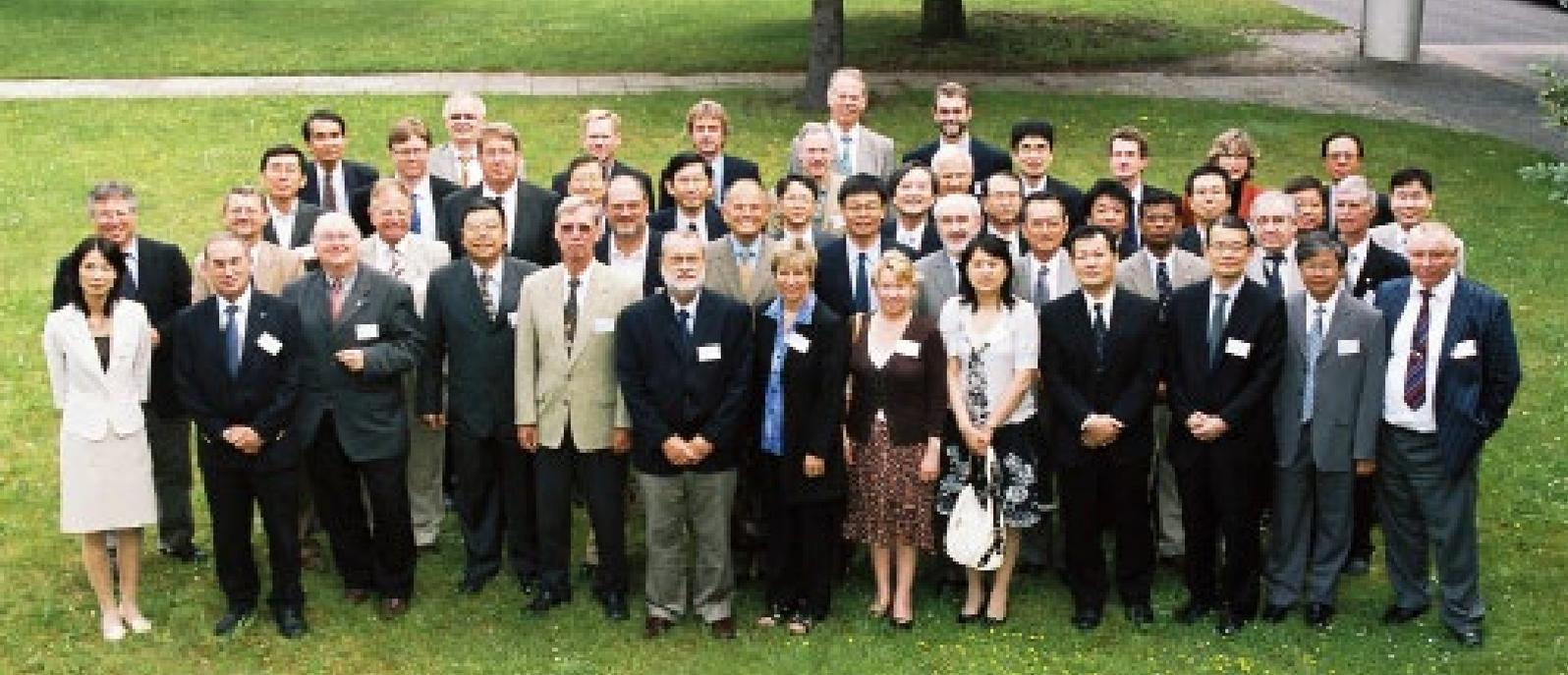
Böllinghaus war von 2011 bis 2015 WMRIF-Präsident. In der Fortführung der vom NIMS initiierten thematischen Erfassung der Werkstoffforschungstrends entstand unter seiner Federführung die Dokumentation der 10 bedeutendsten Trends in der Materialwissenschaft und im Ingenieurwesen, die als kontinuierlich aktualisierte WMRIF-Stellungnahme auf der Website (www.wmrif.org) publiziert ist. Nach der Generalversammlung in Livermo-

re ging die Leitung zusammen mit dem Sekretariat weiter an Dr. Laurie Locascio, Direktorin der NIST Materials Measurement Laboratories.

There is an increasing trend among leading materials research institutes to join forces worldwide to pursue globally relevant tasks and problems together. What started as an initiative by the Japanese National Institute for Materials Science (NIMS) in 2005 was successfully expanded in June 2007 with its official establishment of the World Materials Research Institute Forum (WMRIF) at BAM. This has set itself the goal to bring together the world's major institutions that are active in materials research and applied technologies.

The forum forges a research and experience network to clarify essential questions from societal and economic sectors such as energy supply, environmental protection, technical safety and health protection. This is achieved more efficiently than previously through information and communication in the professional world. Meanwhile, around 50 materials science institutions from 21 countries participate in the forum.

The German Federal Government is a keen supporter of the project – after all, new materials are the basis of the added value chain. Around 70 percent of all technical innovations depend directly or indirectly on the characteristics of the materials used. “The global challenges in materials science are increasing and so today we find ourselves together creating a common international platform for materials science research institutes.” These were the words of Dr. Joachim Würmeling, State Secretary in the Federal Ministry of Economics and



Vom 13. bis 15. Juni 2007 trafen sich die Direktorinnen und Direktoren von weltweit führenden Materialforschungseinrichtungen zur Gründung des World Materials Research Institute Forums (WMRIF) in der BAM

Directors of the world's leading institutes in materials science and engineering met in Berlin, June 13-15, 2007 to create the World Materials Research Institute Forum (WMRIF)

Technology, welcoming the participants to the founding conference of the WMRIF in the Ludwig Erhard room at BAM on 14 June 2007.

The forum also focuses on supporting young scientists. Under the considerable organisation of Professor Dr. Thomas Böllinghaus, Vice President of BAM, young scientists from WMRIF member institutes put their current research results up for discussion in workshops. The best presentations have so far been awarded with a total of 20 guest placements at the invitation of WMRIF institutes; a good opportunity for the award recipients to expand their experience in the international arena and to extend their professional contacts, some of which resulted in scientific cooperation projects.

The presentations of the WMRIF workshops are available as peer-reviewed articles in three books published by Springer in printed and e-book format. The over 20,000 downloads of articles are testament to the significance of the topics addressed by WMRIF.

Some of the new pressing issues of the near future are those regarding critical materials and their substitutes. The topic of critical materials is among the top 10 most important trends in materials research, which is why they were shifted to the focal point of the congress at the 6th General Assembly of the coalition held on the 14th and 15th of September 2015. The symposium was

organised by the American Lawrence Livermore National Laboratory in Livermore, California under the title „Computational materials sciences, characterisation and critical materials“.

The availability of raw materials may become critical. The existing deposits of the necessary resources for the production of new materials may become scarcer and their extraction may become more costly. Indium is relatively scarce and its exploitation causes major environmental damage. Because indium is comparatively expensive, it drives up the overall cost of organic photovoltaics. Rare earths and lithium are needed for the production of permanent magnets for the engines and batteries of our future electric mobility. This is where raw material shortages become noticeable.

The economic availability can also become critical when only a few companies extract these raw materials or when they come from only a few regions. Monopoly-like corporate structures or the dependence on a few regions that limit their raw materials availability to the world market through customs or export restrictions can cause targeted scarcity and thus influence prices.

To counteract these foreseeable shortages, alternatives and recycling processes need to be considered within the framework of materials research. A functioning circular economy could improve the economic efficiency of these critical materials but

this requires national research priorities and funding programmes. All this provides a number of reasons for creating the global network of experts in materials research.

Böllinghaus was WMRIF president between 2011 and 2015. In the continuously updated thematic review of materials research trends initiated by NIMS, he led the documentation of the 10 most important trends in materials science and engineering, which is published on the website (www.wmrif.org) as a continuously updated WMRIF opinion piece. After the general assembly in Livermore, the leadership and administration was passed to Ms Dr. Laurie Locascio, director of NIST Materials Measurement Laboratories.



Das Forum hat die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Fokus

The forum focuses on supporting young scientists

KONTAKT/CONTACT

Prof. Dr.-Ing. Thomas Böllinghaus

✉ Thomas.Boellinghaus@bam.de

9 Komponentensicherheit

BAM Vizepräsident

9 Component Safety

BAM Vice-President



Foto: Michael Danner

RINGVERSUCHE: WISSEN, DASS DER MESSWERT RICHTIG IST

PROFICIENCY TESTING:
KNOWING THAT THE
MEASUREMENT IS CORRECT



Machen wir's denn richtig? Das müssen sich analytische Laboratorien ständig fragen und fragen lassen. Überall werden ihre Messergebnisse als Grundlage für wichtige Entscheidungen genutzt. Ob für unsere Lebensmittel oder für die Brückensanierung: Zuverlässige Messergebnisse sind unerlässlich, denn falsche Ergebnisse können teuer und durchaus auch gefährlich werden.

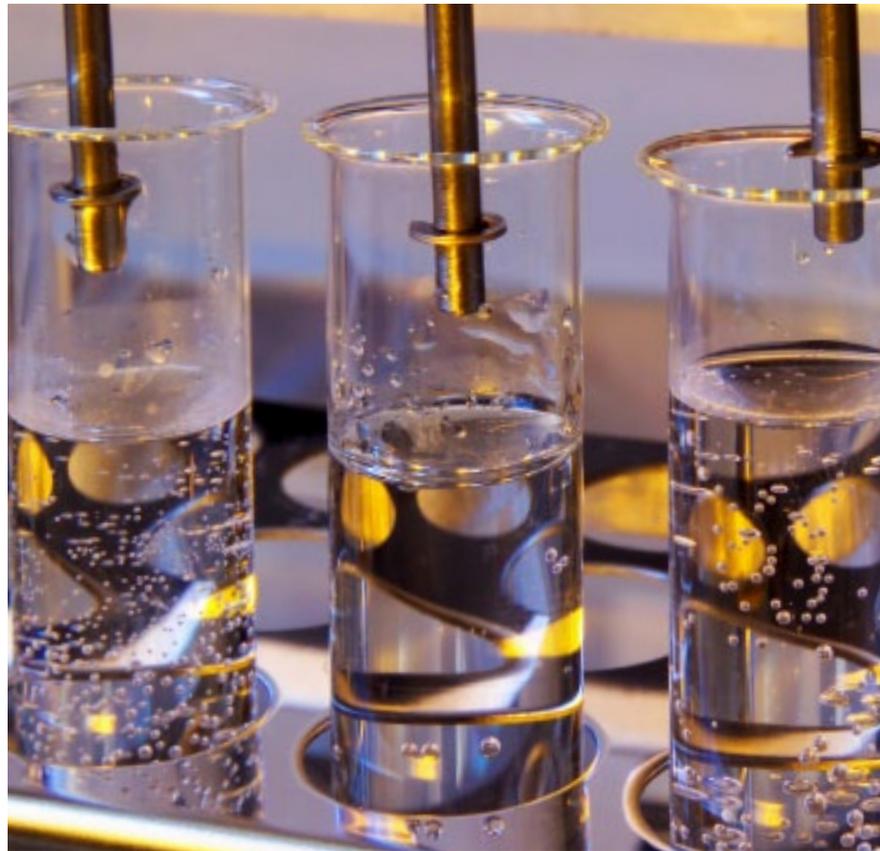
Laboratorien betreiben daher eine Reihe technischer Maßnahmen zur Qualitätssicherung und dabei ist die Beteiligung an Ringversuchen besonders wichtig. Ringversuche sind Messungen mehrerer Laboratorien am selben oder gleichen Prüfobjekt. Hierdurch lassen sich ihre Messergebnisse mit denen anderer Laboratorien oder mit einem externen Standard vergleichen. So können sie die Frage, ob sie es denn richtig machen, schon einmal ein ganzes Stück besser beantworten. Vorausgesetzt, es lassen sich auch passende Ringversuche finden. Denn die nationalen oder regionalen Ringversuchsangebote decken den fachlichen Bedarf oft nur teilweise ab. Weltweit ist die Auswahl schon wesentlich größer – aber auch viel unübersichtlicher. Doch wer hilft den Laboratorien den richtigen Ringversuch zu finden? Ganz einfach: EPTIS, das European Proficiency Testing Information System.

DER BEGINN DER ERFOLGSGESCHICHTE EPTIS

Werfen wir einen Blick zurück ins Jahr 2000: In diesem Jahr ging EPTIS nämlich online und interessierte Laboratorien bekamen zum ersten Mal einen strukturierten Überblick über 600 Ringversuchsprogramme im In- und Ausland. Die BAM hatte den Informationsbedarf schon frühzeitig erkannt und zusammen mit Partnerinstituten in 15 EU-Mitgliedstaaten alle regelmäßig durchgeführten Ringversuche (sogenannte Ringversuchsprogramme) dieser Länder erfasst und damit die Datenbank EPTIS federführend aufgebaut.

Aber dabei blieb es nicht. Die 15 Projektpartner wurden zu nationalen Koordinatoren, die die Datenbasis regelmäßig aktualisierten unter der Leitung der BAM. Neue Ringversuche von weiteren Anbietern kamen ständig hinzu, auch aus anderen Ländern – schon bald musste das European im Namen durch International ersetzt werden.

Unterstützung für das junge EPTIS kam von international führenden Organisationen aus der Akkreditierung und der Laborgemeinschaft: European Accreditation (EA), Inter-American Accreditation



Cooperation (IAAC), International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), Eurolab, Eurachem und dem Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM).

EPTIS HEUTE

Heute listet EPTIS 2900 Ringversuchsprogramme von 300 Ringversuchsanbietern aus 38 Ländern. Zu jedem Programm zeigt ein Datenblatt die wichtigsten Informationen, so dass Laboratorien selbst suchen und entscheiden können, welcher Ringversuch für sie passen könnte. Und das natürlich nicht nur in Deutschland. Das Tool wird weltweit immer bekannter, die Zugriffe wachsen um 25 Prozent pro Jahr.

Um die Aktualität zu gewährleisten und weiteres Wachstum zu ermöglichen, hat die BAM den Umgang mit den Daten für Ringversuchsanbieter und Koordinatoren erheblich vereinfacht und EPTIS grundlegend neu programmiert. Seit 2015 können Anbieter ihre Ringversuche selbst in die Datenbank einstellen und verwalten. Die nationalen Koordinatoren haben nun die Rolle des Rezensenten und sorgen dafür, dass grundlegende Anforderungen bei der Veröffentlichung eingehalten werden. „Das neue EPTIS kommt bei den Ringversuchsanbietern sehr gut an. Sie können ihre Daten schnell und einfach

hochladen und die Datenbank erklärt sich von selbst“, erklärt Dr. Johannes van de Kreeke aus dem BAM-Referat S.1 Qualität im Prüfwesen.

„Durch das Engagement der BAM und mit Unterstützung einer Vielzahl von Partnerinstitutionen aus Forschung, Metrologie und Akkreditierung ist EPTIS zu einer einzigartigen Quelle von Informationen zu Ringversuchen weltweit geworden. Damit unterstützen wir die Prüf- und Analyse-Laboratorien in Deutschland und in anderen Ländern und tragen zu zuverlässigen Entscheidungen in Wirtschaft und Politik bei“, so van de Kreeke weiter.

Are we doing it right? This is a question analytical and testing laboratories must constantly face and ask themselves because their measurement results are widely used as a basis for important decisions. Whether for our food or for the renovation of a bridge, reliable measurements are vital since incorrect results may lead to expensive and quite dangerous consequences.

For this reason, laboratories conduct a number of technical measures for quality assurance. A very effective one is participation in proficiency testing (PT). In a proficiency test, a number of laboratories perform measurements on the same or a similar test item. They report their results to the PT provider who calculates scores that are indicative of their performance.

There are, however, many technical fields for which there is no national or regional PT scheme available. The worldwide choice is much larger – but those schemes may be hard to find due to language and country barriers. So - who helps laboratories to find the right PT scheme? Quite simply: EPTIS, the European Proficiency Testing Information System.

THE BEGINNING OF EPTIS'S SUCCESS STORY

Let us look back to the year 2000: this is the year EPTIS went online and for the first time interested laboratories were provided with a structured overview of 600 national and international PT schemes. BAM had already identified the need for information early on and initiated an EU project to build up an information system together with partner institutes in 15 EU Member States. They recorded all PT schemes in these countries and this became the EPTIS database.

But that was not all. The 15 project partners became national coordinators that regularly updated the database under BAM's guidance. New PT schemes from other providers were constantly added, even from other countries – which is why the word European in the name had to be replaced with International.

Support for the fledgling EPTIS came from leading international organisations within the accreditation and laboratory community: European Accreditation (EA), Inter-American Accreditation Cooperation (IAAC), International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), Eurolab, Eurachem and the Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM).

EPTIS TODAY

Today, EPTIS lists 2900 programmes of 300 PT providers from 38 countries. Each programme has a data sheet that presents the most important information that enables laboratories to look for and decide for themselves about the PT scheme best suited to them. And this, of course, does not only apply to Germany. The tool is becoming increasingly known world-wide, with the number of hits growing by 25 percent per year.

To ensure up-to-dateness and to enable further growth, BAM has considerably simplified data handling for PT providers and national coordinators and fundamentally reprogrammed EPTIS. Since 2015, providers themselves can enter and manage their PT schemes in the database. The only remaining role for the national coordinators is to review and ensure that the fundamental requirements are complied with in the publication. “The new EPTIS is very popular among PT providers. They can upload their data quickly and easily and the database is self-explanatory”, says Dr. Johannes van de Kreeke from BAM's S.1 Quality in Testing Section.

“Thanks to BAM's commitment, and with the support of a large number of partner institutions in research, metrology and accreditation, EPTIS has become a unique source of information on PT schemes world-wide. We thus support analytical and testing laboratories in Germany and other countries and contribute to reliable decisions in industry and politics”, says van de Kreeke.



KONTAKT/CONTACT

Dr. rer. nat. Johannes van de Kreeke

✉ Johannes.Kreeke@bam.de

S.1 Qualität im Prüfwesen

S.1 Quality in Testing



ALUMNI

Das Alumni-Netzwerk der BAM wächst stetig. Besonders die Nachwuchsförderung ist der BAM ein wichtiges Anliegen. Verschiedene Programme für den wissenschaftlichen Nachwuchs und eine Vielzahl von Ausbildungsberufen bilden das Sprungbrett für eine erfolgreiche berufliche Karriere. Drei Alumni stellen sich hier vor.

BAM's alumni network is growing steadily. Various programmes for young scientists and a multitude of trainee roles form the springboard for a successful professional career. Three alumni introduce themselves here.



DR.-ING. URS MÜLLER
CBI BETONGINSTITUTET, STOCKHOLM

Es war eine wissenschaftlich spannende Zeit an der BAM, die mich beruflich sehr weitergebracht hat. Fördermöglichkeiten und wissenschaftliche Freizügigkeit in der BAM habe ich schätzen und nutzen gelernt: Abteilungsübergreifend mit den Kolleginnen und Kollegen zusammenzuarbeiten, neue Arbeitsgebiete initiieren und aufbauen zu können oder Vorträge auf Tagungen zu halten. Zudem hatte ich das Vertrauen und die Unterstützung von all meinen Vorgesetzten.

Dem Forschungsthema Baustoff bin ich treu geblieben. Im BAM-Fachbereich 7.1 Baustoffe beschäftigte ich mich mit Zement, den Reaktionsmechanismen beim Erhärten und inwiefern Zusatzstoffe die Eigenschaften von Zement verändern. Denn, wenn man etwas in den Zement einbringt, darf dadurch seine Leistungsfähigkeit nicht reduziert werden. Ich leite heute am CBI eine forschungsorientierte Arbeitsgruppe. So sind Personalführung, strategische Planung, Projektbetreuung und -beantragung meine Hauptaufgaben. In unseren derzeitigen Projekten forschen wir über textilbewehrte Betone (TRC), ultrahochfeste Betone (UHPC) und leichte Fassadenbauelemente (H-HOUSE, siehe dazu Seite 80), hier zusammen mit der BAM und 10 weiteren Partnern. H-HOUSE wird von der europäischen Kommission finanziell gefördert und läuft noch bis 2017. Ich habe mich fachlich in der BAM gut vernetzt und freue mich auf weitere Kooperationen mit der BAM.

CBI SWEDISH CEMENT AND CONCRETE RESEARCH INSTITUTE

The time I spent at BAM was scientifically exciting and helped me advance professionally. I have come to appreciate and use the development opportunities and scientific freedom at BAM: working together with colleagues across departments, being able to initiate and develop new scientific fields and presenting at conferences. I also had the trust and support of all my superiors.

I remained loyal to the building materials research topic. In BAM's 7.1 Building Materials Division, I worked on cement, its reaction mechanisms during hardening and the extent to which additives change

its properties. Introducing something into the cement should not reduce its performance. I am currently heading a research group at CBI where my main tasks include staff management, strategic planning, project management and drafting proposals. In our current projects, we are researching textile reinforced concrete (TRC), ultra high performance concrete (UHPC) and light-weight façade components (H-HOUSE, see page 80) together with BAM and 10 other partners. The European Commission funds the H-HOUSE up to 2017. Professionally, I networked well at BAM and look forward to further cooperation with BAM.

PROF. DR. ANA DESCALZO

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, ABTEILUNG ORGANISCHE CHEMIE

Ich hatte mehrere Forschungsaufenthalte an der BAM. Während meiner Doktorarbeit habe ich an der Synthese fluoreszierender Materialien und molekularer Sonden für chemische und optische Sensoren gearbeitet. Damals, 2002, beteiligte sich Spanien am European Doctorate Programme. Das machte es mir leicht, für meine Forschung ins Ausland zu gehen. Ich wollte die fluoreszierenden Materialien und Verbindungen mit der optischen Spektroskopie charakterisieren und die grundlegenden Mechanismen der Sensoren auf molekularer Ebene verstehen. Dazu hatte ich Kontakt mit Dr.

Knut Rurack von der BAM aufgenommen und so meine Forschung in der Abteilung 1 Analytische Chemie; Referenzmaterialien zusammen mit Dr. Rurack und Dr. Resch-Genger begonnen. Vor allem habe ich viele Erfahrungen im genauen Messen und Auswerten gesammelt und gelernt, wie wichtig reproduzierbare und validierte Ergebnisse in der Fluoreszenzspektroskopie sind.

Das war der Beginn einer langen und wissenschaftlich produktiven Zusammenarbeit. Denn auch als Post-Doc hatte ich das Glück, an der BAM



weiterarbeiten zu können, finanziell unterstützt durch ein EU-Marie-Curie-, ein Alexander-von-Humboldt- und ein Adolf-Martens-Stipendium. In dieser Zeit habe ich am Design chemisch-optischer Sensoren geforscht und mich besonders auf die Entwicklung von neuen Sonden für den nahen Infrarot-Bereich konzentriert. Dabei gilt es immer, den Mechanismus zu hinterfragen. Wie soll der Sensor eine Änderung anzeigen? Spannende Wissenschaft, die noch viele offene Fragen hat. Daher forsche ich auch heute noch auf diesem Gebiet. Ich habe derzeit eine Professur an der Universität Complutense in Madrid und pflege meine fachlichen Kontakte zu ehemaligen Kolleginnen und Kollegen an der BAM.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, ORGANIC CHEMISTRY DEPARTMENT

I had several research sojourns at BAM. During my Ph.D., I worked on the synthesis of fluorescent materials and molecular probes for chemical and optical sensors. At that time (2002), Spain was participating in the European Doctorate Programme, which made it easy for me to go abroad for my research. I wanted to characterise fluorescent materials and compounds via optical spectroscopy and understand the basic mechanisms of the sensors at the molecular level.

I contacted Dr. Knut Rurack at BAM for this purpose and began my research in Department 1 Analytical Chemistry; Reference Materials alongside Dr. Rurack and Dr. Resch-Genger. Above all, I gathered a lot of experience in precise measurement and evaluation and learned about the importance of reproducible and validated results in fluorescence spectroscopy.

This was the beginning of a long and scientifically productive collaboration. Even as a post-doc, I was fortunate to be able to continue work at BAM, supported financially by an EU Marie Curie, an Alexander von Humboldt and an Adolf Martens scholarship. During that time I researched the design of chemical-optical sensors and focused expressly on the development of new probes for the near infrared region. The aim is to always question the mechanism. How should the sensor indicate a change? This is exciting science that still raises many unanswered questions, which is why I am still researching this field. I am currently a professor at the Complutense University in Madrid and maintain my professional contacts with former colleagues at BAM.

DR.-ING. CHRISTOPHER SCHWENK BMW GROUP WERK BERLIN. LEITER LABORTECHNIK

BMW Motorrad ist etwas Besonderes – in Berlin befindet sich das weltweit einzige Vollwerk von BMW Motorrad. Durch meinen Wechsel von München aus der Prototypenentwicklung hier nach Berlin bin ich fachlich wieder ziemlich nah an dem, was ich in der BAM gemacht habe. Jedes Fahrzeugwerk bei BMW hat ein Labor vor Ort. So können wir mit unseren Analysen die Entwicklung von Fahrzeugen begleiten und Untersuchungen durchführen. Ich habe das große Glück, alle vier Bereiche unserer Labortechnik – Metall, Prozess, Chemie und Nichtmetall – in meiner Gruppe zu vereinen. Das ist sehr hilfreich, da wir hier mit Motorenbau, mechanischer Fertigung, Lackiererei und Fahrzeugmontage eine hohe Fertigungstiefe haben. Bei der Zusammenstellung meines Teams habe ich die Denkweise, die ich an der BAM kennen- und schätzen gelernt habe und die auch den Überzeugungen der BMW Group entspricht, übernommen und Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unterschiedlicher Fachrichtungen eingestellt.

Die viereinhalb Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der BAM waren toll – schon alleine wegen der Geräteausstattung. Professor Dr. Michael Rethmeier, Leiter des BAM-Fachbereichs 9.3 Schweißtechnische Fertigungsverfahren, hat mich 2007 an die BAM geholt. Ich war sein erster Doktorand. Nach Abschluss meiner Promotion an der Technischen Universität Berlin habe ich bis 2011 an der BAM die Schweißsimulation aufgebaut. Es galt die zentrale Frage zu beantworten, wie genau die Werkstoffkennwerte gemessen werden müssen, um die richtigen Daten zu ermitteln, die dann in mein Modell einfließen. Viele Messungen haben wir dazu gemacht, wie beispielsweise die zeitliche und örtliche Entwicklung des Temperaturfeldes im Bauteil beim Schweißen, woraus sich Verzug und Eigenspannung vom Blech ergeben. Die Simulation muss die Realität schon richtig abbilden. Die Arbeit hat sich gelohnt, denn mit guten Simulationsmodellen lassen sich schnell, einfach und aussagekräftig das Werkstoffverhalten und die Auswirkungen der Schweißparameter abschätzen. Diese Informationen

sind wichtig für die Wirtschaftlichkeit der Schweißverfahren in der Praxis.

BMW GROUP PLANT BERLIN. HEAD OF LABORATORY TECHNOLOGY

A BMW motorcycle is something special – the world's only BMW motorcycle complete assembly plant is in Berlin. Through my transfer from prototype development in Munich to Berlin, I am once again professionally quite close to what my tasks at BAM used to be. Each BMW vehicle plant has a laboratory on site. This enables us to follow the development of vehicles and carry out investigations with our analysis. I am very fortunate to be able to unite all four areas of our laboratory technology in my group – metals, process, chemistry and non-metals. This is very helpful because we have an extensive production line through engine manufacturing, mechanical production, paint shop and vehicle assembly. When organising my team, I applied the same way of thinking that I acquired and valued at BAM, which also conforms to the beliefs of the BMW Group and appointed employees from different disciplines.

The four and a half years I worked as a researcher in BAM were great – if only for the instrumentation. Professor Dr. Michael Rethmeier, head of BAM's 9.3 Welding Technology Division brought me to BAM in 2007. I was his first Ph.D. student. After completing my Ph.D. at the Technische Universität Berlin, I was developing the welding simulation at BAM until 2011. The aim was to answer the key question of exactly how the material parameters have to be measured in order to determine the correct data, which were then incorporated into my model. We conducted many measurements for this purpose, such as the temporal and spatial development of the temperature field in the component during welding which results in distortion and residual stress in the sheet metal. The simulation must depict the actual situation accurately. The work has paid off because good simulation models enable quick, easy and meaningful estimation of material behaviour and the impacts of the welding parameters. This information is important for the efficiency of practical welding processes.

Foto: cl

Foto: cl







THEMENFELD
ENERGIE

FOCUS AREA
ENERGY

Wie wir die Wirtschaft beflügeln?

Indem wir die Energiewende auf feste Beine stellen. Mit bautechnischen Regeln sorgen wir für sichere Tragstrukturen in Offshore-Parks.

How do we stimulate the industry?

By putting energy transition onto a solid footing. We develop building engineering regulations to ensure safe supporting structures for offshore wind farms.

THEMENFELD ENERGIE

FOCUS AREA ENERGY

Für den Wirtschaftsstandort Deutschland ist das Thema Energie von zentraler Bedeutung. Faktoren wie globale Erwärmung und die Energiewende werden die Energieversorgung in der nächsten Dekade nachhaltig verändern. Wir forschen im Themenfeld Energie an der gesamten Nutzungskette der Energieträger Wind, Sonne, Gas, Kohle und Öl von der Erzeugung über die Speicherung und den Verbrauch bis hin zur Entsorgung.

The energy issue is of fundamental importance to the German economy. Factors such as global warming and energy transition will drive the conversion to sustainable energy supply in the next decade. In the focus area Energy, we undertake research into the overall use of wind, solar, gas, coal and oil energy from production through storage and consumption to disposal.



Foto: FB 3.3

MIT MATHEMATIK MATERIAL- VERSAGEN VORHERSAGEN

Numerische Simulationen erlauben Einblicke in Materialien, technische Verfahren oder Prozesse, die mit Mitteln der Messtechnik kaum oder nur unter großem Aufwand möglich sind. Im BAM-Forschungsvorhaben ConDrop entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler damit eine Methode, um das Verformungs- und Versagensverhalten von Behältern für schwach- und mittelradioaktive Abfälle für das Endlager Konrad vorherzusagen.

PREDICTING MATERIAL FAILURE USING MATHEMATICS

Numerical simulations provide insights into materials, technical procedures or processes that are hardly possible by means of measurement technology, or require a lot of effort. In BAM's ConDrop research project, scientists are developing a method to predict the deformation and failure behaviour of containers for low- and intermediate-level radioactive waste for the Konrad repository.

Fallversuchsanlage auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit in Horstwalde: Fall aus fünf Meter Höhe auf eine deckelseitige Containerecke

Drop test facility on BAM's Test Site Technical Safety at Horstwalde: five-metre drop on a cover-side container corner

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle soll Mensch und Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen sicher schützen. Das Entsorgungskonzept der Bundesrepublik Deutschland sieht für sämtliche Arten radioaktiver Stoffe die Einlagerung in tiefen geologischen Formationen vor. Hierfür werden Lagerbehälter benötigt, die über allgemeine Grundanforderungen hinaus auch mechanischen Betriebs- und Störfallbelastungen sicher standhalten müssen. Ein wichtiges Thema in der BAM, denn sie ist für die Bauartprüfungen der jeweiligen Behältertypen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle zuständig.

Einen zentralen Bestandteil dieser Prüfungen stellen Fallversuche dar. Damit werden mögliche Handhabungsstörfälle im Endlager repräsentativ abgebildet und der Erhalt der mechanischen Integrität der Lagerbehälter nachgewiesen. Doch Prüfungen dieser Art sind zeitlich und technisch sehr aufwendig. Die numerische Simulation mit der Finiten-Elemente-Methode (FEM) stellt daher eine effiziente und flexible Alternative dar. Besondere Vorteile bieten die komfortable Variation unterschiedlichster Einflussgrößen und die Auswertung

messtechnisch nicht oder nur schwer erfassbarer Bauteilbereiche.

„In unserem Forschungsvorhaben ConDrop, das Kürzel steht für Numerical Drop Test Analyses of Steel Sheet Containers for the Konrad Repository, simulieren wir auslegungsbestimmende Absturzscenarien von dünnwandigen Stahlblechcontainern, wie sie im Endlager Konrad für schwach- und mittelradioaktive Abfälle vorgesehen sind,“ erklärt Diplom-Ingenieur Christian Keller.

Für die numerischen Simulationen hat der Ingenieur zunächst ein Finite Elemente (FE)-Modell eines Referenzbehälters entwickelt. Um seine Annahmen in der Modellbildung zu bestätigen, haben seine Kolleginnen und Kollegen hier etliche Fallversuche mit umfangreich instrumentierten Originalbehältern der Maße 3,2 m x 2,0 m x 1,7 m durchgeführt.

Hier, das ist die Fallversuchsanlage der BAM, auf ihrem Testgelände Technische Sicherheit in Horstwalde, 50 km südlich von Berlin. Die Winde auf der 36 Meter hohen Turmkonstruktion ist für Maximallasten von 200 Tonnen ausgelegt, die im freien Fall bis zu 30 Meter zurücklegen können, bis sie auf ein unnachgiebiges Fundament aufschlagen (fünf Meter dick, 2600 Tonnen schwer). Dies besteht aus einem stahlarmierten Betonquader und einer damit fest verbundenen Aufprallplatte aus Stahl und leitet den Großteil der Aufprallenergie in das Prüfobjekt, um die Belastung selbst bei schlimmsten Unfällen zu simulieren.

„Die zugehörigen Endlagerungsbedingungen schreiben Fallversuche aus einer maximalen Fallhöhe von fünf

ENDLAGER KONRAD

Endlager Konrad ist ein stillgelegtes Eisenerz-Bergwerk im Stadtgebiet Salzgitter. Seit 2007 ist diese Anlage als Endlager für 303.000 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle genehmigt und wird derzeit dafür umgerüstet. Damit ist das Endlager Konrad die erste Anlage zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen in Deutschland, für die ein formelles Planfeststellungsverfahren durchgeführt wurde. Die aktuellen Planungen gehen von einer Inbetriebnahme des Endlagers im Jahr 2022 aus.

Metern vor. Dabei müssen die Behälter so fallen, dass der größtmögliche Schaden erzielt wird. Fallorientierungen sind nicht vorgegeben“, so Keller.

Beschleunigungssensoren an den Behältern und Hochgeschwindigkeits-Videoaufnahmen weisen die Behälterorientierung zum Zeitpunkt des Aufpralls nach. Dehnungsmessstreifen an ausgewählten Stellen und dreidimensionale optische Messmethoden erfassen das Verformungsverhalten während des Aufpralls sowohl punktuell als auch des gesamten Behälters.

Mit Hilfe des entwickelten FE-Modells konnte der Ingenieur nun Bereiche maximaler Beanspruchung oder Verformung bei unterschiedlichen Einflussfaktoren wie beispielhaft der Fallorientierung systematisch rechnerisch bestimmen. Keller identifizierte in Parameterstudien den deckelseitigen Fall auf eine Behälterecke aus fünf Meter Höhe als ungünstiges Fallszenario hinsichtlich des Verformungsverhaltens: Komponenten der Behälterstruktur werden aufgrund der dynamischen Beanspruchung mechanisch instabil, sie knicken ein, große plastische Verformungen sind die Folge.

Um die gewonnenen Erkenntnisse der numerischen Studien zu überprüfen, wurde dieses Fallszenario mit einem

WAS SIND SCHWACH- UND MITTEL-RADIOAKTIVE ABFÄLLE?

Schwach- und mittelradioaktive Abfälle zeichnen sich darin aus, dass ihre Wärmeentwicklung aufgrund des radioaktiven Zerfalls vernachlässigbar ist. Sie stammen beispielsweise aus der Stilllegung von Kernkraftwerken, aus der Forschung, Industrie oder aus der Medizin. Dabei kann es sich um kontaminierte Anlagenteile, Werkzeuge, Laborgeräte oder Schutzkleidung handeln.

Vergleich von Experiment und numerischer Simulation: Verformungsverhalten im Bereich der Containerrecke während des Aufpralls



Comparison of experiment and numerical simulation: deformation behaviour in the area of the container corner during impact

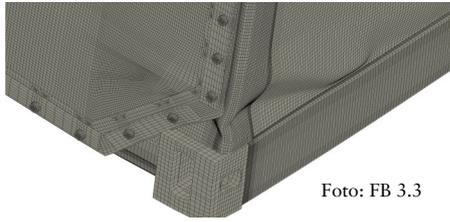


Foto: FB 3.3

Testbehälter im Experiment nachgestellt. Das Ergebnis: Simulation und Realität stimmen hinsichtlich des Verformungsverhaltens gut überein. Im Experiment riss zusätzlich das dünnwandige Seitenwandblech infolge der Verformungen auf.

Keller interessierte sich für eine umfassende numerische Beschreibung des Versagensverhaltens der dünnwandigen Behälterkomponenten. Hier ist die Kenntnis verlässlicher, beanspruchungsgerechter Werkstoffkennwerte erforderlich, die unter den Bedingungen ermittelt werden, die im Belastungsfall vorliegen. Bei Falltests werden vergleichbar mit Crashtests im Automobilbereich hohe Belastungsgeschwindigkeiten erreicht, die das Verhalten von Stahlwerkstoffen stark beeinflussen können. Deshalb untersuchte der Ingenieur die Werkstoffeigenschaften in statischen und dynamischen Zugversuchen bei mehreren Belastungsgeschwindigkeiten. Um den Einfluss verschiedener Beanspruchungszustände auf das Versagen zu bestimmen, untersuchte Keller Zugproben mit unterschiedlichen Geometrien. Mit den so ermittelten Werkstoffeigenschaften galt es nun, geeignete werkstoffspezifische numerische Schädigungs- und Versagensmodelle für das FE-Modell zu finden.

Und sein Fazit: Mit den numerischen Simulationen werden Kenntnisse zum Verformungs-, Versagensverhalten und zu vorhandenen Sicherheitsreserven gewonnen, die selbst durch aufwendige Prüfserien an Behältern in Originalgröße nicht ermittelt werden können. Daraus lassen sich Prüf- und Messmethoden, die Genauigkeit von Sicherheitsnachweisen und schließlich auch die Auslegung von Behältern verbessern. Hilfreiches Wissen, das durch die Fallversuche ergänzt wird.

The permanent disposal of radioactive waste is supposed to reliably protect humans and the

environment from the harmful effects of ionising radiation. The disposal concept of the Federal Republic of Germany plans to store all types of radioactive waste in deep geological formations. This requires storage containers that must certainly withstand mechanical operating and accident stresses beyond the general basic requirements. This is an important issue at BAM because BAM is responsible for design testing the respective container models for the permanent disposal of radioactive waste.

Drop tests play a key role in these assessments. They representatively illustrate handling accidents in the repository and provide evidence for maintaining the storage containers' mechanical integrity. However, tests like this are time-consuming and technically cumbersome. The numerical simulation using the finite element method (FEM) is therefore an efficient and flexible alternative. The convenient variation of different influencing parameters and the evaluation of metrological unapproachable or elusive component areas offer particular advantages.

WHAT IS LOW- AND INTERMEDIATE-LEVEL RADIOACTIVE WASTE?

Low- and intermediate-level radioactive waste is characterised by the fact that the heat develops from radioactive decay is negligible. For example, it originates from the decommissioning of nuclear power plants, from research, industry, and medicine. This can include contaminated installation parts, tools, laboratory equipment or protective clothing.

“In our ConDrop research project, short for Numerical Drop Test Analyses of Steel Sheet Containers for the Konrad Repository, we simulate design based crash scenarios of thin-walled sheet steel containers such as those provided in the Konrad repository for low- and intermediate-level radioactive waste”, explains engineer Christian Keller.

Keller first developed a finite element (FE) model of a reference container for the numerical simulation. To confirm his assumptions in the modelling, his colleagues performed several drop tests on 3.2 m x 2.0 m x 1.7 m original containers that had been extensively instrumented.

The tests were carried out at the drop test facility on BAM's Test Site Technical Safety at Horstwalde, 50 km south of Berlin. The winch on the 36-metre-

KONRAD REPOSITORY

Konrad repository is a decommissioned iron ore mine in the Salzgitter city area. Since 2007, this installation has been an approved repository for 303,000 cubic metres of low- and medium-level radioactive waste and is currently being converted for this purpose. This makes the Konrad repository the first installation for the disposal of radioactive waste in Germany for which a formal plan approval procedure has been conducted. Current plans are based on a launch of the repository in 2022.

high tower structure is designed for a maximum load of 200 tonnes that can freely fall from up to 30 metres onto a five-metre-thick, 2600-tonne essentially unyielding floor. This consists of a steel-reinforced concrete slab and a firmly attached steel impact plate that transfers the bulk of the impact energy into the test object in order to simulate the stresses in the worst of accidents.

“The actual permanent disposal requirements stipulate drop tests from a maximum drop height of five metres. In these tests the containers must fall in such a way that maximum damage is caused. Drop orientations are not specified”, says Keller.

Acceleration sensors on the containers and high-speed video recordings detect the container orientation at the moment of impact. Strain gauges in selected places and three-dimensional optical measuring methods capture the deformation behaviour during impact both in selected points and for the entire container.

With the help of the developed FE model, Keller could then mathematically determine areas of maximum stress or deformation systematically for various influencing factors such as drop orientation. In parameter studies, Keller identified the five-metre cover-side drop on a container corner to be an unfavourable drop scenario in terms of deformation behaviour where components of the container structure become mechanically unstable due to the dynamic stress; they buckle, which results in large plastic deformations.

To verify the results of the numerical studies, this drop scenario was



Große plastische Deformationen im Bereich des Aufpralls auf eine Containerecke mit aufgerissenen Seitenwandblech

Large plastic deformations in the impact region on a container corner with local tearing of the side panel

reconstructed in an experiment on a test container. The resulting simulation and reality correspond well regarding the deformation behaviour but the thin-walled side panel additionally tore open in the experiment as a result of the deformation.

Keller was interested in a comprehensive numerical description of the failure behaviour of thin-walled container components. This requires knowledge of reliable material characteristics detected under real world stress and strain conditions. Similar to crash tests in the automobile sector, drop tests facilitate high strain rates that can greatly influence the behaviour of steel materials. That is why Keller investigated the material properties in static and dynamic tensile tests at several strain rates. To determine the influence of various stress conditions on failure, Keller carried out tensile tests on samples with different geometries. He then had to find suitable material-specific numerical damage and failure models for the FE model based on the acquired material properties.

His conclusion was that the numerical simulations provide knowledge on the deformation and failure behaviour and on available safety margins which

cannot be achieved through even a costly test series on life-sized containers. This helps improve test and measurement methods, the accuracy of safety verifications and finally the design of containers. The drop tests complete this useful knowledge.



KONTAKT/CONTACT

Dipl.-Ing. Christian Keller
✉ Christian.Keller@bam.de

3.4 Sicherheit von Lagerbehältern
3.4 Safety of Storage Containers



Die Nutzung der Abgaswärme, beispielsweise beim Auto, bei LKWs oder Blockheizkraftwerken, spielt bei steigenden Rohstoffpreisen eine immer größere Rolle. Doch werden die Abgase oft ungenutzt durch Schornstein oder Auspuff abgeleitet. Ein „Anzapfen“ lohnt sich, sind die dort vorherrschenden Temperaturen doch dafür hoch genug.

Entwickler-Teams im Automobilbau sowie Hersteller von Mini-Blockheizkraftwerken setzen daher seit einiger Zeit auch auf die Heißdampftechnologie. Die Idee dabei ist, den heißen Abgasstrom durch einen Dampferzeuger zu leiten. Der dort erzeugte Heißdampf wird mittels Kolbenmaschinen oder kleinen Turbinen expandiert und

in mechanische oder elektrische Energie umgewandelt. Die verschiedenen Reibstellen in den Expandern können unter diesen Bedingungen nicht mit Öl geschmiert werden. Die Schmierstoffe würden hydrothermal gecrackt oder verbrennen. Es werden deshalb Gleitpaarungen benötigt, die ungeschmiert im Heißdampf verschleißbeständig und reibungsarm funktionieren, oder Reibmaterialien, die mit dem Heißdampf so reagieren, dass sie selbstschmierende Reibschichten bilden. Grund genug für Dr. Mathias Woydt und sein Team ein Heißdampftribometer zu entwickeln, mit dem die entsprechenden Reibwerkstoffe auf ihre Eignung hin untersucht und die Werkstoffentwicklung vorangetrieben werden können.

Das tribologische Verhalten von Werkstoffen, also deren Reibung, Verschleiß und Schmierung, ist schon seit langem ein Thema in der BAM. Mit dem Vorgänger-Tribometer ließ sich allerdings nur Heißdampf bis 450 °C erzeugen. Das reicht für die Beantwortung der heutigen Fragen zur Werkstoffauswahl nicht aus. Möchte man in einen Verbrennungsmotor eines Autos einen Dampferzeuger integrieren, so stellen die oft eingesetzten Leichtbaumaterialien die Ingenieure vor neue Herausforderungen: Denn die vorhandenen Erfahrungen aus der Kraftwerkstechnik sind auf Heißdampf nur bedingt übertragbar. Auch in der Energietechnik wird überlegt, die Effizienz dadurch weiter zu steigern, indem Dampftemperatur-



MEHR ALS HEISSE LUFT

Heiße Abgase von Verbrennungsprozessen lassen sich als „Energiequelle“ anzapfen. Dampferzeuger, eingebaut im Abgasstrom, wandeln Wärmeenergie in mechanische oder elektrische Energie um. Im Heißdampf müssen aber alle im direkten Kontakt sich bewegendenden Teile ungeschmiert funktionieren: Ein Forschungsthema der BAM.

MORE THAN HOT AIR

Hot exhaust gases from combustion processes can be tapped as “power sources”. Steam generators installed in the exhaust gas flow can convert thermal energy into mechanical or electrical energy. However, all moving parts in direct contact with hot steam must function without lubrication. This is the subject of a new BAM research project.

ren von über 700 °C erreicht werden. Immerhin ließe sich die thermische Effizienz in Kraftwerken um 10 Prozent steigern, wenn die Dampftemperatur von 600 °C auf über 700 °C erhöht werden würde. Doch mit ansteigender Temperatur verschiebt sich der pH-Wert des Wassers kontinuierlich ins Saure. Folglich muss jeder in Frage kommende Werkstoff oder jede Beschichtung gegen Heißdampf korrosionsbeständig sein.

Untersuchungen, die mit dem neuen dampfdichten Heißdampftribometer der BAM nun möglich sind. Dampftemperaturen von bis zu 750 °C bei Drücken bis zu 10 bar können damit erzeugt werden. Die Prüfkammer wurde in den BAM-eigenen Werkstät-

ten ohne Schweißnähte und aus einem Block aus einer Nickelbasis-Legierung gefertigt. Der TÜV Rheinland hat die Arbeitsschritte verfolgt, dokumentiert und die Kammer geprüft. Komplettiert wurde das neue Heißdampftribometer mit der Plattform des Schwing-Reib-Verschleiß-Prüfgerätes (SRVÖ) von Optimol Instruments. Damit lässt sich das Heißdampftribometer nun stufenlos an die individuellen Prüfanforderungen anpassen.

„Wir wissen noch zu wenig über das Verhalten der Werkstoffe im Heißdampf. Bei der alten Dampflokomotive wurden Dampftemperaturen von 300 °C und Drücke von 30 bar nicht überschritten. Daher konnte hier

noch einfacher Stahl verwendet werden“, sagt der Ingenieur Woydt.

Besonders in der Automobilindustrie fordern Kosten-, Volumen- und Gewichtsvorgaben neue Werkstofflösungen, über deren Dauereinsatzverhalten in Heißdampf aber keine Erfahrungen vorliegen. Woydt verfolgt verschiedene Konzepte: Mit seinem Team forscht er nicht nur mit Wasserdampf, sondern auch mit Alkoholdampf und Gemischen daraus, im Temperaturbereich von 180 °C bis über 700 °C. Durch den Zusatz von Alkohol erniedrigt sich der Gefrierpunkt des Wassers. Dieses chemische Verhalten wird genutzt, damit im Winter die „Dampfmaschine“ nicht einfriert.



Das neue BAM-Heißdampftribometer

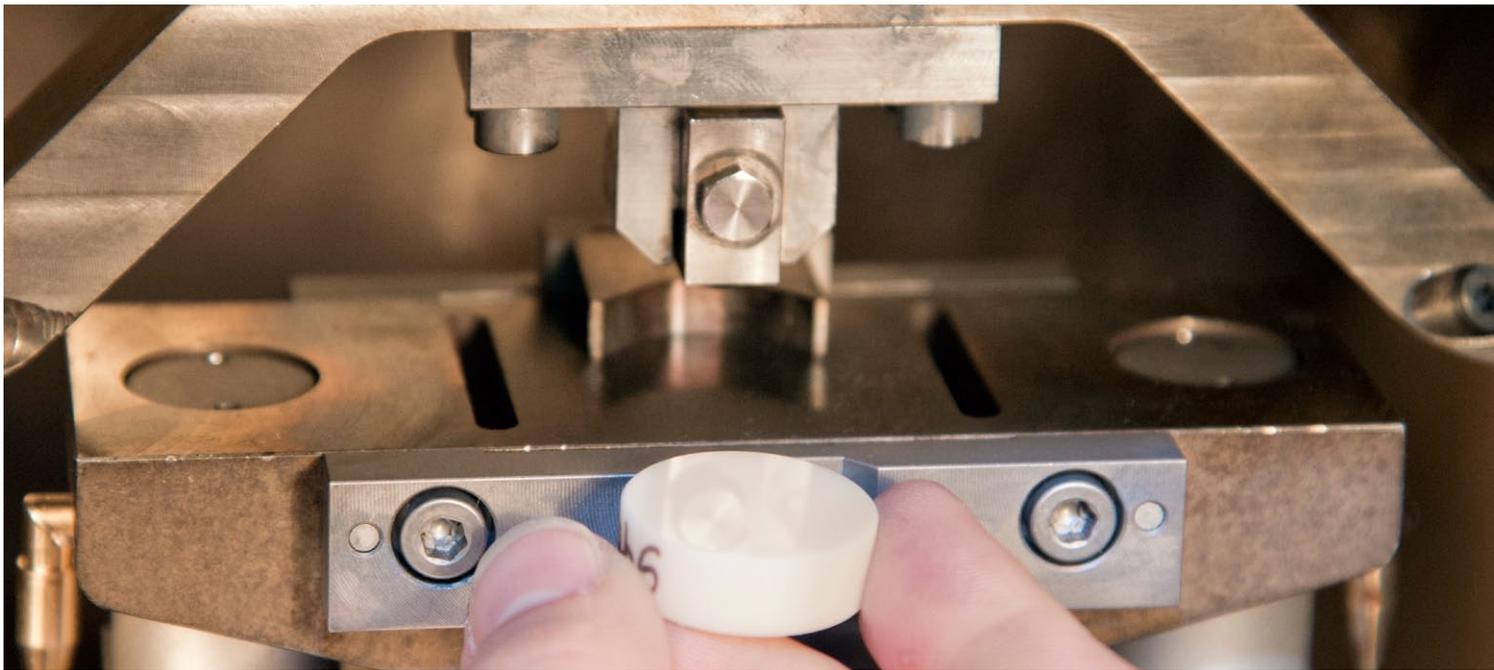
BAM's new superheated steam tribometer

Foto: FB 6.3

Development teams in automobile manufacturing and minor district heating plant manufacturers have been relying on superheated steam technology for some time. The idea is to conduct the hot exhaust gas flow through a steam generator. The superheated steam generated is sent to a piston engine or a small turbine where it expands and its energy content is converted into mechanical or electrical energy. The various

Der Ingenieur ist sich sicher, dass dieses technische Verfahren bei der angestrebten Energiewende einen wichtigen Beitrag leisten wird. Doch hängt dies davon ab, geeignete Reibmaterialien für Heißdampfumgebun-

gen zu finden. Heißdampfgeeignete Reibwerkstoffe werden letztendlich mit darüber entscheiden, wie effizient und nachhaltig wir zukünftig Energie nutzen werden.



Einbau eines keramischen Probekörpers in das Heißdampftribometer

Installation of a ceramic sample in a superheated steam tribometer

With the rising prices of raw materials, the utilisation of exhaust heat in cars, lorries or district heating plants plays an increasingly important role. However, exhaust gases are often unused and expelled through chimneys or exhausts. "Tapping off" is worthwhile since the prevailing temperatures are high enough.

friction points in the expansion units cannot be lubricated with oil under these conditions since the lubricants would be hydrothermally cracked or burned. One solution would be the use of tribological couples that do not require lubrication, are wear-resistant and function with minimal friction in the superheated steam. Another option is friction materials that react with the superheated steam so that

they form self-lubricating friction layers. This motivated Dr. Mathias Woydt and his team to develop a superheated steam tribometer that analyses the applicability of suitable friction materials and advances the development of materials.

The tribological behaviour of materials – friction, wear and lubrication – has been a topic of interest in BAM for a long time. However, the preceding tribometer only produced superheated steam of up to 450°C, which is not enough to answer the current questions about the choice of material. If a steam generator was integrated into a car’s internal combustion engine, then the frequently employed lightweight materials would provide engineers with new challenges. Unfortunately, the applicability of existing experience from power station technology to superheated steam is limited. There are talks about increasing efficiency with steam temperatures higher than 700°C in energy technology, as a benefit, thermal efficiency in power stations would increase by 10 percent if steam temperatures could be increased from 600°C to over 700°C. But increasing temperature causes the water’s pH to shift continuously into the acidic range, consequently, every material or coating considered must be corrosion resistant to superheated steam.

BAM’s new sealed superheated steam tribometer makes such tests possible. It enables the production of steam with temperatures of up to 750°C and up to 10 bar pressure. The weldless test chamber was made in BAM’s own workshops from a single block of a nickel-based alloy. TÜV Rheinland monitored the production steps, documented and tested the

chamber. The new superheated steam tribometer was completed with an Optimol Instruments’ oscillation-friction-wear tester platform (SRV0) which enables the superheated steam tribometer to be continuously adapted to individual test requirements.

“We still know too little about the performance of materials in superheated steam. The old steam engines never exceeded 300°C steam temperatures and 30 bar pressure, which is why simple iron steel was still fit for use”, says Woydt.

Cost, volume and weight requirements in the automobile industry in particular call for new material solutions but there is no experience regarding their performance in continuous operation in contact with very superheated steam. Woydt is pursuing various concepts: he and his team are conducting tests on not only water vapour, but also on alcohol vapour and mixtures thereof at temperatures ranging from 180°C to over 700°C. Adding alcohol lowers the freezing point of water, so this chemical behaviour is used to prevent the “steam engine” from freezing in the winter.

Woydt is confident that this technical process will make an important contribution to the energy transition being pursued. However, this depends on finding suitable friction materials for superheated steam environments. Friction materials suited for superheated steam will be ultimately decisive on how efficiently and sustainably energy will be used in the future.

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Mathias Woydt
✉ Mathias.Woydt@bam.de

6.3 Makro-Tribologie und
Verschleißschutz
6.3. Macrotribology and
Wear Protection



Foto: Michael Danner

MIT FESTEM STAND IM MEERESBODEN

Der Wind als Energiequelle spielt eine immer wichtigere Rolle beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Derzeit boomt in Deutschland die Planung und der Bau von Windparks. Dabei kommt der Nutzung von Windenergie auf See eine wachsende Bedeutung zu. In unmittelbarer Zukunft sollen zahlreiche Windparks in Nord- und Ostsee stehen. Aus bautechnischer Sicht wird insbesondere bei der Erstellung der Gründung technisches Neuland betreten.

STANDING FIRM ON THE SEABED

The wind as an energy source plays an increasingly important role in the development of renewable energy. Currently, the planning and construction of wind farms are booming in Germany, whereby the use of wind energy at sea is becoming increasingly important. Several wind farms should be in place in the North and Baltic Seas in the immediate future. From a constructional point of view, the creation of the foundations will break new technical ground.



Foto: Andreas Kelling

Da auf See der Wind stärker und gleichmäßiger weht als im Landesinneren, entstehen immer mehr Offshore-Windenergieanlagen (OWEA). Die vielfältigen Beanspruchungen über und unter Wasser, die auf solchen Anlagen einwirken, sind hoch und sehr komplex. Wiederkehrende Belastungen durch Wind, Strömung und Wellen beeinträchtigen nicht nur den Turm mit seiner Gondel am oberen Ende, sondern auch das Tragverhalten der Pfahlgründungen und die Wechselwirkung von Gründung und Baugrund.

Der derzeit bevorzugte Gründungstyp sind Stahlrohrpfähle. Über deren Dimension und Tragfähigkeit diskutieren die Expertinnen und Experten durchaus kontrovers: Unterscheiden sie sich doch in großem Maße durch Dimension und Belastung von Pfahlgründungen an Land, so dass Gründungen derzeit bestehender Anlagen daher sowohl unter- wie auch überdimensioniert sein können.

Aber wie reagiert die Pfahltragfähigkeit auf die große Anzahl einwirkender zyklischer Lasten und wie groß sind die zu erwartenden Tragfähigkeitszuwächse durch Alterungseffekte? Fragen, die im Forschungsprojekt „Experimenteller Tragfähigkeitsnachweis und Qualitätssicherung von Pfahlgrün-

TRAGFÄHIGKEITZUWACHS INFOLGE STANDZEIT

Durch das Rammen eines Pfahls wird Material im (Meeres)boden verdrängt, wodurch das Bodengefüge komplex gestört wird: Im Nahbereich des Pfahls lockert sich der Boden, während weiter außen Verspannungen in demselben hervorgerufen werden. Baut sich dieses Gewölbe mit der Zeit ab, so steigt die Reibung des Bodens am Pfahlmantel wieder und die Tragfähigkeit des Pfahls nimmt zu.

dungen für Offshore-Windenergieanlagen“ geklärt werden sollten. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und dem Projektträger Jülich mit rund 1,7 Millionen Euro geförderten Projekt untersuchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem BAM-Fachbereich 7.2 Ingenieurbau durch Versuche und mit Hilfe von Modellrechnungen, wie sich zyklisch axiale Belastungen auf Rammpfähle auswirken. Dazu haben Dr. Werner Rücker und Dr. Matthias Baeßler zusammen mit ihrem Team auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit einen Großprüfstand mit einer mobilen Belastungseinrichtung aufgebaut. 10 Rundrohrpfähle wurden hier mit einem Durchmesser von 70 cm und Pfahllängen von etwa 20 m in den märkischen Boden gerammt.

„Mit unseren ersten Belastungsversuchen konnten wir bestätigen, dass sich die Tragfähigkeit mit der Standzeit erhöht. Aber die Streuung der Messergebnisse verhindert noch eine verlässliche quantitative Prognose des Tragverhaltens. Hierzu werden wir ergänzend die Ergebnisse aus Pfahlprobebelastungen heranziehen, die mittlerweile für Offshore vorliegen und veröffentlicht sind“, so Baeßler.

Das Tragverhalten während einer zyklischen Belastung wird bestimmt durch deren Amplitude und Zyklenzahl. Dabei sind die Wechsellasten erwartungsgemäß kritischer als die Schwelllasten. Für Schwelllasten mit kleiner zyklischer Amplitude aber hoher statischer Belastung konnten die BAM-Testpfähle mehrere Tausend Lastspiele ertragen, ohne erkennbare Veränderung in ihrem Tragverhalten zu zeigen. Die Ergebnisse dieser Versuche flossen in ein numerisches Prognosemodell ein.

Wichtige Bausteine zur Verbesserung numerischer Modelle, mit denen dann ausreichend sichere und gebrauchstaugliche Gründungen konzipiert werden können. Denn: Derzeit existieren zwar international verschiedene Bemessungsmethoden, um die axiale Tragfähigkeit von Großpfählen abzuschätzen, doch führen sie oft zu unterschiedlichen Ergebnissen bei gleichen Randbedingungen.

Generell sind gerammte Stahlpfähle im Offshore-Bereich bislang das sicherste und erprobteste Gründungskonzept. Der große Nachteil dieser Methode ist der damit verbundene

hohe Lärmpegel beim Rammen. Die hohen Wasserschallemissionen können negative Auswirkungen auf die Meeresumwelt haben und insbesondere marine Säuger schädigen.

Eine interessante Alternative sind Saugfundamente (Suction Buckets). Diese bestehen aus einem oder mehreren nach unten offenen Stahlzylindern, die an Eimer erinnern und am unteren Ende der Tragstruktur befestigt sind. Diese Eimer werden auf dem Meeresboden abgestellt. Ausgestattet mit einer Öffnung wird durch Abpumpen des Wassers ein Unterdruck in den Eimern erzeugt. Dadurch saugen sie sich

WECHSELLAST, SCHWELLLAST

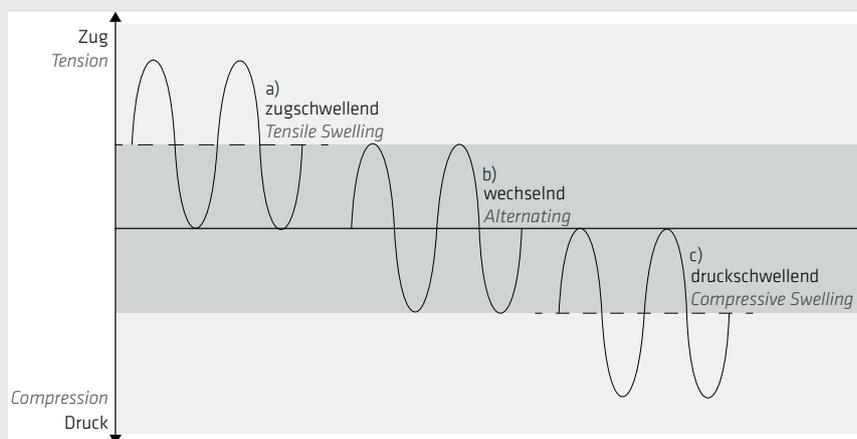
Bei der Wechselbelastung wirken Kräfte zyklisch und mit einer Richtungsänderung auf den Pfahl. Der Pfahl wird auf Druck und Zug belastet. Schwingt die Kraft durch den Nullpunkt (b), liegen reine Wechsellasten vor.

Bei Schwelllasten wird zwischen Zug- (a) und Druckschwelllasten (c) unterschieden. Dabei liegen die Einwirkungen auf den Pfahl entweder auf Druck oder auf Zug.

ALTERNATING LOAD, SWELLING LOAD

In the case of alternating loads, forces act cyclically and their direction on the pile changes. The pile is loaded by compression and tension. When the force swings through zero (b), the load is purely alternating.

Swelling loads are divided into tensile swelling loads (a) and compressive swelling loads (c), and the pile is loaded by compression or tension.



langsam in den Meeresboden hinein. Der installierte Suction Bucket trägt dann wie ein Pfahlrohr über die Mantelfläche, aber zusätzlich auch als Flachgründung ab.

In einem aktuellen vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Vorhaben (Suction Bucket Jacket Monitoring, FZ 0325766B)

PORENWASSERÜBERDRUCK

Porenwasser ist der Wasseranteil, der sich in den Hohlräumen von Böden sammelt. Die Spannung in diesen wassergefüllten Poren wird als Porenwasserdruck bezeichnet. Er ist eine ungerichtete, nach allen Seiten gleich wirkende Größe. Porenwasserüberdrücke können dadurch entstehen, dass im wassergesättigten, feinkörnigen Untergrund infolge einer auf den Boden wirkenden Belastung das Porenwasser nicht rasch genug abfließen kann und es somit einen Teil der Belastung aufnimmt. Die Durchlässigkeit des Untergrundes bestimmt dann, wie schnell das Porenwasser abfließen kann und sich damit die Porenwasserüberdrücke wieder abbauen.

werden begleitend zu einer Prototyp-Installation im Windpark Borkum Riffgrund 1 gemeinsam mit den Projektpartnern DONG Energy und der Leibniz Universität Hannover Fragestellungen zur qualitativen und quantitativen Prognose des Tragverhaltens und insbesondere der Porenwasserüberdrücke erforscht.

Für das Forschungsprojekt wurde eine zuvor an der BAM mitentwickelte numerische Modellierung des Bodenverhaltens wassergesättigter Sande aufbereitet und an die speziellen Randbedingungen des Prototyps angepasst. Hiermit können insbesondere Belastungssituationen simuliert werden, die wegen der Schwierigkeiten bei der Skalierung nicht im Modellversuch überprüft werden können. Im weiteren Verlauf des Vorhabens sollen an dem mit umfangreicher Messsensorik versehenen Gründungsprototyp die wesentlichen Zustandsgrößen beispielsweise bei signifikanten Sturmereignissen ausgewertet und im numerischen Modell nachvollzogen werden.

Because the wind blows stronger and more evenly at sea than on land, an increasing number of offshore wind energy installations are being built. However, these installations are exposed to a variety of high and complex stresses above and below water. Recurring impacts by wind, currents and waves affect not only the tower and its nacelle

at the top but also the load-bearing behaviour of pile foundations and the interaction between foundation and ground.

The currently preferred foundation type is steel pipe piles. The discussion among experts regarding their dimension and load-bearing capacity is quite controversial: regarding dimension and loading conditions they are very different from pile foundations on land so that the foundations of currently existing installations can therefore be both under- and oversized.

But how does the pile's load-bearing capacity respond to the large number of impacting cyclic loads and how large is the expected increase in load-bearing capacity due to ageing effects? The "Experimental load-bearing capacity verification and quality assurance of pile foundations for offshore wind energy installations" research project aims to answer these questions. In the project funded with around 1.7 million Euros by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and the federal coordinator Projektträger Jülich, scientists from BAM's 7.2 Buildings and Structures Division analysed the effects of cyclic axial impacts on driven piles by means of tests and model calculations. Dr. Werner Rücker, Dr. Matthias Baeßler and their team built a large-scale test rig on BAM's Test Site Technical Safety, where 10 tubular piles of 70-centimetre diameter and about 20-metre length were driven into the Brandenburg soil by a mobile pile driver.

"Our first load tests enabled us to confirm that the load-bearing capacity increases with service life. However, the scattering of the measurement results still prevents a reliable quantitative forecast of the load-bearing capacity. To this end, we will additionally use the results of pile loading tests which now are available for offshore and have been published", says Baeßler.

The load-bearing behaviour during a cyclic load is determined by its amplitude and number of cycles. The alternating loads are expected to be more critical than the swelling load. BAM's test piles could endure several thousand strain cycles for a swelling load of small cyclical amplitude but high static strain without showing any noticeable change in their load-bearing behaviour. The results of these tests were integrated into a numerical prediction model. They are important components to improve numerical models that enable the design of sufficiently safe and suitable foundations. Although internationally different measurement methods to

LOAD-BEARING CAPACITY INCREASE DUE TO SERVICE LIFE

Ramming a pile into the seabed displaces the surrounding material, which destroys the soil structure complexly: The soil around the pile becomes loose which causes stress further out. When this arrangement breaks down over time, soil friction at the pile shaft increases, raising the pile's load-bearing capacity.

estimate the axial load-bearing behaviour of large piles currently exist, they often lead to different results under the same framework conditions.

Generally speaking, driven steel piles in offshore areas represent the safest and most tested foundation concept so far. The big disadvantage of this method is the associated high noise level during pile driving. The high underwater acoustic emissions can have a negative impact on the marine environment and particularly harm marine mammals.

Suction buckets are an interesting alternative. They consist of one or more downwardly open steel cylinders that look like buckets and are fastened to the lower end of a load-bearing structure. These buckets are placed on the seabed and are equipped with an opening where the water can be pumped out so creating a vacuum in the buckets. This makes them slowly sink into the seabed and the installed suction bucket then supports itself like a pile tube over the jacket surface and also acts as a flat foundation.

In connection with a prototype installation in the Borkum Riffgrund 1 wind farm, a current project funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (Suction Bucket Jacket Monitoring, FZ 0325766B) researches issues of qualitative and quantitative forecasting of load-bearing behaviour and particularly excess pore water

EXCESS PORE WATER PRESSURE

Pore water is the amount of water contained in the fine pores of soils. The stress in these water-filled pores is called pore water pressure and is omnidirectional: acting with identical strength in all directions. Excess pore water pressures may arise when pore water in the water-saturated, fine-grained subsoil cannot drain away quickly enough due to soil loading and so absorbs part of the load. The permeability of the subsoil determines how fast the pore water can drain and thus reduce the excess pore water pressures.

pressures. Project partners are DONG Energy and Leibniz Universität Hannover.

For this research, a numerical modelling for the soil behaviour of water-saturated sands previously co-developed at BAM was updated and adapted to the specific boundary conditions of the prototype. It particularly enables the simulation of load situations that cannot be verified in the model experiment due to scaling difficulties. In the next steps of the project the foundation prototype will be equipped with extensive measurement sensors and key state parameters, for example, major storm events will be evaluated and reproduced in a numerical model.

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Matthias Baeßler

✉ Matthias.Baessler@bam.de

7.2 Ingenieurbau

7.2. Buildings and Structures



Foto: Michael Danner



THEMENFELD
INFRASTRUKTUR

Wie wir Großes erreichen?

Indem wir es auf ein sicheres Fundament stellen. Wir berechnen, welche Art von nicht-rostendem Stahl für ein bestimmtes Bauwerk verwendet werden soll.



FOCUS AREA
INFRASTRUCTURE

How do we achieve great things?

By basing them on a solid foundation. We carefully calculate to determine the type of stainless steel to be used for a specific structure.

THEMENFELD INFRASTRUKTUR

FOCUS AREA INFRASTRUCTURE

Die moderne, jederzeit verfügbare und technisch sichere Infrastruktur von Industrieanlagen, Bauwerken, Versorgungssystemen und Transportwegen ist zentral für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Der technologische Fortschritt und die sich verändernde Mobilität stellen uns dabei ebenso vor Herausforderungen wie alternde Infrastruktursysteme. Im Themenfeld Infrastruktur betrachten wir die technische Zuverlässigkeit und dauerhafte Sicherheit solcher Systeme.

A modern, readily available and technically safe infrastructure of industrial installations, structures, supply systems and transport routes is crucial to the German economy. Technological progress, changing mobility and aging infrastructure systems are a cause of increasing challenge. In the focus area Infrastructure, we investigate the technical reliability and long-term safety of such systems.

VERBUNDWERKSTOFFE IM FEUER

Komposite wie Glas- oder Carbonfaser verstärkte Kunststoffverbunde (GFK, CFK) werden mehr und mehr für lasttragende Bauteile eingesetzt. Ihr geringes Gewicht lässt sie die herkömmlichen Metallwerkstoffe ersetzen. Doch das Brandverhalten dieser Komposite ist ein entscheidender limitierender Faktor für ihren Einsatz. Zu wenig ist bislang über das mechanische Versagen dieser neuartigen Leichtbaumaterialien im Brandfall bekannt – ein Forschungsthema der BAM.



Foto: lx

COMPOSITES IN FIRE

Composites such as glass fibre or carbon fibre reinforced plastic composites (GFRP) are being increasingly used for load-bearing components. They can replace traditional metallic materials due to their low weight. But the fire behaviour of these composites is a pivotal limiting factor for their use. Knowledge about mechanical failure of these novel lightweight materials in a fire is still limited, which is why BAM decided to take it on as a research topic.



Foto: lx

Ob in der Schifffahrt, in Bahnen, Flugzeugen oder im Bauwesen, überall dort, wo Gewicht reduziert werden soll, denken Hersteller über die Nutzung von Leichtbaualternativen nach. Damit soll Energie eingespart und natürlich die Kosten gesenkt werden. „Große Chance“ für den Einsatz von faserverstärkten Kunststoffverbunden. Doch wie verhalten

sich diese Materialien im Brandfall? Und: Lässt sich ihr Feuerwiderstand erhöhen? Bekannt ist, dass für Bauteile aus GFK und CFK bei einem Vollbrand ihre Sicherheit und Zuverlässigkeit, also insbesondere ihre mechanische Traglast, durch ein sehr spezifisches Versagensverhalten bestimmt wird. Es lässt sich weder aus dem allgemeinen Brandverhal-

ten der Komposite (Enflammbarkeit, Abbrandraten, Wärmeabgabe oder Flammenausbreitung) noch aus ihrem mechanischen Verhalten bei Raumtemperatur ableiten. Bauteile aus Kunststoffverbunden verlieren bei direkter Beflammung überraschend schnell ihre mechanische Stabilität.

ANGEPASSTE SICHERHEITSKONZEPTE: VOM „BURN THROUGH“ ZUM „BURN OUT“

Aufgrund des speziellen thermo-mechanischen Verhaltens von Kompositen müssen Untersuchungsverfahren und Sicherheitskonzepte angepasst werden. Neben der Pyrolyse der Matrix, also ihrer thermischen Zersetzung bei Temperaturen über 300 °C, dem „burn out“, führt vor allem bereits das Erreichen der Glasübergangstemperatur zum Verlust der mechanischen Stabilität gegen Drucklast. Je nach Polymermatrix liegt sie zwischen 120 °C und 200 °C.

Bauteile, die beispielsweise für die Unterseite von Flugzeugrümpfen bestimmt sind, müssen einen „burn through“-Test bestehen. Dieser Test ist für Flugzeugrümpfe aus metallischen Werkstoffen sehr sinnvoll, da die Zeitspanne bis eine direkte Beflammung ein Loch in die Metallhülle geschmolzen hat mit der Evakuierungszeit in einem Postcrashszenario korreliert. Für Flugzeugrümpfe aus Kompositen ist jedoch nicht der burn through das relevante Versagensszenario. Komposite zeigen sogar sehr lange burn through-Zeiten, was daran liegt, dass unter diesen Pyrolysebedingungen kaum Sauerstoff vor-

INTERMEDIATE-SCALE-VERSUCHSSTAND

Das zwei Tonnen schwere wassergekühlte Modul für den Stützenprüfstand erlaubt es, bis zu 1 MN Drucklast auf 500 mm x 500 mm und 1000 mm x 500 mm große Bauteile bei gleichzeitiger Beflammung mit dem Next-Generation Burner, der in der Luftfahrt verwendet wird, aufzubringen.

liegt und sich die Glas- oder Carbonfasern nahezu inert verhalten – das Loch in der Composite-Hülle entsteht also nur sehr langsam. Burn through hilft hier nicht weiter!

Der für das Versagen von Kompositen kritische Verlust der mechanischen Stabilität wird in dem vorgeschriebenen Test nicht überprüft.

INNOVATIVE PRÜFMETHODIK FÜR LEICHTBAU- MATERIALIEN IN VOLLBRANDSZENARIEN

Ihre Forschung über das mechanische Versagen von neuartigen Leichtbaumaterialien unter Drucklast in Vollbrandszenarien und wie der Feuerwiderstand erhöht werden kann, fasst die BAM zusammen unter dem Begriff „Composites in Fire“. Hier forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM aus den Bereichen Flammenschutz von Polymeren, Mechanik von Kompositen und Brandingenieurwesen interdisziplinär zusammen. Der Ausbau ihrer Systemkompetenz ist ihr Ziel.

*Burn through-Test an
Bauteilen aus
Aluminium, die in der
Luftfahrt eingesetzt
werden*

*Burn through test
on aluminium
components used in
aviation*





Sandwich-Palette aus Carbonfaser verstärktem Kunststoffverbund vor dem Brandversuch im Intermediate-Versuchsstand

Sandwich-pallet made of carbon fibre reinforced plastic composite before a fire test in an intermediate test rig

„Durch Versuche im Labormaßstab (bench-scale) lassen sich mit wenig Aufwand an Material, Zeit und Kosten verschiedene Komposite und Brandschutzkonzepte vergleichend untersuchen“, erläutert Dr. Bernhard Schartel. „Doch oft reicht diese Methode nicht aus, um Materialien oder Brandschutzkonzepte angemessen zu bewerten. Wir müssen auch reale Bauteile im mittleren Maßstab (intermediate-scale) untersuchen. Hierfür haben wir einen neuen, innovativen Versuchsstand selbst konzipiert und aufgebaut. Mit dieser einzigartigen Prüfmethodik können wir nun realistische Druckbeanspruchungen für verschiedenste Bauteilgeometrien im Vollbrand erzeugen“, so Schartel weiter.

Während Entflammbarkeit, Flammenausbreitung und Wärmeentwicklung von Kompositen durch bereits etablierte Flammenschutzkonzepte erfolgreich reduziert werden konnten, steht die Entwicklung zur Erhöhung des Feuerwiderstands – der Zeit bis zum mechanischen Versagen der Komponente im Brandfall – noch ganz am Anfang. Daher wurden im Intermediate-Scale-Versuchsstand sowohl neuartige Brandschutzbe-

schichtungen als auch verschiedene Bauteilgeometrien untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass gerade im Design der Bauteile großes Potential zur Verbesserung des Feuerwiderstandes liegt. Auch bei intumeszierenden Brandschutzbeschichtungen besteht Entwicklungsbedarf. Solche reaktiven Brandschutzsysteme bilden bei der Einwirkung von Hitze eine thermisch isolierende verkohlte Schaumstruktur (Intumescenz) um das Bauteil aus. Die Erwärmung des Materials verlangsamt sich dadurch, die mit steigender Temperatur einsetzende Festigkeitsabnahme des Materials wird verzögert und die Tragfähigkeit des Bauteils bleibt länger erhalten. Im Stahlbau werden solche reaktiven Brandschutzbeschichtungen bereits häufig verwendet. Für den Werkstoff Komposite reagieren die bislang erhältlichen Systeme bei direkter Beflammung nicht schnell genug. Viele Systeme sind auf deutlich höhere Maximaltemperaturen (Erweichungstemperatur von Stahl statt von Polymerharzen) ausgelegt. Auch ist der Einsatz von Beschichtungen im Leichtbau bezüglich des zusätzlichen Flächengewichts beschränkt.

Die elegantere Lösung zur thermischen Isolierung könnte daher das gezielte Einbringen von flammsschützenden Zwischenschichten in Komposite-Laminaten sein, die durch das Ablösen von Faserlagen eine thermische Isolierung hervorrufen. Zwischenschichten und cleveres Design versuchen, die Eigenschaften zu nutzen, die den Werkstoff Komposite ausmachen, um den Feuerwiderstand zu erhöhen.

Manufacturers are considering the use of lightweight construction alternatives in all areas where weight can be conserved, whether in shipping, railways, aircraft or construction. This saves energy and, of course, reduces

cost. It is a “great opportunity” for the use of fibre-reinforced plastic composites. But how do these materials behave in a fire? And can their fire resistance be increased? It is known that their safety and reliability (i.e. in particular their mechanical load-bearing capacity under flame impingement) of components made of GFRP and CFRP during a total fire is determined by a very specific failure behaviour. It cannot be derived from either the general fire behaviour of composites (flammability, burning rates, heat release or flame propagation), or from their mechanical behaviour at room temperature. Components made from plastic composites lose their mechanical stability surprisingly quickly under flame impingement.

ADAPTED SAFETY CONCEPTS: FROM “BURN THROUGH” TO “BURN OUT”

Due to the special thermo-mechanical behaviour of composites, test procedures and safety concepts must be adjusted. In addition to matrix pyrolysis, or “burn-out”, i.e. thermal decomposition at temperatures over 300°C, mechanical stability against compressive loads is primarily lost when the glass transition temperature is reached. Depending on the polymer matrix, this temperature is between 120°C and 200°C.

Other components that are designated, for example the underside of an aircraft fuselage, must pass a “burn-through” test. This test is very necessary for aircraft fuselages made of metallic materials because the evacuation time in a post-crash scenario correlates to the time taken for flame impingement to melt a hole in the metal shell. However, the burn-

through is not the relevant failure scenario for aircraft fuselages made from composites. Composites feature very long burn-through time spans because there is little oxygen under pyrolysis conditions and the glass or carbon fibres behave almost inertly – thus, the hole in the composite shell develops very slowly. The burn-through test no longer helps in these scenarios as it does not check the loss of mechanical stability that is crucial for the failure of composites!

INNOVATIVE TEST METHODOLOGY FOR LIGHTWEIGHT MATERIALS IN FULLY DEVELOPED FIRE SCENARIOS

BAM summarises its research on mechanical failure of new lightweight materials under compressive loads in fully developed fire and ways to increase fire resistance under the term “Composites in fire”. BAM’s scientists from the flame retardancy of polymers, composites mechanics and fire engineering fields are conducting interdisciplinary research. Their goal is the expansion of their system’s competence.

“Bench-scale experiments enable the comparative analysis of various composites and fire protection concepts with little material, time and cost”, explains Dr. Bernhard Schartel.

“However, this method is often insufficient to adequately assess materials or fire protection concepts. We must also test real components at an intermediate scale. We have developed and built our new, innovative test rig for this purpose. This unique test method enables us to create realistic compressive stresses for various component geometries in a fully developed fire”, says Schartel.

While established flame protection concepts have already successfully reduced flammability, flame propagation and heat development in composites, developments of increasing fire resistance – the time until the mechanical failure of components in a fire – are very much at the beginning. Therefore, both new fire protection coatings and various component geometries have been tested in the intermediate-scale test rig. The results show a vast improvement potential of fire resistance particularly in the design of components. Intumescent fire protection coatings also require development. Such reactive fire protection systems form a thermally insulating multicellular char (intumescence) around the component upon exposure to heat. Heating of the material is slowed down, the decrease in the material’s strength caused by temperature increase is delayed and the load-bearing capacity of the component is maintained for longer.

INTERMEDIATE-SCALE TEST RIG

The two-tonne water-cooled test rig for the column furnace enables the application of up to 1 MN of compressive load on 500mm x 500 mm and 1000 mm x 500 mm components exposed to simultaneous flame contact with the Next-Generation Burner used in aviation.

These reactive fire protection coatings are already widely used in steel structures. The systems available for composite materials do not react fast enough in direct flame contact. Many systems are designed for significantly higher maximum temperatures (softening temperature of steel instead of polymer resins). The use of coatings in lightweight construction is also limited with regard to the added weight per unit area.

Therefore, the targeted introduction of flame-protective interlayers in composite laminates that create thermal insulation through the separation of fibre layers could be a more elegant solution for thermal insulation. Interlayers and clever design of composite components attempt to use the features that make up the composite material to increase fire resistance.

KONTAKT/CONTACT

Priv.-Doz. Dr. rer. nat. habil.

Bernhard Schartel

✉ Bernhard.Schartel@bam.de

7.5 Technische Eigenschaften von

Polymerwerkstoffen

7.5 Technical Properties of Polymeric

Materials

Foto: Michael Danner



ALTERNATIVE TREIBSTOFFE: SICHER ANDERS – ANDERS SICHER

Immer mehr der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge verfügen über eine alternative Antriebstechnik: Gas in komprimierter oder verflüssigter Form. Diese Treibstoffe werden in Stahl- oder Komposite-Behältern gespeichert. Aber was passiert bei einem Unfall mit einem Fahrzeug, das mit einem alternativen Treibstoffsystem ausgerüstet ist? Unfallszenarien decken neue komplexe Risiken auf, deren Auswirkungen ganzheitlich betrachtet werden müssen. Ein besonderes Risiko stellen Unfallszenarien mit Fahrzeugbränden dar. Eine Aufgabe, der sich eine interdisziplinäre Forschergruppe der BAM im Projekt „Complex Fires – Auswirkungen von Behälterversagen“ stellt.

ALTERNATIVE FUELS: HIGHLY DISSIMILAR YET EQUALLY SAFE

An increasing number of vehicles registered in Germany have an alternative fuel technology: compressed or liquefied gas. These fuels are stored in steel or composite containers. But what happens in an accident to a vehicle that is equipped with an alternative fuel system? Accident scenarios reveal new complex risks and their impacts must be holistically considered. And accident scenarios with burning vehicles pose a particular risk. This task is tackled by one of BAM's interdisciplinary research groups in the “Complex Fires – Consequences of accidental failure of gas tanks” project.



Foto: Martin Kluge

*Versagen einer
Propangasflasche
durch Unterfeuerung*

*Failure of a
propane cylinder
due to underfiring*



Prüfkörper zur Bestimmung des effektiven Wärmeeintrags durch Unterfeuerung

Test specimen for determining the effective heat input from underfiring

LPG (Liquefied Petroleum Gas), LNG (Liquefied Natural Gas), CNG (Compressed Natural Gas) oder H₂ (Wasserstoff) – diese Bezeichnungen stehen für alternative Treibstoffe. Verunfallt ein Fahrzeug mit solch einer Antriebstechnik und wird dabei der Tank derart beschädigt, dass der Treibstoff austritt, kann das Gas mit der Umgebungsluft eine explosionsfähige Atmosphäre bilden. Auch kommt es immer wieder vor, dass Fahrzeuge in Folge eines Unfalls in Brand geraten. Selbst wenn der Gastank noch intakt ist, wird dieser durch das Feuer erwärmt. Als Folge erhöht sich der Druck im Tank. Sicherheitseinrichtungen wie beispielsweise Überdruckventile lassen den Druck dann gerichtet ab. Sind sie jedoch durch den Unfall derart beschädigt worden, dass eine zielgerichtete Funktionsweise nicht mehr gegeben ist, kann sich der Gastank soweit erwärmen, dass er versagt: Der schlagartig expandierende, teilweise siedende Treibstoff explodiert.

Szenarien, die gar nicht so abwegig sind. Beim Brand eines mit CNG betriebenen Busses im Mai 2003 in Saarbrücken kam es zum Versagen eines Behälters. Dieser durchschlug in der Folge zwei massive Wände. Bei einem weiteren Unfall mit einem umgerüsteten LPG-Fahrzeug im August 2014 in der Nähe von Bad Segeberg wurden zehn Feuerwehr-Einsatzkräfte beim Löschen des Brandes zum Teil schwer verletzt.

„Wir wollen das Verhalten von Treibstoffbehältern unterschiedlicher Materialien, befüllt mit verschiedenen Treibstoffen bei einer Teil- und Vollunterfeuerung systematisch untersuchen. Der Schwerpunkt liegt auf modernen Komposite-Behältern. Dazu planen wir zerstörende Großversuche auf unserem Testgelände Technische Sicherheit“, erklärt Dr.

Martin Kluge, der das Forschungsprojekt koordiniert.

Damit aus den Großversuchen vergleichbare Daten gewonnen werden können, muss zunächst die Unterfeuerungsart validiert werden: Die Höhe des Energieeintrags über einen bestimmten Zeitraum in Abhängigkeit vom Brennstoff (Benzin, Gas, Holz). Dazu hat das Forscherteam einen Flaschen-Dummy über der gewählten Unterfeuerungsart angebracht und ihn während der Befuerung mit Wasser mit einem konstanten Volumenstrom durchströmen lassen. Über die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Auslass und unter Berücksichtigung des Volumenstroms wird der Energieeintrag in den Prüfkörper berechnet. Es zeigt sich, dass zwischen den einzelnen Unterfeuerungsarten deutliche Unterschiede bestehen. So ist der Wärmeeintrag für das verwendete, standardisierte Holzfeuer doppelt so groß wie bei einem Poolfeuer mit 100 Litern Benzin.

Im nächsten Schritt werden 30 handelsübliche, mit 11 kg Propan befüllte Druckbehälter unterfeuert. Damit soll die Reproduzierbarkeit der gewählten Unterfeuerungsmethode überprüft werden. Erst danach stehen verschiedene Treibstoffbehälter, gefüllt mit CNG, LPG und H₂, für den Brandversuch bereit. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über Fragmentbildung, -flugweiten und -impuls fließen ein in Konsequenzbetrachtungen und Maßnahmen zum Schutz der Einsatzkräfte beim Behälterversagen.

Doch damit nicht genug: Untersuchungen zur Bildung von Gaswolken und deren mögliche Detektion mittels unbemanntem Luftfahrzeug (UAV, unmanned aerial vehicle) sind in Vorbereitung. Der Versuchsaufbau besteht aus einem Gestell mit einer



Foto: Martin Kluge

Bestimmung des effektiven Wärmeeintrags durch ein Holzfeuer

Determination of the effective heat input from a wood fire

gasundurchlässigen Umhüllung. Wird diese aus der Ferne mechanisch entriegelt, wird eine definierte Gaswolke mit einem Volumen von mehr als 100 m³ freigegeben. Die Messung der Gaskonzentration erfolgt mit zehn fest installierten hochdynamischen Infrarot-Sensoren. Aufgrund ihrer sehr kurzen Ansprechzeit lässt sich die Gaswolke nahezu in Echtzeit erfassen. Dadurch kann auch das UAV-Messsystem validiert werden, das aus einem robusten Ferndetektor für Methan, einem Laserdistanzmessgerät und einer Weitwinkelkamera besteht.

In einem weiteren Schritt sollen dann die Gaswolken gezündet werden: Temperatur- und Druckwirkung sowie Wärmestrahlung sind hier die besonderen Messgrößen. Aus den ermittelten Werten lassen sich dann Schutzabstände für Personen ableiten.

Die in diesem Forschungsprojekt gewonnenen sicherheitstechnischen Erkenntnisse sollen später in eine Handlungshilfe für Einsatzkräfte von Feuerwehr und Rettungsdienst einfließen.

accident and the tank is damaged in a way that causes the fuel to leak, the gas can form an explosive atmosphere with the ambient air. A vehicle catching fire as a result of an accident also frequently occurs. Even if the gas tank is still intact, it is heated by the fire which increases the internal pressure. Safety equipment such as pressure relief valves can release the pressure in a specific direction, but if they are damaged by the accident in a way that correct functioning is no longer possible, the gas tank can heat up to the point where it fails. The boiling and violently expanding fuel vapour then explodes.

These scenarios are not far-fetched. A bus powered by CNG caught fire in Saarbrücken in May 2003 which led to the failure of one of the gas containers. This subsequently pierced two massive walls. In another unrelated accident, ten fire fighters were seriously injured when extinguishing a burning converted LPG vehicle that caught fire after being involved in an accident near Bad Segeberg in August 2014.

LPG (liquefied petroleum gas), LNG (liquefied natural gas), CNG (compressed natural gas) or H₂ (hydrogen) are all names of alternative fuels. When a vehicle with this type of fuel technology has an

“We want to systematically investigate the behaviour of fuel containers made of different materials and filled with different fuels for the case of partial and total underfiring (fire impingement from

below). The focus is on modern composite containers and we are planning destructive large-scale experiments on our Test Site Technical Safety for this purpose”, explains Dr. Martin Kluge, who coordinates the research project.

In order to obtain comparable data from the large-scale experiments, the type of underfiring first had to be validated for the amount of energy input over a certain time period depending on the fuel (petrol, gas, wood). For this, the research team attached a dummy bottle above the selected underfiring type and passed water through it at a constant flow rate during heating. The energy input into the test specimen was calculated from the temperature difference between inlet and outlet and by taking the volumetric flow rate into account. It can be seen that there are significant differences between the individual underfiring types. As such, the heat input for the standardised wood fire used is twice as high as a fire with 100 litres of petrol in a pool.

In the next step, 30 commercial pressure cylinders filled with 11 kg of propane will be placed above the fire. This is how the reproducibility of the selected underfiring method will be verified. Only later were various fuel containers filled with CNG, LPG and H₂ ready for the fire experiment. The information gathered about fragment formation,

flight distance and impulse will be integrated in consideration of consequences and protection measures to protect rescue forces in cases of container failures.

But that is not all. Investigations into the formation of gas clouds and their possible detection through unmanned aerial vehicles (UAV) are in preparation. The experimental setup consists of a structure with a gas-impermeable envelope. Unlocking this mechanically from a distance releases a defined gas cloud with a volume of more than 100 m³. Ten static high dynamic infrared sensors measure the gas concentration. Due to their very short response time, the gas cloud can be detected in almost real-time. This also enables the validation of the UAV measurement system which consists of a robust remote detector for methane, a laser distance measuring instrument and a wide-angle camera.

The gas clouds will be ignited in the next step: temperature and pressure impacts, as well as heat radiation are the specific measurands in this case. Safety distances for people can be deduced from the values obtained.

Safety technology findings gained from this project should later be integrated into an operational aid for fire brigade and ambulance service rescue forces.

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Martin Kluge

✉ Martin.Kluge@bam.de

2.4 Konstruktiver Brand- und
Explosionsschutz Gase

2.4 Constructive Fire and
Explosion Safety for Gases



GEOPOLYMER-BETON: EIN BAUSTOFF WIRD ÖKO

Beton ist ein Baustoff, dessen Nutzung weltweit unübertroffen ist. Der Bedarf an Beton steigt stetig und parallel dazu auch der von Portlandzement, dem Bindemittel im Beton. Die Zementproduktion verbraucht jedoch beträchtliche natürliche Ressourcen und ist gleichzeitig für einen hohen Ausstoß an Kohlendioxid verantwortlich. Gute Gründe, das Bindemittel zu ersetzen: Geopolymere heißen neuartige Betonbindemittel und Geopolymer-Beton der alternative Baustoff. Stoff genug für Forschung an der BAM.

GEOPOLYMER CONCRETE: A BUILDING MATERIAL GOES ECO

Concrete is a building material that has unrivalled use throughout the world. The demand for concrete is steadily increasing together with Portland cement, which is the concrete binder. However, cement production consumes substantial natural resources and is also responsible for high carbon dioxide emissions. These are good reasons to replace the binder: geopolymers are new concrete binders and geopolymer concrete is the alternative building material. This provides plenty of research material for BAM.

Die Entwicklung alternativer Betonbindemittel erfährt derzeit ihre Renaissance, steigen doch die Kosten für herkömmlichen Zement, aber auch das Umweltbewusstsein in der Bevölkerung. Immerhin werden pro Tonne Zement 0,9 Tonnen Kohlendioxid produziert. Und das Brennen der Ausgangsstoffe zur Herstellung von Zement bei 1450 °C kostet auch viel Energie.

Hier kommen nun Geopolymere ins Spiel. Als feste Bindemittelkomponente wird Steinkohlenflugasche oder Hochofenschlacke eingesetzt; durch Zusatz einer alkalischen Aktivatorlösung, wie beispielsweise einer Natriumsilikatlösung, bildet sich so ein dreidimensionales Polymernetzwerk aus, das dem Beton dann seine Festigkeit verleiht. Seine Bezeich-

nung: Geopolymer-Beton. Für die Netzwerkstruktur der erhärteten Bindemittel steht „polymer“, ihre Ähnlichkeit zur chemischen Struktur natürlich vorkommender Zeolithe beschreibt die Silbe „Geo“ im Doppelwort.

„Geopolymere liefern viele Eigenschaften, mit denen wir Beton aufwerten können. Solch ein Beton ist beständiger gegenüber Salzen, Säuren und hohen Temperaturen als herkömmlicher Beton, zeigt aber immer noch Schwächen beim Schutz der Stahlbewehrung“, erklärt der BAM-Baustoffexperte Dr. Gregor Gluth. „Die Kenntnisse über Geopolymer-Betone reichen noch nicht aus, um diesen Baustoff in allen Anwendungsgebieten sicher verwenden und damit sein Potential mehr ausschöpfen zu können.“



Foto: gih



SELBST BEI HOHEN TEMPERATUREN KEIN ABPLATZEN

In seiner Forschung interessiert sich Gluth sowohl für das Geopolymer-Bindemittel selber als auch für das Zusammenspiel von Geopolymer, Gesteinskörnung und Betonbewehrung. Zusammen mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern von der Curtin University in Perth, Australien, entwickelte Gluth flugaschebasierte, zum Teil hochfeste Geopolymer-Betone und untersuchte sie auf ihr thermomechanisches Verhalten. Das Ergebnis: Komplexes, in verschiedenen Punkten

vom Verhalten konventioneller Betone abweichendes Verhalten. So fällt ihre Steifigkeit und Festigkeit im für den Brandfall kritischen Temperaturbereich oberhalb von ca. 300 °C nur gering ab. Getoppt wird das Verhalten von den Leichtbetonen dieser Art. Bis ca. 600 °C zeigen sie kaum thermische Verformungen. Und auch das Abplatzverhalten, das für Betone aus konventionellen Zementen, insbesondere wenn sie hochfest sind, problematisch ist, ist bei Geopolymer-Betonen ausgezeichnet: Selbst bei schnellem Aufheizen auf 1000 °C zeigen sie keinerlei Abplatzungserscheinungen.

Jahrhunderthalle in Breslau, erbaut aus Stahlbeton von 1911 bis 1913 durch Max Berg. Die Kuppel war mit einer freien Spannweite von 65 Metern Durchmesser zum Zeitpunkt der Fertigstellung im damaligen Deutschland die größte dieser Art.

Century Hall in Breslau, built by Max Berg between 1911 to 1913 from reinforced concrete. The dome with a clear span of 65 metres in diameter was the largest of its kind at the time of its completion in, what was then, Germany.

VERBORGENE KORROSION ERKENNEN

Nahezu alle Betonbauteile sind im Inneren mit Rundstählen, der Bewehrung, versehen. Sie sollen insbesondere die Zugkräfte im Bauteil aufnehmen. Sinkt an der Stahloberfläche der pH-Wert durch Carbonatisierung unter einen kritischen Wert oder steigt die Chloridkonzentration über einen kritischen Wert, korrodiert der Stahl. Ein vollständiges Versagen des Bauteils kann die Folge sein. Wie sich der Eintrag von Kohlendioxid und Chloridionen auf den Geopolymer-Beton und das Korrosionsverhalten des Bewehrungsstahls auswirkt und wo der kritische Grenzwert für den Beginn der Bewehrungskorrosion liegt, untersucht Gluth mit weiteren Kolleginnen und Kollegen in einem Forschungsvorhaben. Mit den Ergebnissen soll die Dauerhaftigkeit von Betonen auf Geopolymerbasis besser eingeschätzt werden können.

RINGVERSUCH: LASSEN SICH NEUE BETONE MIT ALTEN METHODEN BEWERTEN?

In einem Ringversuch der RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) führt die BAM zusammen mit rund 30 teilnehmenden Instituten Dauerhaftigkeitsprüfungen an verschiedenen Geopolymer-Betonen durch. Die Arbeiten schließen Prüfungen des Widerstands gegen Sulfat, Chloride, Carbonatisierung und Frost-Tau-Wechsel ein. Doch die verwendeten Methoden wurden für herkömmliche, Portlandzement-basierte Betone entwickelt.

Sichtbarmachen der Eindringtiefe von Kohlendioxid in Geopolymer-Betone mit einem Indikator

Visualising the penetration depth of carbon dioxide into geopolymer concrete using an indicator

Der Ringversuch soll zeigen, ob diese Prüfmethoden auf Geopolymer-Betone ohne weiteres übertragbar sind und soll Empfehlungen geben für Normen und für die Entwicklung erforderlicher neuer Prüfmethoden.

EIN BINDEMittel, DAS „KONSTRUKTIVEN“ WIDERSTAND LEISTET

Ihr hoher chemischer Widerstand macht die Geopolymere auch zu einem vielversprechenden Bindemittel bei der Instandsetzung von Abwasserbauwerken. Durch mikrobiologische Prozesse im Abwasser wird Schwefelsäure gebildet, die herkömmliche Betone und Mörtel stark angreift. One-Part-Geopolymere beinhaltet das Instandsetzungssystem, das die BAM mit einem Industriepartner entwickelt. Hier liegt der Aktivator in fester Form im Bindemittel vor, so dass zur Erhärtung nur noch Wasser statt einer Aktivatorlösung zugegeben werden muss – ein immenser Vorteil im praktischen Einsatz. Aber wie gut und dauerhaft verbindet sich das Instandsetzungssystem

mit dem Untergrund? Ein befriedigendes Prüfverfahren dazu gibt es noch nicht: Daran forscht Gluth zusammen mit seinem Mitarbeiter und dem Team des Forschungspartners.

The development of alternative concrete binders is currently going through its renaissance because the costs of traditional cement and the population's environmental awareness are increasing. After all, the production of one tonne of cement is accompanied with the production of 0.9 tonnes of carbon dioxide and firing of the source materials for cement production at 1450°C also costs a lot of energy.

This is where geopolymers come into play. Coal fly-ash or blast furnace slag can be used as solid binder components; adding an alkaline activator solution such as a sodium silicate solution forms a three-dimensional polymer network, which lends the concrete its strength. Its name is geopolymer concrete. "Polymer" stands for the network structure of



the hardened binder; the prefix “geo” in the compound word “geopolymer” describes its similarity to the chemical structure of naturally occurring zeolites.

“Geopolymers have many features, which can help improve concrete. Such concrete is more resistant to salts, acids and high temperatures than conventional concrete, but still shows weaknesses in the protection of steel reinforcement”, says BAM building materials expert Dr. Gregor Gluth. “Our knowledge about geopolymer concretes is not yet adequate enough to safely use this building material in all application areas and thus be able to better exploit its potential.”

NO SPALLING EVEN AT HIGH TEMPERATURES

In his research, Gluth is interested in both the geopolymer binder itself as well as the interplay of geopolymer, aggregate and concrete reinforcement. Together with scientists from Curtin University in Perth, Australia, Gluth developed fly-ash based, partly high-strength, geopolymer concretes and investigated their thermomechanical behaviour. The result was a complex behaviour that differs from the behaviour of conventional concretes in various points. Thus, their stiffness and strength decreases only slightly in the temperature range above 300°C, which is critical for fire resistance. The behaviour of lightweight concretes of this type is outperforming, since they show little thermal deformation up to approximately 600°C. The spalling behaviour – which is problematic for concretes made of conventional cements, especially when they have high strength – is also excellent in geopolymer concretes: they show no spalling phenomenon even in the case of a rapid temperature increase to 1000°C.

DETECTING HIDDEN CORROSION

Almost all concrete elements are provided internally with round steel rods called reinforcement bars. Their role in particular is to absorb the tensile forces in the component. The steel corrodes if the pH on the steel surface sinks below a critical value due to carbonation or if the chloride concentration increases above a critical value. This could result in a complete failure of the element. Within the framework of a research project and together with other colleagues, Gluth is investigating how the introduction of carbon dioxide and chloride ions affects the geopolymer concrete and the corrosion behaviour of the reinforcement steel and the point where the critical threshold for the start of reinforcement corrosion is found. The results should help estimate the durability of geopolymer-based concrete much better.

INTERLABORATORY TEST: CAN NEW CONCRETES BE EVALUATED USING OLD METHODS?

In one of RILEM’s (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) interlaboratory tests, BAM and about 30 participating institutions perform durability tests on various geopolymer concretes. The tasks include testing resistance to sulphate, chlorides, carbonation and freeze-thaw cycles. However, the methods applied were developed for conventional Portland cement based concretes. The interlaboratory test aims to show whether these test methods are easily transferable to geopolymer concrete and will make recommendations for appropriate standards and for the development of any necessary new test methods.

A BINDER THAT PROVIDES “CONSTRUCTIVE” RESISTANCE

Due to its high chemical resistance, geopolymer also makes a promising binder for the repair of wastewater facilities. Microbiological processes in wastewater generate sulphuric acid, which strongly affects conventional concretes and mortars. The repair system that BAM develops together with an industrial partner contains a one-part geopolymer. The activator is present in the binder in solid form, which means that hardening only requires water to be added instead of an activator solution – an immense advantage in practical use. But how well and durably does the repair system connect to the substrate? A satisfactory test procedure does not yet exist: Gluth and his colleagues, as well as the research partner’s team are searching for it.



KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Gregor Gluth
✉ Gregor.Gluth@bam.de

S.4 Ökodesign und
Energieverbrauchskennzeichnung
S.4 Ecodesign and Energy
Labelling



THEMENFELD
UMWELT

Wie wir die Wirtschaft ankurbeln?

Indem wir neue umweltschonende Schmierstoffe finden. Synthetische Motorenöle auf Basis von Polyglykolen sparen Treibstoff, sind biologisch schnell abbaubar und belasten den Katalysator und Rußpartikelfilter nicht.



FOCUS AREA
ENVIRONMENT

How do we boost the industry?

By finding new environmentally friendly lubricants. Synthetic engine oils based on polyglycols save fuel, can be quickly biodegraded and do not pollute exhaust catalytic converters or soot particle filters.

THEMENFELD UMWELT

FOCUS AREA ENVIRONMENT

Wirtschaftliches Wachstum fördern, dabei Ressourcen schonen und ökologische Schutzziele einhalten – das leitet unsere Aktivitäten im Themenfeld Umwelt. Ein Schwerpunkt sind Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit neuer Materialien und Stoffe sowie zur Schädigung und Alterung von Produkten und technischen Systemen durch Umwelteinflüsse. Wir tragen dazu bei, dass Sicherheitsaspekte berücksichtigt werden und dass von neuen, innovativen Produkten keine Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeht.

Promoting economic growth, while conserving resources and meeting environmental protection targets guides our activities in the focus area Environment. One focus is the investigation of environmental compatibility of new materials and substances and environmental impacts causing damage to and aging of products and technical systems. We contribute towards ensuring that safety aspects are taken into account and new, innovative products do not create a risk to humans and the environment.

TIEEEEF DURCHATMEN

Die Luft im Außenbereich ist mit Grenzwerten klar geregelt. Im Innenraum ist dies noch nicht der Fall, weil das der Privatsphäre zugerechnet wird. Die BAM unterstützt die Politik bei der Entwicklung von nationalen und internationalen Normen, damit Produkte möglichst wenig Schadstoffe in die Innenluft abgeben. Dazu entwickelt die BAM neue Prüfmethode und Emissionsgrenzen, die von anerkannten Prüfinstituten weltweit angewendet werden. Der „Blaue Engel“ ist nur ein wichtiges Umweltzeichen, dessen Vergaberichtlinien seit vielen Jahren auch von der BAM mit erarbeitet und weiterentwickelt werden.

TAKE A DEEEP BREATH

The outside air quality is regulated according to clear limits. However, they do not apply indoors because that is attributed to the private sphere. BAM supports the policy through the development of national and international standards so that products emit the least amount of pollutants possible into indoor air. For this purpose, BAM is developing new test methods and emission limits that are being applied by recognised testing institutes worldwide. The “Blue Angel” is an important environmental label and BAM has also been co-developing and revising its award directives for many years.



Foto: cl

Der Klimawandel ist in aller Munde. Ob bei der Herstellung von Produkten oder beim Heizen von Wohnraum: Der Fokus liegt darauf, möglichst viel Kohlendioxid einzusparen. So soll mit der Umset-

zung der EU-Richtlinie 2010/31/EU die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erhöht werden. Eine wesentliche Maßnahme ist die energetische Optimierung von Neu- und Bestandsbauten, wozu auch

gedämmte und luftdichte Gebäudehüllen gehören. Doch dadurch wird der frühere natürliche Luftaustausch über das schlecht schließende Fenster oder die verzogene Außentür drastisch reduziert. Luftschadstoffe, wie flüchtige organische Verbindungen, Partikel und Aerosole, aber auch Radon und seine Folgeprodukte, um nur einige zu nennen, die von Bauprodukten, Möbeln oder elektronischen Geräten abgegeben werden, werden dadurch nicht mehr „von alleine weggelüftet“. Sie können sich so in der Raumluft anreichern. Doch die meisten von uns verbringen den ganzen Tag in Innenräumen. Sicher, eine Klimaanlage oder raumlufttechnische Anlage, wie sie im Fachjargon bezeichnet wird, könnte die freie, natürliche Lüftung ersetzen. Doch das ist besonders bei der Sanierung von Bestandsgebäuden schwer zu realisieren, energetisch aufwändig und auch nur als Sekundärmaßnahme anzusehen, wenn es darum geht, die Luftschadstoffe zu entfernen.

Daher sollten erst gar nicht solche Materialien, die zu viel Schadstoffe emittieren, wie beispielsweise Farben, Lacke, Putze, Dichtmassen, Dämmstoffe, Bodenbeläge, Verlegewerkstoffe verbaut sowie Produkte, wie Möbel, Drucker oder Kopierer, verwendet werden. Um aber überhaupt zu wissen, welche Stoffe in welchen Mengen und Zeiträumen freigesetzt werden, entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im BAM-Fachbereich 4.2 Materialien und Luftschadstoffe zuverlässige Messmethoden. Mit Hilfe diverser Emissionsmesskammern und Gasanalysemethoden können sie die definierte und reproduzierbare Freisetzung der Schadstoffe in die Luft unter praxisnahen Bedingungen qualitativ und quantitativ bestimmen. Dabei interessieren sie sich vor allem für die flüchtigen organischen Verbindungen, auch als VOC – Volatile Organic Compounds – bezeichnet. Hierzu führt die BAM auch regelmäßig internationale Ringversuche durch und arbeitet an der Entwicklung von VOC-Emissions-Referenzmaterialien.

BLAUER ENGEL – EIN UMWELTSIEGEL FÜR EMISSIONSARME PRODUKTE

Auch hilft Vorsorge und Verbraucherinformation – ein wichtiges Werkzeug dafür ist der „Blaue Engel“, ein national wie international geschätztes Umweltzeichen, welches vom Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (RAL) im Auftrag des Umweltbundesamts für gesundheitsschonende Produkte mit besonders geringer Umweltbelastung verliehen wird. Dieses Siegel kann von Produktherstellern auf freiwilliger Basis beantragt werden.

Der „Blaue Engel“ bietet den gesundheitsbewussten Konsumenten eine Orientierungs- und Entscheidungshilfe und gibt Herstellern einen wichtigen Anreiz für Produktverbesserungen. Die Vergaberichtlinien, die dieser Auszeichnung zugrunde liegen, werden seit vielen Jahren auch von der BAM mit erarbeitet und weiterentwickelt. Mittlerweile gibt es Vergaberichtlinien für 12 unterschiedliche Produktgruppen, die eine Auswahl zwischen vielen tausend als emissionsarm gekennzeichneten Produkten erlaubt.

SCHADSTOFFARME PRODUKTE IN GANZ EUROPA

Auch in Brüssel arbeitet man an einer schadstoffarmen Innenraumluft. Deswegen soll die VOC-Bestimmung zu einem gesundheitsbezogenen Produktmerkmal der europäisch harmonisierten Normen werden. Dies dient der Umsetzung der EU-Bauproduktenverordnung 2011/305/EU. Die damit gekoppelte notwendige Prüfnorm, die mit dem EU-Mandat M/366 unter wesentlicher Beteiligung der BAM erarbeitet und überprüft wurde, liegt bereits als E DIN EN 16516 vor. So sollen in den nächsten Jahren alle Bauproduktennormen um die Produkteigenschaft „Emissionsverhalten“ ergänzt werden. Zukünftig CE-gekennzeichnete Produkte werden dann hinsichtlich ihrer VOC-Emissionen sicher sein.

Aber auch zur Bestimmung der Freisetzung von besonders leicht flüchtigen organischen Verbindungen – sogenannter VVOC oder Very Volatile Organic Compounds, Fein- und Ultrafeinpartikeln, Geruchsstoffen, Ozon, Radon und weiteren Verbindungen forschen die Expertinnen und Experten der BAM an geeigneten Messverfahren, stets unter Nutzung ihrer Emissionsmesskammern. Immerhin ist die Begrenzung der Freisetzung natürlichen Radons in Innenräumen – auch aus Bauprodukten – durch die EU-Basic Safety Standards (BSS 2013/59/EU-RATOM) gefordert und muss national umgesetzt werden.

Und noch einen Schritt weiter gehen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM: Sie wollen luftreinigende Eigenschaften von Produkten untersuchen. Dazu werden die genannten Schadstoffe definiert künstlich in der Luft erzeugt und dann deren Abreicherung bestimmt. Die Wirksamkeit des Schadstoffabbaus gilt es hier nachzuweisen. Doch auf keinen Fall dürfen unerwünschte zusätzliche Emissionen oder gar neue – möglicherweise gefährlichere – Sekundäremissionen entstehen. Man denke da beispielsweise nur an ozonisierende

Luft-„Reiniger“, die einer Luft-„Sanierung“ vollständig entgegenwirken würde.

Climate change is a widely discussed topic. Whether in the production of products or heating the living room: the focus is on reducing carbon dioxide as much as possible. Implementation of the EU Directive 2010/31/EU aims to increase the overall energy efficiency of buildings. A key measure is the energy optimisation of new and existing buildings, which includes insulated and airtight building envelopes. However, this drastically reduces the natural air exchange previously facilitated by badly sealed windows or warped outer doors. Air pollutants, such as volatile organic compounds, particles and aerosols, as well as radon and its decay products (to name just a few) that are emitted from building products, furniture or electronic equipment are no longer “flushed out automatically”. Thus, they can accumulate in the indoor air. Yet most of us spend all day indoors. It is true that air conditioning or building ventilation systems, as the specialist jargon calls it, can replace free, natural air. But this is difficult to achieve especially in the renovation of existing buildings. Energy wise, it is costly and should only count as a secondary measure for removing pollutants.

Therefore, materials that emit too many pollutants, such as paints, varnishes, plasters, sealants, insulation materials, floor coverings, floor installation products and products such as furniture, printers or copiers should not be used at all. BAM scientists in the 4.2 Materials and Air Pollutants Division are devising reliable measurement methods in order to know which substances are released, how much and over what periods. Various emission test chambers and gas analysis methods enable the assessment, both qualitatively and quantitatively, of the specified and reproducible release of pollutants into the air under practical conditions. The scientists are mainly interested in volatile organic compounds also known as VOCs. BAM also carries out regular international inter-laboratory tests on the topic and is working on the development of VOC emission reference materials.

BLUE ANGEL – AN ENVIRONMENTAL LABEL FOR LOW-EMISSION PRODUCTS

Precautionary and consumer information are also helpful: the “Blue Angel” is an important tool for this – a nationally and internationally valued envi-



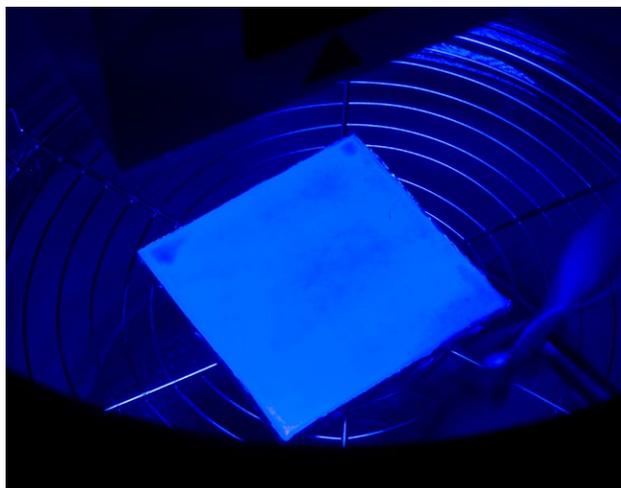
ronmental label awarded by the German Institute for Quality Assurance and Certification registered society (RAL) on behalf of the German Environment Agency to health-friendly products with very low environmental impact. This seal can be requested by product manufacturers on a voluntary basis. The “Blue Angel” offers advice and guidance to health-conscious consumers and gives manufacturers an important incentive for product improvements. The award directives at the foundations of this distinction have been co-developed and revised

Dr. Birte Mull untersucht inwieweit mit Katalysatoren beschichtete Fliesen Schadstoffe photokatalytisch abbauen

Dr. Birte Mull investigates the extent to which catalyst-coated tiles can photocatalytically degrade pollutants

Eine Fliese, beschichtet mit einem Katalysator, der Schadstoffe in der Luft unter der Bestrahlung mit sichtbarem Licht (hier blau) abbauen soll

A catalyst-coated tile that is supposed to degrade airborne pollutants under visible light irradiation (here blue is used)



by BAM for many years. Meanwhile, there are award directives for 12 different product groups, which allow a good choice between thousands of low-emission labelled products.

LOW-EMISSION PRODUCTS THROUGHOUT EUROPE

Brussels is also working on an indoor air low in pollutants. Therefore, the determination of VOCs should become a health-related product feature of harmonised European standards. This contributes to the implementation of the EU Construction Products Regulation 2011/305/EU. The required testing standard, which BAM helped extensively to develop and test under the EU mandate M/366, is already available as E DIN EN 16516. As a result, all construction product standards will be amended under the “emission behaviour” product characteristic over the next few years. Products marked with CE in future will be safe with regard to their VOC emissions.

BAM experts are also researching suitable measurement methods by always using their emission test chambers to determine the release of very volatile organic compounds – so-called VVOCs, fine and ultrafine particles, odours, ozone, radon and other compounds. After all, the limit on the release of natural radon indoors – even from building products – is required by the EU Basic Safety Standards (BSS 2013/59/EURATOM) and must be implemented nationally.

BAM researchers are going one step further: they want to examine the air-purifying properties of products. For this purpose, the listed pollutants are released into the air followed by the determination of their depletion. The effectiveness of the pollutant decomposition must be proved by evidence. However, unwanted additional emissions or even new – potentially dangerous – secondary emissions must not occur under any circumstances. An example: ozonising air “cleaner” that would completely counteract air “rehabilitation”.

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Oliver Jann

✉ Oliver.Jann@bam.de

4.2 Materialien und Luftschadstoffe

4.2 Materials and Air Pollutants



Foto: Michael Danner



Foto: cl

GESUNDES WOHNEN DURCH ÖKO-INNOVATIVE BAUWEISEN

Entwicklung neuer Bauelemente für Wohnbauten unter Berücksichtigung von
Umwelt- und Energieaspekten

HEALTHY LIVING THROUGH ECO-INNOVATIVE CONSTRUCTION METHODS

Developing new components for residential buildings, taking into account
environmental and energy considerations

Sichere, energieeffiziente und gleichzeitig bezahlbare Materialien für den Wohnungsbau zur Schaffung eines gesünderen Raumklimas – nur frommer Wunsch oder machbar? Diese Frage stellten sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM als es darum ging, einem Aufruf der Europäischen Kommission zu internationaler Zusammenarbeit zu folgen. Hintergrund ist die im Zusammenhang mit niederenergetischen Bau- und Wohnweisen oft beobachtete Verschlechterung der Raumluftqualität in Gebäuden durch die Anreicherung von Feuchtigkeit und Schadstoffen. Die Ursache ist eine extrem niedrige Luftaustauschrate in den Gebäuden als Folge luftdicht ausgeführter Fassaden und der weitestgehenden Vermeidung von „Zwangslüftung“ durch Öffnen der Fenster, was einen Energieverlust verhindern soll. Dadurch ausgelöste Erkrankungen bei den Bewohnern werden als „Sick Building Syndrome“ bezeichnet.

Die BAM beteiligt sich mit der Abteilung 7 Bauwerkssicherheit und der Abteilung 4 Material und Umwelt in interdisziplinärer Zusammenarbeit an dem von der EU geförderten Projekt H-HOUSE (Healthier Life with Eco-innovative Components for Housing Constructions, www.h-house-project.eu). In diesem Projekt werden multifunktionale und flexible Komponenten für die Gebäudehülle und für Innenwände entwickelt. Sie sollen mit einem geringeren Energiebedarf und mit einem niedrigeren Kohlendioxid-Ausstoß im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen hergestellt werden und sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung einsetzbar sein. Prinzipien des Ökodesigns auf Basis von nachhaltigen Architekturkonzepten und Lebenszyklus-

analysen unterstützen die Arbeit des internationalen Forscherteams.

Die Neu- bzw. Weiterentwicklungen auf der Materialebene umfassen neben Lehmbaustoffen oder Holzfaserkompositen für den Innenausbau auch Textilfaserbeton (TFB), Schaumbeton (FC), Porenbeton (AAC) und Ultrahochleistungsbeton (UHPC) für die Gebäudehülle. Diese Vielzahl an unterschiedlichen Werkstoffen wird in innovativen Bauelementen mit höchstmöglichem Vorfertigungsgrad miteinander kombiniert.

Im Mittelpunkt der Materialentwicklung an der BAM steht die dauerhafte Funktionalisierung der UHPC-Oberflächen durch chemisch-physikalische Modifizierung. Beispielsweise lässt sich durch Mikrostrukturierung und gleichzeitige chemische Hydrophobierung die bekannte Selbstreinigung der Lotuspflanze imitieren. „Möglich ist dies durch die besonderen Eigenschaften des UHPC, die es erlauben, beliebige Mikrostrukturen fehlerfrei abzuformen“, sagt Dr. Patrick Fontana aus dem BAM-Fachbereich 7.1 Baustoffe. Wenn Regentropfen auf diese superhydrophoben Betonoberflächen fallen, rollen sie sehr leicht ab und nehmen dabei Schmutzpartikel auf. Dieser Effekt verhindert die Ansammlung von Schmutz und kann das Wachstum von Organismen hemmen. Die BAM hat ein Patent über eine innovative Technik zur Schaffung solcher selbstreinigenden Betonoberflächen angemeldet.

Tatsächlich beinhalten die Attribute „sicher“, „energieeffizient“ und „bezahlbar“ so gut wie alle Anforderungen, die heute an einen modernen

*Wassertropfen auf
superhydrophober
UHPC-Oberfläche*

*Water drops on a
superhydrophobic
UHPC surface*



Halb Sandwich für Instandsetzung Half panel for renovation

- 1 Innenschale: Stahlbeton
Inner layer: Original standard concrete
- 2 Isolierung: Porenbeton/Schaumbeton
Insulation layer: AFC or AAC
- 3 Außen: UHPC/TFB (funktionalisiert)
Outer layer: TRC or UHPC (functionalized)

Sandwich-Element UHPC/Porenbeton Sandwich panels UHPC/AAC

- 1 Innenschale: UHPC
Inner layer: UHPC
- 2 Isolierung: Porenbeton
Insulation layer: AAC
- 3 Außen: UHPC mit funktionalisierter Oberfläche
Outer layer: Surface functionalized UHPC

Sandwich-Element UHPC/Schaumbeton oder TFB/Schaumbeton Sandwich panels TRC or UHPC/AFC

- 1 Innen: UHPC/TFB
Inner layer: TRC or UHPC
- 2 Isolierung: Aerogel-Schaumbeton
Insulation layer: Aerogel-foam concrete composite (AFC)
- 3 Außen: UHPC/TFB mit funktionalisierter Oberfläche
Outer layer: Surface functionalized TRC or UHPC
- 4 Innen:
Inner finish: functional earthen board

Innenwände aus Lehm/Holz-Kompositen Earth-wood composite partition wall

- 1 Innenschale: Holzrahmen mit natürlicher Dämmung
Inner layer: Wood frame with cellulose infill
- 2 Isolierung: Lehm- oder Gipsplatte
Insulation layer: Earthen board
- 3 Außen: Funktionalisierter Lehmputz
Outer layer: Functionalized earthen plaster



Baustoff gestellt werden. Für die Verbraucherin und den Verbraucher zählt letztendlich ein günstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis. Höhere Sicherheit oder Energieeffizienz müssen in der Regel „teuer erkaufte“ werden. Höhere Kosten werden aber nur dann akzeptiert, wenn sie sich in möglichst kurzer Zeit amortisieren. Detaillierte Lebenszyklenkostenanalysen dauern noch an. „Wir erwarten aber, dass der höhere Anschaffungspreis für die qualitativ hochwertigen Fassadenelemente in Kompositbauweise durch erhöhte Dauerhaftigkeit, geringere Instandhaltungskosten und höhere Energieeffizienz ausgeglichen werden“, so Fontana. Kürzere Bauzeiten tragen zusätzlich dazu bei: Die wärmedämmten Komposit-Elemente können in einem Arbeitsgang an der Fassade befestigt werden, während herkömmlicherweise zwei Arbeitsschritte benötigt werden, wenn Wärmedämmung und Fassadenbekleidung angebracht werden müssen.

Safe, energy-efficient and at the same time affordable building materials to create a healthier indoor environment – wishful thinking or feasible? BAM scientists asked themselves this question when they

needed to respond to the European Commission’s call for international cooperation. The background is the deterioration of indoor air quality due to the accumulation of moisture and pollutants that is often seen as being linked to low-energy construction and modern lifestyles. The cause is an extremely low air exchange rate in buildings as a result of airtight envelopes and avoiding “forced ventilation” by opening the window, which is intended to prevent energy loss. The disorder this triggers among inhabitants is called “sick building syndrome”.

BAM’s Department 7 Safety of Structures and Department 4 Materials and Environment are participating in an interdisciplinary cooperation in the EU-funded H-HOUSE project (Healthier Life with Eco-innovative Components for Housing Construction (www.h-house.project.de)). This project is developing multifunctional and flexible components for building envelopes and interior walls. They should be produced with lower energy consumption and lower carbon dioxide emissions compared to conventional construction methods and should be applicable in both old and new buildings. Ecodesign principles based on the concepts of sustainable

architecture and life cycle analysis support the work of the international research team.

New and on-going developments at the material level include not only earthen building materials or wood fibre composites for interior design but also textile-reinforced concrete (TRC), foam concrete (FC), autoclaved aerated concrete (AAC) and ultra-high performance concrete (UHPC) for building envelopes. These many different materials are combined in innovative components for the highest possible level of prefabrication.

The focus of material development at BAM is the lasting functionalisation of UHPC surfaces through chemico-physical modification. For example, the well-known self-cleaning ability of the lotus plant can be mimicked by micro-structuring and simultaneous chemical water-repellence. "This is made possible by the special properties of UHPC that allow any microstructure to be flawlessly created", says Dr. Patrick Fontana from BAM Division 7.1 Building Materials. When raindrops fall on this superhydrophobic concrete surface, they roll off easily and also remove dirt particles. This effect prevents the accumulation of dirt and can inhibit the growth

of organisms. BAM has applied for a patent on an innovative technology for the creation of such self-cleaning concrete surfaces.

Indeed, the attributes "safe", "energy-efficient" and "affordable" are as good as all the current requirements for a modern building material. At the end of the day, consumers ultimately look for a favourable cost/benefit ratio. Increased safety and energy efficiency usually cost a lot. However, higher costs are only accepted if they recoup in the shortest possible time. Detailed lifecycle cost analyses are still ongoing, "but we expect that the higher purchase prices of high-quality façade elements in composite construction are compensated by increased durability, lower maintenance costs and higher energy efficiency", says Fontana. Shorter construction periods are also a contributing factor: thermally insulated composite elements can be attached to the façade in a single operation, while conventional methods require two steps when attaching thermal insulation and façade cladding.

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Patrick Fontana

✉ Patrick.Fontana@bam.de

7.1 Baustoffe

7.1. Building Materials



MESSEN, WO HITZE ALLES ZERSTÖRT: CHEMISCHE ONLINE-ANALYSE FÜR HOCHTEMPERATURPROZESSE

Die Gewinnung von metallischen Werkstoffen ist immer verbunden mit hohen Prozesstemperaturen. Aber auch die Abtrennung von Schadstoffen aus Stoffgemischen kann durch thermochemische Verfahren erfolgen. Eine effiziente Prozessregelung erfordert zeitnahe Analyseergebnisse. Prozesstemperaturen von über 1000 °C erschweren die Analyse immens. Online-Analyseverfahren müssen dafür entwickelt und optimiert werden. Die wissenschaftliche Expertise der BAM ist hier gefragt.

MEASURING, WHERE HEAT DESTROYS EVERYTHING: CHEMICAL ONLINE ANALYSIS FOR HIGH-TEMPERATURE PROCESSES

The extraction of metallic materials is always associated with high process temperatures. However, thermochemical processes can accomplish the separation of contaminants from substance mixtures. An efficient process control requires real-time results analysis. However, process temperatures of over 1000°C complicate the analysis immensely. Online analysis processes must be developed and optimised, which requires BAM's scientific expertise.

In metallurgischen Verfahren werden Metalloxide chemisch zum Metall umgewandelt. Dies erfolgt bei Temperaturen von meist über 1400 °C. Aus wirtschaftlichem Interesse ist man bestrebt, einen möglichst großen Anteil der Metalloxide in die metallische Form zu überführen. Eine Überdosierung des eingesetzten Reduktionsmittels kann neben den zusätzlichen Kosten durch dessen zu hohen Verbrauch auch die Qualität der abgeschiedenen Metallphase mindern. Genaue Kenntnisse des Reaktionsfortschrittes sind essentiell für eine optimale Prozessgestaltung. Das spart Zeit und Geld. Eine Kontrolle der Metallgehalte in der Schmelzphase ist

daher wichtig. Die chemische Analyse von solchen Hochtemperaturschmelzen stellt allerdings aufgrund der hohen Prozesstemperaturen nach wie vor eine Herausforderung dar.

Herkömmliche und weit verbreitete Analysemethoden wie die Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA) bieten in ihren mobilen Varianten zwar die Möglichkeit einer Vor-Ort-Analyse, sie können jedoch nicht bei hohen Temperaturen oder gar an schmelzflüssigen Systemen eingesetzt werden. Hier müssen zuerst Proben aus dem Schmelzbad entnommen, abgekühlt und oft entsprechend aufbereitet werden.



Für eine Prozessregelung ist diese Analysenmethode daher zu ungenau und vor allem zu langsam. Daher haben sich Dr. Christian Adam, Leiter des Fachbereiches 4.4 Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung, und sein Mitarbeiter Dr. Burkart Adamczyk für die Laser Induzierte Breakdown Spectroscopy (LIBS) entschieden. Diese Methode nutzt einen gepulsten hochenergetischen Laser, der an der Oberfläche eines Werkstoffes einen geringen Teil des Materials in einen Plasmazustand überführt. Die elementspezifischen Spektralemissionen werden durch einen Detektor erfasst und qualitativ sowie quantitativ ausgewertet. Die Methode ist unabhängig vom Aggregatzustand, arbeitet kontinuierlich und berührungsfrei. Durch Verwendung optischer Hilfsmittel, wie Linsen und Spiegel, wird ein genügend großer Abstand des Messsystems zur heißen Schmelze eingehalten, ohne einen Verlust an Messdaten.

Adam und Adamczyk arbeiteten mit einer Modellschmelze, die wie eine typische Stahlwerkschlacke zusammengesetzt war und aus CaO , SiO_2 , MgO und Al_2O_3 bestand. Durch Zugabe verschiedener Komponenten zu dieser „Matrixschmelze“ konnten die beiden Wissenschaftler im kleintechnischen Lichtbogenofen der BAM das Potential der Methode aufzeigen. So stimmten die online erhaltenen Daten für Manganoxid (MnO) recht gut überein mit den Analysen der entsprechenden Löffelproben aus dem Schmelzbad. Abweichungen ergaben sich

unter anderem aus der Begrenzung der Methode auf die Schmelzbadoberfläche. Diese enthält oft bereits erstarrte Bereiche oder Ansammlungen von noch nicht oder nicht vollständig aufgeschmolzenen Materialzugaben. Die Folge: Oberfläche und schmelzflüssige Phase können eine unterschiedliche Zusammensetzung aufweisen. Dieses Messproblem kann aber entschärft werden durch verstärkte Konvektion des Schmelzbades oder Nutzung einer Messlanze, die in die Schmelze eingetaucht wird.

Aber auch bei der Aufbereitung von Klärschlammaschen kann LIBS zur Prozessanalyse eingesetzt werden. So nutzt Dr. Markus Ostermann aus dem BAM-Fachbereich 1.4 Prozessanalytik LIBS, kombiniert mit RFA für seine Forschung. Mit einem in der BAM entwickelten thermochemischen Verfahren werden Phosphate aus Klärschlammaschen in pflanzenverfügbare Verbindungen überführt und gleichzeitig die Schwermetallkonzentration verringert. Die dazu erforderlichen Temperaturen liegen zwischen 800 °C bis 1000 °C . Mit dem Verfahren kann der Phosphor für die Kreislaufwirtschaft nutzbar gemacht werden. Und wenn die Grenzwerte der Düngemittelverordnung erfüllt sind, steht dem Einsatz als Dünger auf dem Feld und im Garten nichts entgegen.

Ein wichtiges Forschungsthema, denn Phosphor ist eine nicht erneuerbare Ressource. Der weltweite Abbau von Rohphosphaten dient zu 90 % der



Entnahme einer Löffelprobe aus einer Mineralschmelze zur Kalibrierung des elektrischen Lichtbogenofens

Taking a spoon sample from a molten pool of mineral to calibrate an electric arc furnace

Düngemittelproduktion. Wann es zu Versorgungsschwierigkeiten kommen könnte, ist in der Fachwelt so umstritten wie kaum eine andere Frage und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Sicher ist, dass Europa über keine nennenswerten Reserven verfügt und dadurch vollständig vom Weltmarkt abhängig ist. Klärschlammaschen aus deutschen Monoverbrennungsanlagen können 13 % Phosphor enthalten. Daraus zurückgewonnener Phosphor kann einen erheblichen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. So entwickelte, baute und bewertete das Forscherteam um Ostermann ein Labormuster eines Analysesystems zur kontinuierlichen, quantitativen Messung der Leitelemente Phosphor, Zink, Kupfer und Blei sowie weiterer Elemente. Natürlich wurde das Labormuster unter industrienahen Umgebungsbedingungen über einen längeren Zeitraum getestet. Das Fazit der Forschergruppe: RFA und LIBS sind für Elementanalysen gut geeignet und ergänzen sich sogar. Es lässt sich die Schwäche der einen durch die jeweilige Stärke der anderen Methode kompensieren.

LIBS ist besonders für die Messung leichter Elemente geeignet und ermöglicht damit auch die sichere Analyse sehr leichter Elemente wie Magnesium. Enthalten die Proben viele schwere Elemente (speziell Eisen), sind die LIBS-Spektren sehr linienreich. Spektrale Überlagerungen können

die Folge sein und so die quantitative Analyse in ihrer Güte beeinträchtigen. Daher kommt für schwere Elemente die RFA zum Einsatz. „Hier galt es zunächst den RFA-Messkopf an den Prozess der thermischen Behandlung von Klärschlammaschen in unserem Drehrohrofen anzupassen“, sagt Ostermann. „Keine einfache Aufgabe. Temperatur, Staub, erhöhte Konzentration von teils aggressiven Säuredämpfen und Gasströmen stellen hohe Anforderungen an das Messsystem“, so Ostermann weiter.

Doch technisch wie analytisch läuft das System. Eine validierte und richtige Analytik ist sichergestellt – auch infolge der hierfür entwickelten BAM-Referenzanalytik für Klärschlammaschen. Und noch eins: Das System ist übertragbar auf andere prozess-analytische Anwendungen. So könnten Elementzusammensetzungen von Erzen, Baustoffen und aufbereiteten Abbruchmaterialien, Recyclingprodukten, Elektroschrott oder Aschen verschiedener Verbrennungsprozesse damit ebenfalls untersucht werden.

In metallurgical processes, metal oxides are chemically converted to metals. This is usually carried out at temperatures above 1400°C. Out of economic interest, the aim is to transform the largest possible proportion of metal oxides into their metallic

form. Aside from the additional cost associated with an excessive consumption, an overdose of the applied reduction agent can also reduce the quality of the separated metal phase. Precise knowledge of the reaction progress is essential for optimal processing which saves time and money. Checking the metal content in the melt phase is therefore important, however, the chemical analysis of such high-temperature melts continues to be a challenge due to the high process temperatures.

While conventional and widespread analysis methods such as X-ray fluorescence analysis (XRF) offer the opportunity for on-site analysis through their mobile variants, they cannot be used in high temperatures or molten systems. In such cases, samples must first be collected from the molten pool, cooled down and often processed. This analysis method is therefore too imprecise and, above all, too slow for process control. This is why Dr. Christian Adam, head of the 4.4 Thermochemical Residues Treatment and Resource Recovery Division and his colleague Dr. Burkart Adamczyk chose Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). This method uses a pulsed high-energy laser which transforms a small portion of the substance on the surface of a material into a plasma state. The element-specific spectral emissions are captured by a detector that evaluates them qualitatively and quantitatively. The method is independent of the physical state, operates continuously and is contactless. The use of optical aids such as lenses and mirrors helps maintain a sufficiently large distance between the measuring system and the hot melt without losing measurement data.

Adam and Adamczyk worked on a model melt of a typical steelworks slag composition consisting of CaO, SiO₂, MgO and Al₂O₃. By adding various components to this “matrix melt”, the two scientists could show the potential of the method in BAM’s small-scale electric arc furnace. The data collected online for manganese oxide (MnO) corresponded fairly accurately to the analysis of the respective spoon samples from the molten pool. Discrepancies arose, in part, due to the limitation of the method to the melt surface, which often contains areas already solidified or accumulations of un-melted or incompletely melted material additions. As a result, the surface and molten phase can have a different composition. This measurement problem can be mitigated by an increased convection of the molten pool or by immersing a substance in the melt.

LIBS can also be used for the process analysis of sewage sludge ash. Dr. Markus Ostermann from BAM’s 1.4 Process Analytical Technology Division uses LIBS combined with XRF for his research. A thermochemical process developed by BAM enables the conversion of phosphates from sewage sludge ash into compounds that are accessible to plants while reducing the concentration of heavy metals. The required temperatures are between 800°C and 1000°C. The

process makes phosphorus available to circular economy. Furthermore, nothing prevents it being applied as fertiliser on fields or in the garden once the thresholds of the fertiliser regulation are met.

This is an important research topic since phosphorus is a non-renewable resource. 90% of the world’s phosphate production is used in fertiliser production. The moment when supply problems might occur is the most disputed question among experts and depends on various factors. The fact is that Europe has no significant reserves and is therefore completely dependent on the world market. Sewage sludge ash from German mono-combustion plants may contain up to 13% of phosphorus and the recovered phosphorus can make a significant contribution to the security of supply. Ostermann and his research team developed, built and evaluated a laboratory model of an analysis system for the continuous, quantitative measurement of the key elements phosphorus, zinc, copper and lead as well as other elements. Of course, the laboratory model was tested over a long period under industry-like environmental conditions. The conclusion of the research group is: XRF and LIBS are well suited for element analysis and even complement each other. The weakness of one method is compensated

by the respective strength of the other.

LIBS is particularly suited for the measurement of light elements and thus also enables the reliable analysis of very light elements such as magnesium. If the samples contain many heavy elements (especially iron), LIBS spectra are very line-rich. Spectral overlays can ensue and affect the quality of the quantitative analysis, which is why XRF is used for heavy elements. “The XRF measuring head first had to be adapted to the thermal treatment process of sewage sludge ash in our rotary kiln”, says Ostermann. “This was not an easy task. Temperature, dust, increased concentration of partially aggressive acid fumes and gas flows greatly affected the measurement system”, says Ostermann.

However, the system is running well technically and analytically. A validated and correct analysis is ensured – also as a result of the reference analysis method for sewage sludge ash developed by BAM. And one more thing: the system is transferable to other process analytical applications, and element compositions of ores, building materials and processed demolition materials, recycled products, electronic waste or ash of various combustion processes can also be analysed.

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Christian Adam

✉ Christian.Adam@bam.de

4.4 Thermochemische Reststoffbehandlung
und Wertstoffrückgewinnung

4.4 Thermochemical Residues Treatment
and Resource Recovery

Dr. rer. nat. Markus Ostermann

✉ Markus.Ostermann@bam.de

1.4 Prozessanalytik

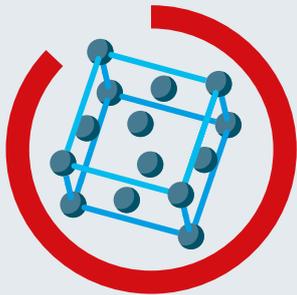
1.4 Process Analytical Technology



Foto: Michael Danner







THEMENFELD
MATERIAL

FOCUS AREA
MATERIALS

Wie wir Ausfälle vermeiden?

Indem wir nicht vor schwierigen Aufgaben einknicken.

Wir erforschen die Ursachen von Schäden an Konstruktionen und passen das Regelwerk für die Zukunft an.

How do we avoid failures?

*By not giving in when faced with difficult tasks.
We investigate the cause of damage to structures
and adapt the regulations for the future.*

THEMENFELD MATERIAL

FOCUS AREA MATERIALS

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind essenzielle Schlüsseltechnologien einer modernen Industriegesellschaft und bilden die klassische Kernkompetenz der BAM. Materialien, Stoffe und Werkstoffe bestimmen Eigenschaften, Funktionalität, Qualität und Sicherheit von Produkten. Unsere Aktivitäten im Themenfeld Material konzentrieren sich auf Fragen ihrer Charakterisierung, Nutzungsdauer, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit. Wir verfügen seit Jahrzehnten über eine ausgewiesene Kompetenz im Bereich Materialforschung und -prüfung und setzen diese interdisziplinär in allen Themenfeldern ein.

Materials science and materials engineering are key technologies in a modern industrial society and represent BAM's conventional core competence. Materials and substances determine the essential properties, functionality, quality and safety of products. Our activities in the focus area Materials are directed at issues of service life, reliability and sustainability where we have decades of proven expertise in materials research and testing. This expertise is then implemented across all disciplines throughout all focus areas.

SCHÄDIGUNGSMECHANISMUS VERSTEHEN: SCHWINGUNGS- RISSKORROSION VON WELLENWERKSTOFFEN

Anlagen zur Gewinnung von Öl und Gas sollen möglichst lange beständig sein und sicher betrieben werden. Für den Transport der unbehandelten Fördergemische aus festen, flüssigen und gasförmigen Medien – oft mit Wasser vermischt – zu den Verarbeitungsanlagen werden Multiphasenpumpen vermehrt eingesetzt. Doch die werden extrem hoch belastet. Häufige Folge: Versagen von Pumpenkomponenten infolge von Schwingungsrissskorrosion. Die Klärung der Schadensmechanismen und ein weiterführendes Verständnis der Abläufe bei der Schwingungsrissskorrosion in wässrigen Medien ist ein Forschungsthema an der BAM.

UNDERSTANDING DAMAGE MECHANISMS: CORROSION FATIGUE OF SHAFT MATERIALS

Oil and gas production facilities must be robust and able to operate safely as long as possible. Multiphase pumps are being increasingly used to transport untreated mixtures of solid, liquid and gaseous media – often mixed with water – to the processing plants. But they are exposed to extremely high loads and pump component failure due to corrosion fatigue is a common consequence. The clarification of damage mechanisms and a deeper understanding of the processes involved in corrosion fatigue in aqueous media is a topic that BAM is researching exhaustively.

Sollen Gemische aus Feststoff, Flüssigkeit und Gas gefördert werden, kommen Multiphasenpumpen zum Einsatz. Die Wellen dieser Pumpen sind oft aus martensitischen ausscheidungshärtenden Chromstählen gefertigt. Sie sind extrem hohen und wechselnden mechanischen sowie Korrosions- und Temperaturbelastungen ausgesetzt. So müssen sie Temperaturen bis zu 200 °C, Drücken bis 200 bar und oft auch wässrigen Umgebungsmedien mit hohem Salzgehalt und geringem pH-Wert dauerhaft

standhalten. Expertinnen und Experten diskutieren daher über die Verwendung von Duplexstählen als Wellenwerkstoffe für diese Pumpen. Doch zur Entwicklung neuer, hochleistungsfähiger Komponenten aus diesen speziellen Stahlwerkstoffen fehlt es immer noch am Verständnis des Schadensmechanismus und am geeigneten Prüfverfahren, dieses zu erlangen. Denn: Die eingesetzten Werkstoffe müssen auch im Labor unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden können. Aber wie? Ein



Forschungsthema mit dem sich Marcus Wolf aus dem BAM-Fachbereich 9.1 Betriebsfestigkeit und Bauteilsicherheit wissenschaftlich auseinandersetzt.

EIGENENTWICKLUNG: EINE KORROSIONSKAMMER FÜR REALITÄTSNAHE WERKSTOFFPRÜFUNG IM LABOR

In Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin untersuchte Wolf die Schwingfestigkeit eines üblichen Duplexstahls X2 CrNiMoN 22-5-3 (1.4462) unter zusätzlicher korrosiver Belastung. Und zwar bezüglich der ertragbaren Anzahl von Schwingspielen bezogen auf die mechanische Spannungsamplitude, wobei ein Schwingspiel einer Periode entspricht. Duplexstähle bestehen aus einem ferritschen-austenitischen Gefüge, bei dem die beiden Gefügeanteile in etwa gleichen Anteilen vorliegen. Dadurch verbindet er die hohe Festigkeit ferritischer Chromstähle mit der Korrosionsbeständigkeit austenitischer Chromnickelstähle. Doch bevor die Experimente beginnen konnten, mussten erst geeignete Prüfeinrichtungen konstruiert werden, mit denen die unterschiedlichen mechanischen Belastungsarten – Umlaufbiege- und

Zug-/Druckbelastung – unter korrosiven Bedingungen untersucht werden können. Jede Belastungsart erfordert ihre spezielle Korrosionskammer, welche auf der Probe montiert wird. Als korrosives Medium wählte Wolf einen salzhaltigen Elektrolyten entsprechend den Grundwässern aus den tiefen Schichten des Norddeutschen Tieflandes. Dieser Elektrolyt, aufgeheizt auf 96 °C, wird in die Korrosionskammer gepumpt, in der er das Probestück vollständig umspült.

ELEKTRISCHE ISOLIERUNG FÜR VERGLEICHBARE MESSERGEBNISSE

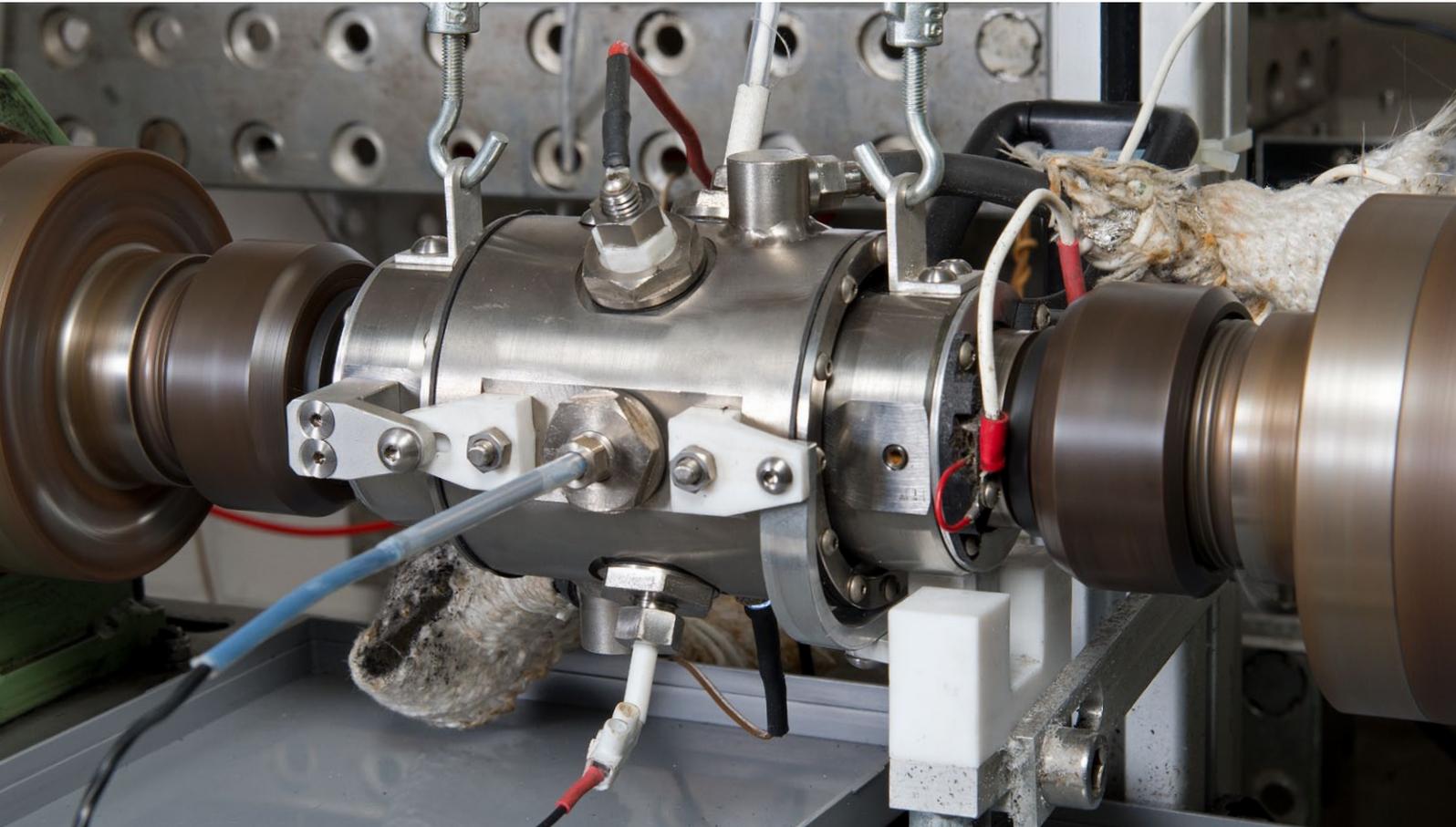
In den Versuchsreihen untersuchte Wolf zunächst den Einfluss des elektrischen Potentials der Probe gegenüber der Prüfmaschine. Denn das ist abhängig von den in der Prüfmaschine verbauten Materialien, und die sind von Maschine zu Maschine verschieden. Stichwort ist hier die elektrochemische Spannungsreihe der Metalle. Seine Versuche zeigten, dass der Einfluss des elektrischen Potentials auf die Schwingfestigkeit sehr groß sein kann. Dieser Einfluss muss aber ausgeschlossen werden, damit die Messergebnisse zwischen verschiedenen Maschinen

vergleichbar sind. Abhilfe schaffte eine elektrische Isolierung: Alle Proben wurden daher nur mit einer von der Prüfmaschine elektrisch isolierten Einspannung untersucht.

SCHWINGFESTIGKEIT EINES WERKSTOFFS UNTER ZUSÄTZLICHEM KORROSIONSEINFLUSS

Die Schwingfestigkeit eines Werkstoffs wird üblicherweise in Wöhlerkurven dargestellt. Hierfür wird die Probe zyklisch einer sinusförmigen Belas-

Wolf ließ die Versuche nun unter zusätzlichem Korrosionseinfluss – also mit Elektrolyten – laufen, bis ein Versagen durch Bruch oder Anriss der Probe eintrat oder die festgelegte Schwingspielzahl von zehn Millionen erreicht wurde. Dabei wurden die Versuche unter freiem Korrosionspotential durchgeführt. Sprich: Das elektrische Potential stellte sich selbstständig zwischen Probe und Elektrolyt ein. Hier wurde ein deutlicher Rückgang der ertragbaren Schwingspiele im Vergleich zu den Versuchen ohne Elektrolyt beobachtet. Und der war für die beiden Belastungsarten auch noch unterschiedlich stark. So sank die Schwingfestigkeit durch Zug-/



Korrosionskammer für Umlaufbiegeversuche zur Untersuchung der Korrosions-schwingfestigkeit von Duplex-Stahl

Corrosion chamber for rotating bending tests to investigate the corrosion fatigue strength of duplex steel

tungs-Zeit-Funktion unterworfen. Die von außen aufbrachten Kräfte erzeugen in der Probe eine mechanische Spannung. Und diese Spannung wird als Funktion der Schwingspielzahl beschrieben.

Druckbelastung stärker als durch Umlaufbiegebelastung. Wolf führt dies auf die Relativgeschwindigkeit zwischen Probe und Elektrolyten zurück. Der Elektrolyt strömt beim Versuch mit konstanter Geschwindigkeit durch die Korrosionskammer. Während bei Versuchen unter Zug-/Druckbelastung eine nahezu laminare Strömung auf die Probenoberfläche auftrifft, entwickelt sich bei Umlaufbiegebelastung, aufgrund der Rotation der Probe, eine turbulente Strömung. Dadurch werden im Vergleich zur laminaren Strömung die chemischen Reaktionen, die zur Korrosion führen, verlangsamt.

Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops (REM) erkannte der Wissenschaftler dann, dass die Risse stets in Kombination mit Lochkorrosion auftraten. Bei der Lochkorrosion wird die Oberfläche des Stahls punktuell angegriffen. Es entstehen kraterartige Vertiefungen, die in das Material wachsen. Weiterführende Untersuchungen und Schlifffbilder der Schädigungsstellen ergaben, dass bevorzugt die austenitische Phase des Duplexstahls angegriffen wird, und zwar sowohl im Korrosionsloch als auch im Rissinneren. Wie schnell die Lochkorrosion wächst, hängt ab von Temperatur, pH-Wert oder Chloridkonzentration.

VERMEIDUNG VON KORROSION UNTERHALB EINES KRITISCHEN POTENTIALS

Aber was passiert, wenn nun von außen ein elektrisches Potential angelegt wird? Gibt es kritische Potentiale, unterhalb derer Korrosionserscheinungen gegebenenfalls vermieden werden können? Um das herauszufinden, führte der Wissenschaftler Schwingversuche mit Elektrolyt bei konstanten mechanischen Spannungsamplituden, aber verschiedenen elektrischen Potentialen durch, die während eines Versuchs konstant blieben. Dabei beobachtete er, dass eine Verschiebung des Potentials in den kathodischen Bereich die Schwingfestigkeit des Werkstoffs signifikant erhöht, und das unabhängig von der Belastungsart (Druck/Zug oder Umlaufbiegung). Folglich bestimmt hier das angelegte Potential die Korrosionsgeschwindigkeit.

Jedoch besteht durch das Anlegen eines kathodischen Potentials mit zunehmend negativen elektrischen Spannungen die Gefahr, dass Wasserstoff, der durch Elektrolyse von Wasser als Bestandteil des Elektrolyten entsteht, in das Gefüge hineindiffundiert. Als Folge davon werden die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs herabgesetzt. Ob dies langfristig vermieden werden kann, müssen weitere Messungen zeigen. Doch sicherlich sind die ersten Ergebnisse ein guter Ansatz für einen verbesserten Schutz hochbeanspruchter Wellenwerkstoffe von Multiphasenpumpen.

Multiphase pumps are used to transport mixtures of solid, liquid and gas. The shafts of these pumps are often made from martensitic precipitation-hardening chromium steels because they are exposed to extremely high and changing mechanical, corrosion and temperature loads. They have to

permanently withstand temperatures of up to 200°C, pressures of up to 200 bar and often a high-salinity and low-pH aqueous ambient media. Experts therefore discuss the use of duplex steels as shaft materials for these pumps. However, we still do not properly understand the failure mechanism of high-performance components made from these special steel materials and appropriate test methods needed for developing these materials are not available either. The materials to be used must be tested in the laboratory under realistic conditions. But how? This is what Marcus Wolf from the BAM 9.1 Service Loading Fatigue and Structural Integrity Division would like to find out in his research.

IN-HOUSE DEVELOPMENT: A CORROSION CHAMBER FOR REALISTIC MATERIAL TESTING IN THE LABORATORY

In cooperation with the Berlin University of Applied Sciences for Engineering and Economics, Wolf examined the fatigue strength of a conventional duplex steel X2 CrNiMoN 22-5-3 (1.4462) under additional corrosive effects. He measured the tolerable number of load cycles as a function of the mechanical stress amplitude where a load cycle corresponds to one period. Duplex steels are composed of a ferritic-austenitic microstructure, with the two components in approximately equal proportions. Duplex steel thus combines ferritic chromium steels' high strength with austenitic nickel-chromium steels' corrosion resistance. But before the experiments could begin, a suitable test rig had to be built to investigate the various mechanical load types – rotating bending and tensile/compressive loads under corrosive conditions. Each load type requires its special corrosion chamber mounted to the specimen. Wolf chose a saline electrolyte as a corrosive medium that represents the deep-layer groundwater of the North German Lowland. This electrolyte, heated to 96°C, is pumped into the corrosion chamber where it completely surrounds the specimen.

ELECTRICAL INSULATION FOR COMPARABLE MEASUREMENT RESULTS

In the test series Wolf first investigated the influence of the sample's electric potential against the test machine. This investigation was necessary because the electrochemical potential depends on



Markus Wolf befüllt das Kammer-system mit dem Elektrolyten

Markus Wolf fills the chamber system with some electrolyte

FATIGUE STRENGTH OF A MATERIAL UNDER THE INFLUENCE OF ADDITIONAL CORROSION LOADS

The fatigue strength of a material is usually presented in S/N curves. For this purpose, the sample is subjected to a cyclic sinusoidal load as a function of time. External forces applied create a mechanical stress in the sample, which is described as a function of load cycle number.

Wolf then ran further tests under the influence of additional corrosion loads – i.e. adding electrolytes – until failure by fracture or incipient cracks in the sample occurred, or the specified number of ten million load cycles was achieved. The tests were performed under open circuit potential i.e. the electric potential between sample and electrolyte adjusted itself independently. Here a significant decrease in tolerable load cycles was observed compared to the tests without an electrolyte. In addition, the decrease for the two types of load was different: the decrease in fatigue strength of the tensile/compressive load was greater than that of the rotating bending load. Wolf attributes this phenomenon to the relative flow velocity between the sample and the electrolyte. The electrolyte flows at a constant velocity through the corrosion chamber. In tests under a tensile/compressive load a virtually laminar flow develops at the sample surface, but rotating bending loads lead to a turbulent flow due to the sample's rotation. Thus chemical reactions that cause corrosion slow down when rotating bending loads are applied compared to a laminar flow.

the materials used to build the test machine and is therefore different from machine to machine. The keyword here is the electrochemical series of metals. Wolf's experiments showed that the influence of the electric potential on fatigue strength could be very large. However, this influence must be excluded to ensure that the test results produced by different machines are comparable. The problem was solved by electrical insulation: all samples were tested using a clamp that was electrically insulated from the test machine.

Using a scanning electron microscope (SEM) Wolf detected that cracks always occurred in combination with pitting. Pitting damages points of the steel surface and creates crater-like depressions that develop into the specimen. Further investigations and polished sections of damaged sites revealed that it was the austenitic phase of the duplex steel where damage chiefly occurs both in corrosion pitting and within cracks. Corrosion pitting growth rate depends on temperature, pH and chloride concentration.



Primäre Korrosion der austenitischen Phase (hell) entlang der Rissflanken, Probe im Längsschliff

Primary corrosion of the austenitic phase (light) along the crack edges. Sample from a longitudinal section

AVOIDANCE OF CORROSION BELOW A CRITICAL POTENTIAL

But what if an external electric potential is applied? Are there critical potentials below which corrosion can be avoided? To find out, Wolf conducted cyclic tests in an electrolyte applying constant stress amplitudes but different electric potentials that remained constant during the same test. He found that a shift of the potential into the cathodic range significantly increased the material's fatigue strength regardless of load type (compression/tension or rotating bending load). It follows that the potential applied determines the corrosion rate.

However, applying a cathodic potential with increasing negative voltages raises the risk that hydrogen as a component of an electrolyte produced by electrolysis of water can diffuse into the specimen. As a result, the material's mechanical properties are impaired. Further measurements will decide whether this can be avoided over the long term, but certainly, the initial results have provided a good approach towards better protection for highly stressed shaft materials of multiphase pumps.

KONTAKT/CONTACT

M.Sc. Marcus Wolf

✉ Marcus.Wolf@bam.de

9.1 Betriebsfestigkeit und Bauteilsicherheit

9.1 Service Loading Fatigue and Structural Integrity



DER FEINE UNTERSCHIED ZUR NORMALEN METALLWERKSTATT

In der Forschung der BAM spielen wissenschaftliche Geräte eine wichtige Rolle. Deren Güte entscheidet auch über die Qualität der Messergebnisse, und die wiederum über den Erfolg des Forschungsprojekts. Immer komplexere Geräte werden erforderlich. Doch für höchste Präzision braucht es hochgenaue High-end-Maschinen und hervorragend ausgebildete Fachkräfte mit viel Erfahrung, Geschick und Kreativität: Beides hat die BAM.

THE SUBTLE DIFFERENCE TO A NORMAL METAL WORKSHOP

Scientific devices play an important role in BAM's research. Their quality also determines the quality of the measurement results, and in turn, the success of research projects. Increasingly complex devices are required all the time. But maximum precision requires extremely precise high-end equipment and highly trained experts with lots of experience, skill and creativity: BAM has all of them.



Entsprechend ihren Erfordernissen modernisiert die Zentralwerkstatt der BAM unter der Leitung von Dipl.-Ing. Lutz Zimne ihren Maschinenpark. Seit gut einem Jahr ist in seinem Fachbereich 9.2 Versuchsanlagen und Prüftechnik eine CNC-5-Achs-Fräsmaschine, gekoppelt mit einem ULTRASONIC-HSK-Aktorsystem im Einsatz. Es handelt sich um eine High-end-Maschine für die Andreas Börner, Industriemeister Metall, verantwortlich ist. Fräsen, Drehen, Schleifen, aber vor all dem steht das Programmieren. Denn: Die Prozessdaten muss Börner, angepasst an das zu fertigende Werkstück, selbst entwickeln. Drehzahl, Schnitttiefe oder Winkel der Schleifscheibe sind nur einige Bearbeitungsparameter, die vorher korrekt ermittelt werden müssen, um die Fertigung prozesssicher und reproduzierbar umsetzen zu können. Alle Prozessdaten werden dann in einer Datenbank gespeichert. So wächst stetig das Wissen des ganzen Teams.

ANDREAS BÖRNER, WAS IST DAS BESONDERE AN DER NEUEN FRÄS-MASCHINE?

Mit der ULTRASONIC können wir nun hartspröde, also schwer zerspannbare Werkstoffe wie beispielsweise Keramik, Glas, Korund, Niobcarbid sauber bearbeiten. Aber auch von den neuen Werkstoffen, wie Faserverbund- oder Komposite-Werkstoffe, können wir mit höchster Genauigkeit Material abtragen.

Das Bearbeitungsprinzip beruht auf der Überlagerung von Bewegungen. Die Werkzeugrotation wird mit Ultraschallschwingungen in axialer Richtung kombiniert. Diese Überlagerung bietet eine effiziente zusätzliche Komponente für den Materialabtrag mit deutlich reduzierten Prozesskräften. Und das wiederum führt zu deutlich weniger Mikrorissen oder Kantenausbrüchen im Bauteil. Damit können wir extrem dünne Schichten abtragen oder sprödharte und dünnwandige Strukturen fertigen.

... EIN BEISPIEL?

Momentan stelle ich mit der ULTRASONIC spezielle keramische Federn für den BAM-Fachbereich 5.5 Technische Keramik her. Weltweit bietet der Markt solche Federn nicht an. In einem BMBF-Verbundforschungsprojekt sollen kapazitive keramische Federsensoren für neuartige Gravimeter entwickelt werden, um damit Versetzungen in der Erdkruste beobachten zu können. Dazu untersucht

Keramikfedern aus Aluminium-Oxid

Ceramic springs made of alumina

die BAM, ob sich Keramik grundsätzlich als Werkstoff für die Feder eignet. Die Feder muss langzeitstabil sein. Auch nach jahrelangen mechanischen und thermischen Belastungen sollten sich die elastischen Eigenschaften des keramischen Federkörpers nicht ändern. Damit unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Federn durch ihre Untersuchungen genau bewerten können, müssen wir sie hochpräzise fertigen.

Die Federn haben einen Durchmesser von 19 mm und eine Länge von 30 mm. Wir fertigen sie mit einem Windungsabstand von 0,4 mm bei einer Steigung von 1,5 mm. Um das zu erreichen, haben wir vorab eine Versuchsreihe mit sechs verschiedenen Diamantscheiben mit unterschiedlicher Korngröße, Kornform und Kornbindung durchgeführt. Denn jede Diamantkörnung liefert ein anderes Ergebnis bei der Oberflächenbearbeitung. Die Güte der Oberflächen und die Maßhaltigkeit überprüfen wir mit Hilfe eines Mikroskops.

Aber auch für die Einspannung der Federn in der ULTRASONIC haben wir eine Lösung entwickelt: Hartwachs. Wir füllen das Keramikrohr zu Beginn mit Wachs. Das Wachs haftet an der Keramik. Damit bleiben die Gänge während der Bearbeitung in Position. Nur so können wir die Federn hochpräzise fertigen. Am Ende muss das Wachs natürlich wieder entfernt werden. Dazu nutzen wir einen Ofen und weitere Reinigungsverfahren. Zum Schluss werden alle Prozessdaten von jeder Feder in jeweils einem Bericht dokumentiert.

IST INDUSTRIE 4.0 BEI IHNEN AUCH SCHON EIN WICHTIGER ASPEKT?

Die Automatisierung geht voran und ist sicher an vielen Stellen sehr hilfreich. Da sind wir am Ball und halten uns ständig auf dem Laufenden. Allerdings können das Konzept und die Idee „Industrie 4.0“ bei



uns nur bedingt funktionieren. Dem Grundsatz nach sollen in einer Smart Factory Produktionsmaschinen untereinander vernetzt kommunizieren und autark die Prozesse steuern. Da wir aber überwiegend an Prototypen, Einzelteilen und unwiederbringlichen Probenmaterialien arbeiten, halten wir das Heft lieber selbst in der Hand und nutzen das Knowhow und die

Erfahrung unserer gut ausgebildeten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das soll nicht heißen, dass die IT-Technik keinen Einzug bei uns gehalten hat, ganz im Gegenteil: Wir arbeiten mit CAD-CAM-Systemen, Programmierplätzen und sind in der Lage, Daten und Programme zwischen vernetzten Maschinen unter Nutzung sämtlicher hauseigener IT-Angebote weiterzu-

geben. Die teilweise recht umfassend generierten Maschinenprogramme und Messdaten werden natürlich auf Servern gesichert. Die modernen digitalen Technologien erleichtern uns unsere Arbeit erheblich und lassen uns Bauteile fertigen, von denen wir vor 10 Jahren nur träumen durften.



*Andreas Börner,
Industriemeister
Metall, an der CNC-
5-Achsfräsmaschine*

*Andreas Börner,
metalworking
foreman, operates
the CNC 5-axis milling
machine*

BAM's central workshop headed by Dipl.-Ing. Lutz Zimne modernises its machinery according to their requirements. For over a year, a CNC 5-axis milling machine coupled with an ULTRASONIC HSK actuator system has been used in the 9.2 Testing Devices and Equipment Division. It is a high-end machine for which Andreas Börner, metalworking foreman, is responsible. Milling, turning,

grinding, but above all programming are the key issues, after all, Börner himself must develop the process data adjusted to the workpiece that is to be produced. Speed, cutting depth or grinding wheel angle are just a few machining parameters that must be determined correctly beforehand in order to perform the manufacturing process in a reliable and reproducible way. All process data are then stored

in a database. Thus the whole team's knowledge is steadily growing.

ANDREAS BÖRNER, WHAT IS SO SPECIAL ABOUT THE NEW MILLING MACHINE?

Now the ULTRASONIC enables us to cleanly machine hard and brittle

KONTAKT/CONTACT

Dipl.-Ing. Lutz Zimne

✉ Lutz.Zimne@bam.de

9.2 Versuchsanlagen und
Prüftechnik

9.2 Testing Devices and
Equipment

Foto: Michael Danner



materials i.e. those difficult-to-machine materials such as ceramics, glass, corundum and niobium carbide. But we can also remove material layers from new materials such as fibre composites or composite materials with high precision.

The machining principle is based on the superposition of motions: tool rotation is combined with ultrasonic vibrations in an axial direction. This superposition provides an efficient additional component for material removal with significantly reduced process forces. And that in turn results in significantly fewer microcracks or chipped edges in the workpiece. Thus we can remove extremely thin layers and produce hard-brittle and thin-walled structures.

... ANY EXAMPLE?

Currently, I am making special ceramic springs using the ULTRASONIC for BAM's 5.5 Advanced Technical Ceramics Division. Such springs are totally unavailable on the world's markets. In a BMBF integrated research programme, capacitive ceramic spring sensors need to be developed for new gravimeters in order to observe dislocations in the Earth's crust. BAM is investigating whether ceramic is suitable as spring

material, which must have long-term stability: the elastic properties of the ceramic spring body must not change even over years of mechanical and thermal stresses. Therefore, we need to manufacture the springs with high precision to ensure that our scientists can accurately evaluate them in their investigations.

The springs have a diameter of 19 mm and a length of 30 mm. We manufacture them with a coil distance of 0.4 mm and a pitch of 1.5 mm. To achieve this, we have carried out a series of preliminary tests using six different diamond discs with different grain size, grain shape and grain binding. Each diamond grain generates different results regarding surface treatment. We check the quality of the surfaces and dimensional size accuracy using a microscope.

We have also developed a solution for clamping the springs in the ULTRASONIC: we use hard wax. We fill a ceramic tube with wax at the start and this adheres to the ceramic ensuring the windings remain in position during machining. This is the only way to manufacture high-precision springs. The wax of course must be removed at the end for which we use an oven and other cleaning methods. Finally, all process parameters of each spring are recorded in a report.

IS INDUSTRY 4.0 ALREADY AN IMPORTANT ASPECT FOR YOU?

Automation goes ahead and is definitely very helpful in many places. We follow the developments all the time and keep ourselves constantly up to date. However, the concept and idea of "Industry 4.0" only work for us to a limited extent. According to that principle, production machines in a smart factory should communicate with each other through a network and autonomously control the processes. But since we mainly manufacture prototypes, individual parts and irreplaceable sample materials, we prefer being in control and using the expertise and experience of our highly trained staff. This does not mean however that IT technology is not useful in our field, on the contrary: we are working with CAD-CAM systems, programming stations and are capable of passing all data and programme between networked machines using all in-house IT. Some of the machine programme and data are rather extensive, so of course they are backed up on our servers. Modern digital technologies therefore help us considerably in our work and enable us to manufacture components the like of which we could only dream of 10 years ago.

FUNKTIONSKERAMIK FÜR SICHERE SCHALTUNGSTRÄGER

Sie werden immer kleiner, können immer mehr und sind dabei auch noch robust: moderne elektronische Geräte. Möglich wird das auch durch den Einsatz besonderer Funktionskeramiken. Glaskeramische Verbundwerkstoffe, auch als low temperature co-fired ceramics bezeichnet oder kurz LTCC, gehören dazu. Und auch in der BAM ist LTCC ein großes Forschungsthema. Die Weiterentwicklung dieser Technologie in Richtung Multimaterial-Schichtverbunde aus verschiedenen Funktionskeramiken sowie die Entwicklung von Prozessinnovationen, mit der neue Bauteilkonzepte umgesetzt werden können, stehen bei der BAM im Vordergrund.



FUNCTIONAL CERAMICS FOR SAFE CIRCUIT BOARDS

Modern electronic devices are becoming smaller, their performance is improving and they are also robust – special functional ceramics make all this possible. Glass ceramic composites, also known as low temperature co-fired ceramics or, in short LTCC, is one of BAM's major research topics. The research focuses on the further development of this technology towards multi-layer composite materials made from various functional ceramics as well as the development of process innovations to implement new component concepts.

Moderne elektronische Geräte verblüffen mit einer erstaunlichen Funktionsvielfalt bei immer schlanker werdenden Designs und Bauformen. Mit einem handelsüblichen Smartphone kann der Nutzer mit einem drahtlosen Netzwerk (WLAN) verbunden sein und gleichzeitig ein Mobilfunkgespräch über ein Bluetooth-Headset führen. Das Gerät, das dazu die verschiedensten Hochfrequenzsignale senden, empfangen und auswerten muss, ist nebenbei auch noch eine brauchbare Digitalkamera und passt trotzdem noch in jede Hosentasche. Wie ist diese beeindruckende Funktionsintegration in ein Endgerät mit der Größe einer Tafel Schokolade möglich?

Natürlich tragen die Fortschritte der Halbleitertechnologie und die Entwicklung immer leistungsfähigerer integrierter Schaltkreise erheblich dazu

Dünnschichttechniken, wenn es um Miniaturisierung und Kostenoptimierung geht. Sollen Schaltungsträger unter aggressiven Bedingungen (Druck, Temperatur, umgebende Medien) eingesetzt werden, sind LTCC-Module allerdings alternativlos. In der Satellitenkommunikation, der Luft- und Raumfahrttechnik oder in sicherheitsrelevanten Systemen im Kraftfahrzeugbau finden sie Einsatz.

HAUCHDÜNNE KERAMIKFOLIEN ALS TRÄGERMATERIAL FÜR DEHNUNGSMESSTREIFEN

Es klingt schon ein wenig „verrückt“, mit spröder Keramik Dehnungen von Materialien messen zu wollen. Hier führen die Wissenschaftlerinnen und



bei. Ein wesentlicher Anteil ist aber auch der Aufbau- und Verbindungstechnik zuzuschreiben. Zur Einhausung der wenige Millimeter großen Module, die sämtliche Funktionalitäten zum Senden und Empfangen von Bluetooth- und WLAN-Signalen im Smartphone enthalten können, werden besondere Funktionskeramiken und eine spezielle Fertigungstechnik eingesetzt. Glaskeramische Verbundwerkstoffe, sogenannte low temperature co-fired ceramics (LTCC), werden über Folien- und Multilayer-Technologie zu mehrlagigen Schaltungsträgern mit innenliegenden Leiterbahnen und passiven Bauelementen verarbeitet. So entstehen platzsparende, zuverlässige Module. Dennoch erfährt die LTCC-Technologie starke Konkurrenz durch moderne Leiterplatten-Technologien und

Wissenschaftler von der BAM und weiteren vier Verbundpartnern die Technik an ihre Grenzen. In einem BMBF-Vorhaben (Bundesministerium für Bildung und Forschung) hat das Forscherteam ein Verfahren entwickelt, mit dem dünne LTCC-Träger nacharbeitsfrei mit dünnfilmfähiger Oberflächenqualität wölbungsfrei und ohne Schrumpfung in der Ebene hergestellt werden können.

Der Reihe nach: Um mit einem spröden Trägermaterial Dehnung messen zu können, muss es hauchdünn sein. Und damit auf der Oberfläche dieser bis zu 50 µm dünnen Träger der Dünnschichtsensor zur Dehnungsmessung aufgebracht werden kann, muss diese richtig präpariert sein, denn ein Schleifen oder Polieren ist bei diesen geringen Materialdicken

nicht möglich. Eine Aufgabe von Dr. Björn Mieller aus dem Fachbereich 5.5 Technische Keramik. Mieller musste daher das Sinterverfahren, das ist der thermische Prozess, bei dem die Glas- und Keramikpartikel in der Folie zu einem monolithischen Werkstoff sich verdichten, weiterentwickeln. Die Lösung: druckunterstützte Sinterung unter Stickstoffatmosphäre mit einem Pressstempel aus poliertem, glasartigem Kohlenstoff. Die Druckunterstützung hemmt einerseits die mit der Verdichtung einhergehende Schrumpfung in der Folienebene. Übermaße müssen damit nicht eingerechnet werden. Andererseits wird eine Verwölbung des sehr dünnen und damit flexiblen Keramikträgers verhindert. Und der Pressstempel lässt sich nach dem Prozess leicht vom gesinterten Keramikträger trennen. Bei geeigneter Prozessführung entsteht eine sehr glatte Oberfläche mit einer mittleren Rautiefe kleiner 100 nm. Darauf kann beispielsweise ein hoch dehnungsempfindlicher Dünnschichtresistor aus amorphem Kohlenstoff mit nanoskaligen

Dehnmessstreifen auf Polymerfolien nicht standhalten.

Zugegeben, die Herstellung dünner, flexibler Trägermaterialien ist sicher eine eher exotische Anwendung der LTCC-Technologie. Aber die daraus gewonnenen Kenntnisse lassen sich auch auf weitere Projekte übertragen.

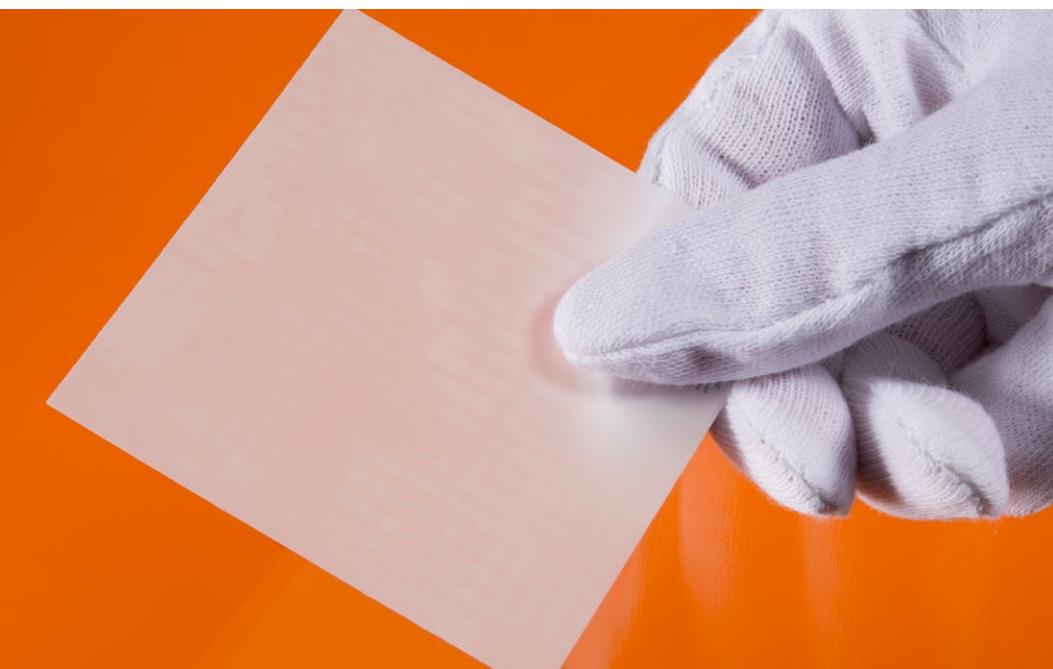
„Wir forschen derzeit hauptsächlich an Kombinationen von Funktionskeramiken für hochintegrierte Multimaterial-Schichtverbunde. So lassen sich beispielsweise robuste, monolithische Kondensatoren oder Transformatoren darstellen. Eine besondere Herausforderung ist die Kombination von mehr als zwei Funktionskeramiken in einem Schichtverbund. Dazu ist das genaue Verständnis des Sinterverhaltens der beteiligten Werkstoffe unbedingt erforderlich“, erklärt Mieller.

Modellierungsansätze für kombinierte Funktionskeramiken sind hier gefordert, mit denen der Einfluss

rechnet werden können. Eine Vielzahl verschiedener Szenarien muss simuliert werden, damit die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM die Sinter- und Keramikeigenschaften von kombinierten Funktionskeramiken ausreichend verstehen.

Modern electronic devices baffle us with an amazing variety of functions in ever-slimmer designs and component forms. Using a commercially available smartphone, the user can be connected to a wireless network (WiFi) and simultaneously conduct a mobile conversation over a Bluetooth headset. The device that sends, receives and evaluates a variety of high-frequency signals also happens to be a viable digital camera and still fits into anyone's pocket. How is this impressive functional integration possible in a terminal device the size of a bar of chocolate?

Of course the progress of semiconductor technology and the development



Hochdünne Keramikfolie als Trägermaterial für hochempfindliche Dehnungssensoren

Paper-thin ceramic foils as carrier media for highly sensitive strain gauges

Nickelpartikeln aufgebracht werden. Die keramischen Dehnungssensoren werden für hochempfindliche Drucksensoren von einem Industriepartner genutzt, die bei Temperaturen und Umgebungsbedingungen eingesetzt werden können, denen herkömmliche

von Heizgeschwindigkeit und Druck auf die Sinterung von LTCC, die Schrumpfungsdifferenzen in den verschiedenen Schichten eines kombinierten Schichtverbundes bei druckloser Sinterung oder die Verdichtung von Folienstapeln unter Druck vorausbe-

of ever more powerful integrated circuits contribute significantly to this success. However, a substantial part of the achievement is attributable to the interconnect and packaging technology. Special functional ceramics and a unique manufacturing process are

applied to create the housing of a few-millimetre thick module that contains all the functionalities of sending and receiving Bluetooth and WiFi signals in the smartphone. LTCCs are processed into multilayer circuit boards with internal conductors and passive components using tape casting and multilayer technology to create space-saving and reliable modules. Nevertheless, LTCC technology faces strong competition from modern PCB technologies and thin-film techniques when it comes to miniaturisation and cost optimisation. However, there is no alternative to LTCC modules if circuit boards need to be used under aggressive pressure, temperature and ambient media conditions. These are primarily used in satellite communication, aviation, aerospace engineering and in motor vehicle safety systems.

PAPER-THIN CERAMIC FOILS AS CARRIER MEDIA FOR STRAIN GAUGES

It sounds a bit „crazy“ trying to use brittle ceramics to measure strain in materials. BAM scientists and four other research partners are pushing technology to its limits: in a BMBF (Federal Ministry of Education and Research) project, they have developed a process that can produce LTCC carriers with a thin film surface quality without planar shrinkage and without the need for after-processing.

But let us take one thing after another. A brittle carrier must be extremely thin to be suitable for strain measurement. The surface of the up to 50 µm-thin carrier must be prepared correctly so that the strain measuring thin-film can be applied since grinding or polishing is not feasible at these extremely small dimensions. This is a task for Dr. Björn Mieller from the 5.5 Advanced Technical Ceramics Division. He had to further develop the sintering process – a thermal process in which glass and ceramic particles in the tape are condensed to a monolithic material. The answer for his efforts was pressure-assisted sintering under a nitrogen atmosphere using a press die made of polished vitreous carbon. On the one hand, pressure support inhibits shrinkage in the tape plane due to densification; therefore excess material is not needed, while on the other hand, warping of the very thin and flexible ceramic carrier is also prevented. The press die made of vitreous carbon can easily be separated from the sintered ceramic carrier after the process. Suitable process control provides a very smooth surface with an average roughness of below 100 nm. Then, for example, a highly strain-sensitive thin-film resistor of amorphous carbon with nanoscale nickel particles can be deposited on it. An industrial partner now uses ceramic strain sensors for highly sensitive pressure sensors at such temperatures and ambient conditions

where conventional strain gauges on polymer foils would not be able to perform.

Admittedly, the production of thin, flexible carrier materials is a rather exotic LTCC technology application, but the knowledge gained can be transferred to other projects.

“We are currently mainly researching into combinations of functional ceramics for highly integrated multi-material multilayer modules. For instance, robust, monolithic capacitors or transformers can be envisaged. A particular challenge is the combination of more than two functional ceramics into a multilayer module. For this, a precise understanding of the different materials’ sintering behaviour is essential”, explains Mieller.

Modelling approaches for combined functional ceramics are necessary to enable the prediction of the influence of heating rate and pressure on the sintering of LTCC, the shrinkage differences in various layers of a combined multilayer in pressureless sintering and the densification of tape stacks under pressure. A variety of scenarios must be simulated so that BAM scientists can sufficiently understand the sintering and ceramic properties of combined functional ceramics.

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Björn Mieller
✉ Bjoern.Mieller@bam.de

5.5 Technische Keramik
5.5 Advanced Technical
Ceramics



OPTIMIERTE WÄRMEFÜHRUNG: DAS A UND O BEIM SCHWEISSEN

Immer häufiger werden hochfeste Stähle in modernen Schweißkonstruktionen des Stahl- und Ingenieurbaus eingesetzt. Der Grund sind die deutlichen ökonomischen und ökologischen Vorteile dieser Werkstoffe. Die speziellen Gefüge und geringen plastischen Verformungsreserven dieser Stähle stellen jedoch hohe Anforderungen an die schweißtechnische Verarbeitung. Bislang fehlen aber ausreichende quantitative Beanspruchungsanalysen für das Schweißen dieser hochfesten Verbindungen. Ein Forschungsthema in der BAM. Denn eins steht immer im Vordergrund: die sichere Schweißverbindung.

OPTIMISED HEAT CONTROL: THE NUTS AND BOLTS OF WELDING

High-strength steels are increasingly used in modern welded steel and civil engineering structures. The reason is that these materials have significant economic and ecological benefits. Specific textures and low plastic deformation reserves of these steels raise high demands on the welding process. However, sufficient quantitative stress analysis for the welding of high-strength joints is currently unavailable. This theme therefore features in BAM's research topics. One issue is always in the foreground: reliable welding joints.

In den vergangenen Jahren entwickelten Stahl- und Schweißzusatzhersteller zahlreiche gut schweißgeeignete hochfeste Werkstoffe, die in einer wachsenden Anzahl von Branchen wie dem Hoch-, Anlagen- und Kranbau zum Einsatz kommen. Die große wirtschaftliche Relevanz wird durch die gegenwärtigen Forderungen nach reduzierter CO₂-Emission sowie gesteigerter Energie- und Ressourceneffizienz unterstrichen. Durch die Verarbeitung von Feinkornbaustählen mit höheren Streckgrenzen ab 690 MPa können, abhängig von der Festigkeit, Bauteile mit geringeren Blech- beziehungsweise Wanddicken gefertigt werden. Dadurch lassen sich Gewicht und Fertigungskosten einsparen. So sinkt das Gewicht um bis zu 78 %, wenn beispielsweise der Werkstoff S235J2 durch hochfesten S960QL ersetzt wird und das bei gleicher Beanspruchbarkeit. Besonders im Mobilkranbau wird heute schon überwiegend der Stahl S960QL eingesetzt. Hohe Tragfähigkeit bei möglichst geringem Eigengewicht ist dort notwendig, weil immer größere vormontier-

te Baugruppen auf der Baustelle gehoben werden müssen. Und ohne den Einsatz hochfester Feinkornbaustähle wären die in vielen Anwendungsfällen geforderten Auslegerlängen mit dort auftretenden Beanspruchungen gar nicht realisierbar. Man denke da nur an das Errichten von Windenergieanlagen.

STAHL: EIN „SPANNENDER“ WERKSTOFF

Hochfeste Stähle zeichnen sich durch ihr spezielles Gefüge und durch ihre geringen plastischen Verformungsreserven aus. Bei der schweißtechnischen Montage hochfester Bauteile können Verzüge und Verwerfungen entstehen. Werden diese durch die Bauteilsteifigkeit oder durch äußere Abstützungen verhindert, sind Eigenspannungen im geschweißten Bauteil die Folge. Der Verzug beim Schweißen entsteht durch die konzentrierte Erwärmung der Schweißnähte. Beim Abkühlen schrumpfen

manche Schweißnahtbereiche stärker als andere. Dadurch kommt es in der Schweißnaht und im gesamten Bauteil zu hohen mechanischen Verbeanspruchungen. Die Folge davon können Risse sein. Daher sind an die schweißtechnische Verarbeitung hohe Anforderungen geknüpft.

Schon bei der Planung einer Stahlkonstruktion müssen sich die Expertinnen und Experten darüber Gedanken machen, welche Belastungen auf das Material wirken. Sowohl beim Schweißen als auch später beim Einbau und Betrieb ist das Zusammenspiel zwischen Schweißprozess, Werkstoff und Konstruktion zu beachten. Doch quantitative Beanspruchungsanalysen, die die Spannungen, also die Kraft pro Fläche, im Inneren des Materials durch Fertigung, Einbau und Betrieb wiedergeben, fehlen bislang. Die konstruktive Steifigkeit sowohl einzelner Bauteile oder einer gesamten Baugruppe als auch zusätzliche externe Einspannvorrichtungen bei der Fertigung führen häufig zu komplexen mechanischen Spannungszuständen. Hinzu kommen durch die Phasenumwandlung infolge hoher Erwärmung noch die metallurgisch verursachten Spannungszustände und bei mehrlagig ausgeführten Schweißverbindungen die wiederholte thermische und umwandlungsbedingte Spannungsausbildung. Eine korrekte Abschätzung des gesamten Verformungs- und Spannungszustandes ist daher kaum möglich. Doch die vorherrschenden Verformungen und Spannungen bestimmen die Eigenbeanspruchung der Schweißkonstruktion und damit auch deren Belastbarkeit im Betrieb. Das führt dazu, dass für das Schweißen hochfester Verbindungen teils sogar erhöhte Sicherheitsbeiwerte gelten. Und das wiederum führt oftmals zu einer stark eingeschränkten wirtschaftlichen Auslegung. Aus dem Leichtbau wird wieder ein Schwergewicht.

Daher sind Kenntnisse über Eigenbeanspruchungen und über deren Reduzierung wichtig. Durch optimierte Wärmeführungskonzepte und Prozess-

bedingungen können dennoch solche Stahlgüten ökonomisch sinnvoll eingesetzt und deren sichere Verarbeitung realisiert werden. Doch dazu bedarf es noch viel Forschung.

Um die Wechselwirkungen zwischen Werkstoff, Konstruktion und Beanspruchungen während der Fertigung

und des Betriebs sowie deren Auswirkung auf die Komponentensicherheit zu erforschen, hat die BAM eine dreidimensional wirkende Prüfeinrichtung entwickelt und realisiert. Mit dieser Anlage, die in ihrer Form weltweit einzigartig ist, kann man einen realen Fertigungsprozess abbilden: Schweißen und gleichzeitig Zug- und Druck-



Foto: Dirk Schröpfer



*Messung der Eigenspannung im geschweißten Bauteil mittels Röntgenstrahlung in der 2-MN-Prüfanlage
Measuring residual stress in a welded component using X-rays in the 2-MN test rig*

kräfte bis zu einer Kraft von zwei Meganewton (2MN) auf das Bauteil einwirken lassen. Dipl.-Ing. Dirk Schröpfer aus dem Fachbereich 9.4 Integrität von Schweißverbindungen untersucht in seiner Dissertation damit die Spannungen und Dehnungen beim Schweißen hochfester Verbindungen unter Einspannbedingungen. Er erforscht den Einfluss der Schweißparameter und angepasster Nahtkonfigurationen unter verschiedenen Steifigkeitsbedingungen, wie sie in realen Bauteilen auftreten. Dabei analysiert Schröpfer auch die thermomechanischen Effekte, die bei der schweißtechnischen Montage wesentlich von der Wärmeleitung abhängen. Die Ergebnisse fließen ein in Empfehlungen, wie Eigenspannungen reduziert werden können. Oder einfach ausgedrückt: Wie muss geschweißt werden, damit es nicht zu Rissen kommt und die Rissicherheit erhöht wird.

In recent years, steel and welding filler material manufacturers have developed many good weldable high-strength materials, which are being used in a growing number of industries such as building, plant manufacture and crane construction. Their great economic relevance is underlined by current demand for reduced

CO₂ emissions and increased energy and resource efficiency. Depending on strength, the use of fine-grained steel with higher yield strength from 690 MPa enables the manufacture of components with lower sheet metal or wall thicknesses. Thus weight and manufacturing costs can be saved. When, for example, material S235J2 is replaced with high-strength S960QL, the weight is reduced by up to 78% while load-bearing capacity is maintained. Steel S960QL in particular, is predominantly used in mobile crane construction today. High load-bearing capacity with minimum dead weight is required here because increasingly large pre-assembled building units have to be lifted at construction sites. Boom lengths with common loads as required in many applications would not be possible without the use of high-strength fine-grained steel. One only needs to think of wind turbine installations.

STEEL: A „FASCINATING“ MATERIAL

High-strength steels are characterised by their specific microstructure and their low plastic deformation reserves. Distortions and dislocations can occur when high-strength components

are assembled by welding. If they are hindered by component stiffness or external restraints, the result is residual stresses in the welded component. Welding distortions are caused by concentrated heating of the welds. Upon cooling, some weld areas shrink more significantly than others. This results in high mechanical pre-stresses in the weld and the entire component which may lead to cracks. Therefore, the welding process must meet high standards.

The planners have to consider stresses that will act on materials in a steel structure as early as at the planning phase. The interaction between welding process, material and design must be taken into account both during welding and later in installation and service. But quantitative stress analyses reflecting the stresses (forces per unit area) inside the material due to manufacture, installation and service are still unavailable. Structural rigidity of both individual components or an entire assembly and additional external mounting devices often lead to complex states of stress during manufacture. Extensive heating leads to metallurgically caused states of stress due to phase transformation and, additionally, welds produced in several layers generate repeated

thermal and transformation-related stresses – all this creates additional loads. Correct assessment of the entire strain and stress state is therefore hardly possible. Nevertheless, the predominant strains and stresses determine the residual stress of the weldment and thus its service load-bearing capacity. This is why increased safety factors apply to the welding of some high-strength joints. This in turn often leads to limited economic design: the lightweight is again converted to heavyweight.

Therefore, knowledge about residual stresses and methods to reduce them is important. Optimised heat control concepts and process conditions enable reasonably economic use and safe processing of such steel grades – but this still requires a lot of research.

BAM has developed and built a three-dimensional acting 2-MN-testing facility to investigate the inter-

actions between material, design and stresses during manufacture and service and their effect on component safety. This system, which is unique worldwide, enables the modelling of a real manufacturing process: components are exposed to the effects of welding and tensile and compressive forces of up to 2 MN. In his thesis, Dipl.-Ing. Dirk Schröpfer from the 9.4 Weld Mechanics Division investigates stresses and strains during the welding of high-strength joints under restraint. He researches the influence of welding parameters and adapted weld configurations under different stiffness conditions as they occur in real components. He also analyses the thermomechanical effects that largely depend on heat control during the assemblage by welding. The results are integrated into recommendations on how residual stresses can be reduced. Or put more simply, how welding should be performed so as to prevent cracking and increase protection against cracking.



*Unter tonnenschwerer Belastung schweißen an der 2-MN-Prüfanlage
Welding in the 2-MN test rig under heavy load*

KONTAKT/CONTACT

Dipl.-Ing. Dirk Schröpfer

✉ Dirk.Schroepfer@bam.de

9.4 Integrität von
Schweißverbindungen
9.4 Weld Mechanics





THEMENFELD
ANALYTICAL SCIENCES

Wie wir alte Meister voran bringen?

Indem wir einen Blick in die Vergangenheit werfen.
Wir bestimmen toxische Substanzen, die früher
gegen Schädlingsbefall eingesetzt wurden.



FOCUS AREA

ANALYTICAL SCIENCES

How do we gain information from old masters' work?

By looking to the past.

We identify toxic substances that were used against pest infestation in the past.

**THEMENFELD
ANALYTICAL SCIENCES**

**FOCUS AREA
ANALYTICAL SCIENCES**

Für viele wissenschaftliche und technische Problemlösungen und Innovationen sind die Analytical Sciences eine Schlüsseltechnologie an der Schnittstelle von Chemie, Physik, Biologie und Materialwissenschaften. Gesellschaftlich und politisch kontroverse Themen wie erneuerbare Energien, neue Technologien wie die Nanotechnologie oder die Nutzung von Ressourcen können erst mit verlässlichen analytischen Daten diskutiert werden. Die Wertschöpfung vieler Produkte und Prozesse ist in Bezug auf Quantität und Qualität von Analytical Sciences abhängig. Unsere Aktivitäten umfassen methodische und instrumentelle Aspekte von vielfältigen Prüf- und Messverfahren.

Analytical sciences at the interface of chemistry, physics, biology and materials science are a key technology for many scientific and technical solutions and innovations. Controversial issues in society and politics such as renewable energy, new technologies e.g. nanotechnology or the use of resources can only be discussed based on reliable analytical data. Added value of many products and processes in terms of quantity and quality depends on Analytical Sciences. Our activities include methodological and instrumental aspects of various test and measurement methods.

VERBESSERTE VERGLEICH- BARKEIT VON MESSUNGEN IN DER CHEMIE

Messergebnisse in der chemischen Analyse müssen vergleichbar sein. Darauf baut unsere moderne Gesellschaft auf. Diese Vergleichbarkeit hat einen direkten Einfluss auf unsere Lebensqualität. Man denke nur an Messungen zur Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte von Umweltschadstoffen, Messungen in der klinischen Diagnostik oder für Spezifikationen technischer Produkte. Um Messergebnisse vergleichen zu können, sind Referenzstandards, die an Primärnormale angebunden sind, erforderlich. In der Chemie sind diese Primärnormale Materialien, deren Reinheit ganz genau bekannt sein muss und die damit das internationale Einheitensystem SI verkörpern. Doch diese hochgenauen Reinheitsbestimmungen sind oft sehr komplex und aufwendig und viele Primärnormale zur Elementbestimmung fehlen. Daher koordiniert die BAM als designiertes nationales Institut für Metrologie in der Chemie das europäische Forschungsprojekt „Primärnormale für anspruchsvolle Elemente“.

IMPROVED COMPARABILITY OF MEASUREMENTS IN CHEMISTRY

The results of chemical measurements must be comparable. Our modern society relies on this comparability, which has a direct impact on the quality of our life. Just think of measurements that ensure compliance with legal limits for environmental pollutants, measurements in clinical diagnostics or for specifying technical products. A comparison of measurement results needs reference standards that rely on primary standards. In chemistry, these primary standards are materials whose purity has to be precisely known and which therefore embody the International System of Units (SI). But a highly accurate purity determination is often very complex and expensive, and many primary standards for determining elements are unavailable. Therefore, BAM, as a designated national metrology institute for chemistry, is coordinating the European research project “Primary standards for sophisticated elements”.

Legt man im Supermarkt das ausgewählte Obst und Gemüse auf die Waage, dann ist diese Waage kalibriert und geeicht. Das Messergebnis ist damit vergleichbar mit jeder anderen kalibrierten und geeichten Waage, die an der Kasse des Supermarktes oder im Haushalt steht. Diese Vergleichbarkeit ist möglich, weil die Wägungen auf einen Referenzstandard zurückgeführt werden können – das Urkilogramm – und ist Grundlage für einen funktionierenden Warenaustausch. Ähnlich verhält es sich bei den anderen SI-Einheiten. So ist für die Messung des Gehaltes chemischer Elemente das Mol die SI-Einheit. Millionen solcher Messungen werden jährlich durchge-

sungen dienen in der Regel Lösungen von Reinstoffen mit genau bekannter Konzentration als Bezugsstandards. Ideal wäre ein Stoff, der aus 100 % eines Elementes besteht. Aber in der Realität gibt es solch einen Stoff nicht. Er beinhaltet immer Verunreinigungen durch andere Elemente – alles ist in allem zu finden. Was ist zu tun?

Die Expertinnen und Experten von metrologischen Instituten sind hier gefragt, und damit auch die der BAM. Zusammen mit Kolleginnen und Kollegen aus der Physikalisch Technischen Bundesanstalt und sieben weiteren nationalen Metrologischen Instituten der Welt (Frankreich, Großbritannien,

in Europa vorantreiben, Innovation unterstützen und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen stärken.

Aber zurück zum Projekt: Hier galt es für das Konsortium, Methoden zu entwickeln, mit denen Verunreinigungen in Reinstoffen präzise ermittelt, die Hauptkomponente der Metallmatrix direkt bestimmt und Referenzlösungen von schwerlöslichen Elementen (hier Molybdän und Rhodium) hergestellt werden können. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM konzentrierten sich auf die Methodenweiterentwicklung zur Bestimmung der metallischen und nichtmetallischen Verunreinigungen in Metallen



führt: In der chemischen Industrie, in der Medizin für diagnostische Tests oder auch für Materialuntersuchungen und Produktentwicklungen.

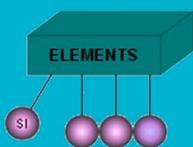
Allen Messungen voran steht die Kalibrierung der Geräte. Dabei wird ein Messsignal einer unbekannt Probe verglichen mit einem Messsignal eines bekannten Gehaltes – eines Standards. Da man Äpfel nicht mit Birnen vergleichen sollte, bräuchte man hier für jedes Obst (heißt jedes Element) eine eigene Waage. Bei chemischen Mes-

Italien, Rumänien, Slowakei, Griechenland und Mexiko) entwickeln sie im Projekt SIB09 effektive Methoden, um Reinstoffe so genau wie möglich zu charakterisieren. SIB09 dessen Langbezeichnung „Primärnormale für anspruchsvolle Elemente“ lautet, ist Teil des Europäischen Metrologie-Forschungsprogramms (European Metrological Research Program, EMRP). Es wird finanziell gefördert durch die Europäische Kommission und den Ministerien der daran teilnehmenden EU-Staaten. EMRP soll die Metrologie

und die Herstellung von hochgenauen Magnesium-Isotopenmischungen.

DIE BESTIMMUNG DER REINHEIT VON MATERIALIEN: DIREKT UND INDIREKT ÜBER DIE SUMME DER VERUNREINIGUNGEN

Wird die Materialreinheit über seine Verunreinigungen ermittelt, spielt auch die Homogenität, mit der die Verunreinigungen im Material verteilt



sind, eine entscheidende Rolle für die Güte des Wertes. Kontaminationen an einzelnen Stellen können das Gesamtbild erheblich verfälschen. Daher muss die Homogenität im ersten Schritt genau überprüft werden. Sie ist schwer zu messen und die dafür geeigneten Methoden, die Neutronenaktivierungsanalyse und die an der BAM genutzte Glimmentladungsmassenspektrometrie, mussten optimiert werden. Gute Gründe für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der verschiedenen Metrologieinstitute hier ihr Wissen zusammenzubringen.

Die metallischen Verunreinigungen in Metallen lassen sich mittels moderner hochauflösender Massenspektrometer ermitteln. Eine weit größere Herausforderung ist die Bestimmung von Nichtmetallen – wie Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff im Metall – zumal sie auch oft die Hauptverunreinigung darstellen. Solche Verunreinigungen können außerdem einen großen Einfluss auf die technischen Materialeigenschaften haben. Wasserstoff beispielsweise, gebunden in Stahl, Titan oder Kupfer führt zur Wasserstoffversprödung. Eine sichere und präzise Messung dieser Elemente ist daher von entscheidender Bedeutung.

Dr. Silke Richter und ihre Kolleginnen und Kollegen in der BAM nutzen für die Bestimmung der nichtmetallischen Verunreinigungen eine kommerziell erhältliche Trägergasheißextraktion. Die Kalibrierung ist aber hier besonders schwierig. Daher wurde eine sehr universelle Gasdosierungseinrichtung zur Kalibrierung entwickelt und mit Erfolg erprobt.

Bei der Trägergasheißextraktion wird die Probe in einem Graphittiegel bis zur Schmelze erhitzt. Der Sauerstoff reagiert mit dem heißen Graphit im Tiegel und bildet Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂). Die Stickstoff- und Wasserstoffverbindungen bilden elementaren Stickstoff (N₂) und Wasserstoff (H₂). Über das inerte Trägergas (Helium oder Argon) werden diese Gase aus dem Tiegel transportiert, um auf ihren ONH-Gehalt bestimmt zu werden.

MAGNESIUM-ISOTOPENMISCHUNGEN MIT DER WELTWEIT GERINGSTEN UNSICHERHEIT

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM, der Physikalisch Technischen Bundesanstalt und des

britischen LGC stellten in diesem Projekt Magnesium-Isotopenmischungen her, mit den bisher kleinsten relativen Messunsicherheiten von unter 0,005 %. Diese Mischungen werden sowohl für die ab initio Kalibrierung von Massenspektrometern verwendet als auch für die Bestimmung von kleinsten Änderungen in der Magnesium-Isotopenzusammensetzung. Die Isotopenzusammensetzung spielt in der Geologie, aber auch in der Forensik und bei der Bestimmung der Herkunft von Lebensmittelprodukten, eine große Rolle.

Supermarket scales where we weigh selected fruit and vegetables are calibrated and verified. The measurement results are thus comparable with any other calibrated and verified supermarket checkout scale or in the kitchen. This comparison is possible because weighing can be traced back to a reference standard – the primary kilogramme – and this is the basis of a functioning commodity exchange. The situation is similar for other SI units. The mole is the SI unit for measuring the amount of chemical elements. Millions of such measurements are performed annually in the chemical industry, in medicine for diagnostic

tests or for material analysis and product development.

The key rule is that device calibration precedes measurements. In calibration, a measurement signal from an unknown sample is compared to a measurement signal from a standard of known content. Since one should not compare apples with pears, one needs a separate scale for each fruit (i.e. each element). In chemical measurements, reference standards are usually solutions of pure substances with well known concentrations. It would be ideal if the substance contained 100% of an element, however, in reality there is no such substance, it is always slightly contaminated with other elements – everything can be found in everything. So what should be done?

Experts in metrology from BAM joined together in project SIB09 with colleagues from the Physikalisch Technische Bundesanstalt and seven other national metrology institutes (France, Great Britain, Italy, Romania, Slovakia, Greece and Mexico) to develop effective methods to characterise high-purity substances as accurately as possible. The project's full name is "Primary standards for challenging elements" and is part of the European Metrology Research Programme, EMRP. This programme is funded by the European Commission and the ministries of the participating EU countries. EMRP's target is to promote metrology in Europe, support innovation and strengthen competitiveness.

But let us return to the project. The consortium's tasks were to develop methods that can accurately determine impurities in high-purity substances, to directly determine the main components of the metal matrix and to produce reference solutions of difficult-to-dissolve elements (molybdenum and rhodium in this case). BAM's scientists focused on improving the method for determining metallic and non-metallic impurities in metals and on the production of

high-precision magnesium isotope mixtures.

DETERMINATION OF THE PURITY OF MATERIALS: DIRECTLY AND INDIRECTLY VIA THE SUM OF IMPURITIES

If material purity is determined through its impurities, homogeneity of their distribution also plays a crucial role. Spot contaminations can significantly distort the overall picture. Therefore, homogeneity must be carefully checked right at the start. It is both difficult to measure and the methods of choice, i.e. neutron activation analysis and glow-discharge mass spectrometry (the latter one used by BAM), had to be optimised – a good occasion for scientists of different metrology institutes to combine their knowledge.

Metallic impurities in metals can be determined by means of modern high-resolution mass spectrometers. A far greater challenge is the determination of non-metals – such as oxygen, hydrogen and nitrogen in metals, especially since they often are the main impurity. Such contaminants can also have a major impact on the material's engineering properties. Hydrogen, for example, bound in steel, titanium or copper leads to hydrogen embrittlement. A reliable and precise measurement of these elements is therefore of crucial importance.

Dr. Silke Richter and her colleagues at BAM use commercially available carrier gas hot extraction techniques to determine non-metallic impurities. However, calibration is particularly difficult. Therefore, a universal gas calibration device has been developed and tested with very good results.

In hot carrier gas extraction, the sample is heated in a graphite crucible to the melt. Oxygen reacts with the hot graphite and forms carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂). The nitrogen and hydrogen

containing compounds form elemental nitrogen (N₂) and hydrogen (H₂). These gases are removed from the crucible via the inert carrier gas (helium or argon) to determine their ONH content.

MAGNESIUM ISOTOPE MIXTURES WITH THE LOWEST UNCERTAINTY EVER

Scientists of BAM, the Physikalisch Technische Bundesanstalt and the British LGC are producing magnesium isotope mixtures in this project with the smallest relative measurement uncertainty so far of less than 0.005%. These mixtures are used at the beginning to calibrate the mass spectrometer and then to determine smallest changes in the magnesium isotope composition in real samples. Isotope composition plays a major role in geology, but also in both forensic science and in determining the origin of food products.



KONTAKT/CONTACT

Dr. rer. nat. Silke Richter

✉ Silke.Richter@bam.de

1.1 Anorganische Spurenanalytik

1.1 Inorganic Trace Analysis

TomoWELD: DEFEKTE IN SCHWEISSNÄHTEN PRÄZISE ERKENNEN

Kernkraftwerke sind komplexe und technisch aufwendige Anlagen zur Gewinnung von Elektrizität. Sie müssen allerhöchsten Sicherheitsansprüchen genügen. Die bei Kernreaktionen und radioaktiven Umwandlungen freiwerdende Energie wird genutzt, um Wasser zu verdampfen. Der Dampf treibt Turbinen an und die wiederum sind mit Generatoren gekoppelt, welche die durch die Turbinen bereitgestellte kinetische Energie in elektrische Energie umwandeln. Der Prozess lässt sich einfach darstellen, ihn zu steuern ist allerdings kompliziert und erfordert weitere technische Komponenten, wie beispielsweise kilometerlange Rohrleitungssysteme. Wegen seiner hohen Festigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit wird oft austenitischer Stahl dafür verwendet. Gefügt werden die einzelnen Rohrteile durch Schweißen. Doch Schweißnähte können viele verborgene Defekte enthalten. Bleiben Risse, Bindefehler oder Porennester unentdeckt, kann das katastrophale Folgen haben. Daher müssen in Kernkraftwerken ausnahmslos alle Schweißnähte überprüft werden. Dafür zugelassene zerstörungsfreie Methoden verwenden Ultraschall und Röntgenstrahlung. Die an der BAM entwickelte Technik heißt TomoWELD.

TomoWELD: PRECISE DETECTION OF WELD DEFECTS

Nuclear power plants are complex and technically elaborate systems whose aim is to produce electricity. They must meet the highest safety requirements. Within the reactors, nuclear reactions and radioactive transformations release energy which is used to evaporate water. The steam generated drives turbines that in turn are coupled with generators which convert the kinetic energy provided by the turbines into electrical energy. The process is easy to illustrate but difficult to control and requires technical equipment such as kilometre-long pipe systems. Austenitic steel is frequently used for this purpose because of its high strength and corrosion resistance. The individual pipe components are joined by welding. However, welds may contain hidden defects. Cracks, lack of fusion or pore nests that can remain undetected may have catastrophic consequences. Therefore, all welds in a nuclear power plant, without exception, must be checked. Approved non-destructive methods use ultrasound and X-ray. The technology developed at BAM is called TomoWELD.



Foto: EnBW Kernkraftwerk GmbH

*Kernkraftwerk Neckarwestheim
Nuclear power plant Neckarwestheim*

KLASSISCHES RÖNTGEN VERSUS TomoWELD

Klassisches Röntgen unter Nutzung eines Filmes ist auch heute immer noch die am häufigsten verwendete Technik, um Schweißnähte auf Defekte zu untersuchen. Die Messungen brauchen wenig Zeit, die Geräte sind robust und der Röntgenfilm passt hinter jede eng verbaute Rohrleitung. Doch mit dieser Technik lässt sich nicht die Tiefe eines Defekts im Material bestimmen. „Mit der klassischen Filmtechnik sehen wir nicht präzise genug, ob sich ein Fehler nahe der Oberfläche oder im Inneren des Materials befindet“, erklärt David Walter, Ingenieur im BAM-Fachbereich 8.3 Radiologische Verfahren.

Hier kann TomoWELD weiterhelfen. Diese Technik, die auf einer volumetrischen Rekonstruktion beruht und auf das Vorgängersystem TomoCAR aufbaut, wurde in einem EU-Forschungsprojekt, an dem neben der BAM sieben weitere Partner beteiligt waren, weiterentwickelt und mit modernen Baugruppen ausgestattet.

Das Besondere an dieser Technik ist, dass der Manipulator, auf dem die Messtechnik angebracht ist, um 360° um das Rohr gedreht werden kann. Oder einfach ausgedrückt: Die Messtechnik folgt der Schweißnaht um das Rohr. „So können wir uns zunächst einen Überblick vom Zustand einer Schweißnaht verschaffen. Haben wir Positionen gefunden, die auf Defekte schließen lassen und daher genau vermessen werden sollen, schalten wir auf den Laminographie-Modus um“, erklärt Walter. Dazu wird die Röntgenröhre auf einem Schlitten entlang des ausgewählten Bereichs quer zur Schweißnaht geführt. Dabei werden mehrere hundert bis tausend Röntgenprojektionen aufgenommen. Die von der Röntgenröhre emittierte Strahlung passiert die Schweißnaht mit den vermuteten Defekten. Die Photonen, die das Material durchdringen, werden mit dem dahinter angebrachten Detektor gesammelt. Die unterschiedlichen Schwächungen im Röntgenbild machen dann die Defekte sichtbar. Das klingt einfach, doch steckt hier viel Entwicklungsarbeit dahinter. Denn: Auch der Detektor wurde im

Forschungsvorhaben entwickelt. Er ist der erste Matrixdetektor, der hochenergetische Photonen zählen und darüber hinaus deren Energie bestimmen kann. Dabei werden Beschleunigungsspannungen von bis zu 300 kV verwendet. Diese hohen Spannungen sind erforderlich, sollen Materialstärken in Stahl von 50 mm und mehr hochaufgelöst untersucht werden.

und damit ihr Durchdringungsvermögen. Elektronenstrom und Spannung definieren die Intensität und damit die absolute Helligkeit einer Röntgenabbildung.

Aber zurück zu TomoWELD. Da nun jedes Bild aus einem anderen Winkel zum Defekt aufgenommen wird, erhält man als Ergebnis seine genaue Position in der Tiefe des Ma-

ihrer Messeinrichtung. Ein Nachteil ihrer Methode ist, dass es aufgrund seiner Größe und der freien Rotation um das Rohr mehr Platz benötigt, als ein dünner Röntgenfilm. Aber das galt es nicht zu beweisen. Kraftwerksbetreiber und Forschergruppe waren sich am Ende der Messkampagne einig, dass TomoWELD ein Mehr an Informationen bringt. Mit TomoWELD können auch winzige, für die



Foto: Bernhard Redmer

Montage des TomoWELD-Systems an einer Rohrleitung (Ø 170 mm) im Kernkraftwerk Neckarwestheim I

Installing the TomoWELD system on a 170-mm dia pipeline in the Neckarwestheim I nuclear power plant

Eine Röntgenröhre besteht in ihrer einfachsten Form aus einer Kathode und einer Anode. Die aus der Kathode emittierten Elektronen werden unter Hochspannung beschleunigt und prallen auf die Anode. Dabei werden sie abgebremst und erzeugen Röntgenstrahlung. Die Röhrenspannung bestimmt so die Energie der Strahlung

terials. Hierzu fließen die Datensätze der Röntgenbilder in einen von der Forschergruppe ebenfalls neu entwickelten Algorithmus ein, so dass die Defekte mit dem Computer räumlich genau gefunden und vermessen werden können.

FELDVERSUCH IM KERNKRAFTWERK NECKARWESTHEIM MIT ERFOLG BESTANDEN

Im Jahr 2015 hatten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die große Chance, TomoWELD unter realen Bedingungen, sprich im Kernkraftwerk, zu testen. Dazu fuhren sie nach Neckarwestheim. Dort, im bereits im Jahr 2011 abgeschalteten Block 1, untersuchten sie die Einsatzfähigkeit

Sicherheit zu diesem Zeitpunkt nicht relevante Defekte gefunden werden. Aber jeder Defekt hat das Potential, ab einer bestimmten Größe zu wachsen. Und dann ist es gut, diesen Schädigungsprozess unter Kontrolle zu haben – und das am besten mit TomoWELD.

CLASSIC X-RAY VERSUS TomoWELD

Classic X-ray using a film is today still the most commonly used technique to examine welds for defects. The measurements take little time, the devices are robust and the X-ray film fits into the smallest place behind any pipeline. However, this technique cannot determine the depth of a defect in the material. "Classic film technology cannot see precisely enough if a

fault is near the surface or deep in the material”, says David Walter, a researcher in BAM’s 8.3 Radiological Methods Division.

TomoWELD can help here. This technique, which is based on a volumetric reconstruction and builds on the previous TomoCAR system, was further developed and equipped with modern components in an EU research project in which, besides BAM, seven other partners were involved.

The special thing about this technique is that the manipulator on which the measurement devices are mounted, can be rotated 360° around the pipe. Or put simply: the measurement devices follow the weld around the pipe. “We can initially get an overview of the state of a weld. If we have found spots suggesting defects and need more precise measurements, we switch to laminography mode”, explains Walter. In this mode, the X-ray tube is moved on a carriage along the selected area transversely to the weld and in so doing, several hundreds to thousands of X-ray projections are taken. The radiation emitted by the X-ray tube passes through the weld with the suspected defects. The photons that pass through the material are collected by the detector mounted behind the pipe. The difference in attenuation in the

radiograph makes the defects visible. This sounds simple, yet there is a lot of developmental work behind it, bearing in mind that the detector itself has also been developed in the research project. It is the first matrix detector that can count the high-energy photons and, in addition, determine their energy. In this case, an acceleration voltage of up to 300 kV is used. This high voltage is required when material thicknesses in steel of 50 mm and more have to be inspected at high resolution.

In its simplest form, an X-ray tube consists of a cathode and an anode. The electrons emitted from the cathode are accelerated by high voltage and collide with the anode. They are slowed down there and produce X-rays. Thus tube voltage determines the energy of the radiation and its power to penetrate. Electron current and voltage specify the intensity and thus the absolute brightness of an X-ray image.

But let us return to TomoWELD. Since each image is taken at a different angle to the defect, the result obtained shows the precise location in the material’s depth. The records of the X-ray images are fed into an algorithm newly developed by the research group, so that the computer can spatially accurately measure the defects.

SUCCESSFUL FIELD TEST AT THE NECKARWESTHEIM NUCLEAR POWER PLANT

In 2015, the researchers had the great opportunity to test TomoWELD under real conditions, i.e. in a nuclear power plant. They travelled to Neckarwestheim, where they tested the applicability of their measurement device in Block 1 which had already been decommissioned in 2011. A disadvantage of their method is that due to its size and the free rotation around the pipe, it needs more space than a thin X-ray film. But this was not to be proved by the investigation. Power plant operators and the research group agreed at the end of the measurement campaign, that TomoWELD provides extra information.

TomoWELD can also find tiny defects that are not safety relevant at this moment. But any defect has the potential to grow and it is good to have this deterioration process under control and, ideally, using TomoWELD.



KONTAKT/CONTACT

M.Eng. David Walter
✉ David.Walter@bam.de

8.3 Radiologische Verfahren
8.3 Radiological Methods



DER RICHTIGE BLICK INS AUGE

„Ich seh' dir in die Augen, Kleines!“, sagt Humphrey Bogart im Filmklassiker Casablanca aus dem Jahr 1942, wenn er Ingrid Bergmann mit einem Drink zuproftet und am Ende des Dramas, als er sie mit seinem Rivalen großzügig davon ziehen lässt. Die Augen sind aber nicht nur der Spiegel der Seele, manchmal kann man daraus auch ablesen, wie es um unsere Gesundheit steht. In der modernen medizinischen Diagnostik reicht natürlich der tiefe Blick in die Augen nicht aus, um Erkrankungen sicher zu erkennen, hier sind oft anspruchsvolle und komplexe optische Geräte gefragt.

THE RIGHT LOOK

“Here’s looking at you, kid!” says Humphrey Bogart in the classic 1942 film Casablanca when toasting Ingrid Bergmann with a drink at the end of the film and generously helping her and his rival escape. The eyes are not only the mirrors of our soul one can also gauge our health from them. In modern medical diagnostics, however, a deep look into the eyes is not sufficient to detect diseases unambiguously; sophisticated and complex optical devices are required instead.

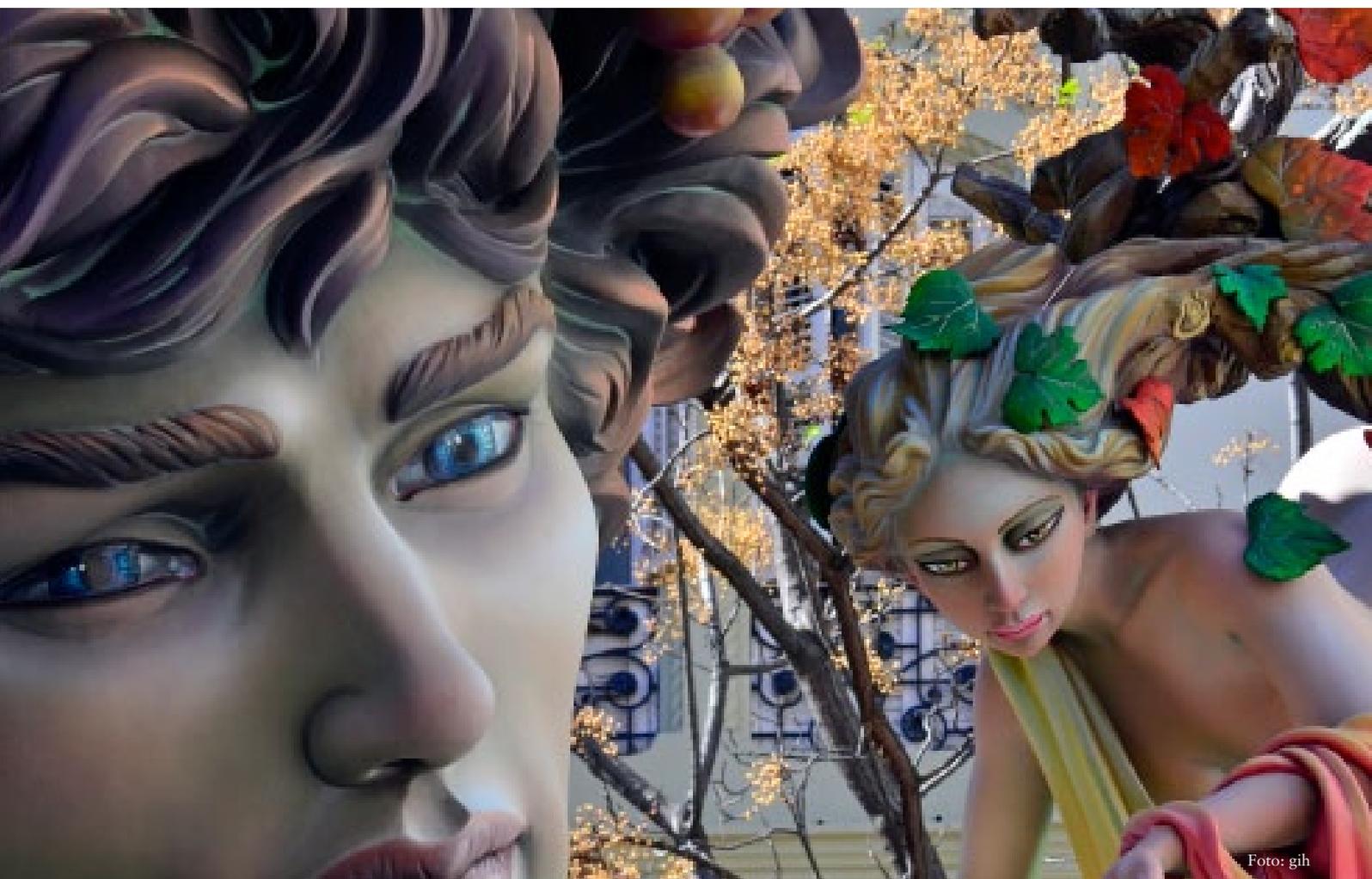


Foto: gih

Das Auge ist ein wichtiges Sinnesorgan, denn der Mensch nimmt ungefähr 40 % der Informationen über Farben und damit über die Augen auf. Krankheiten dieser Sinnesorgane sollten daher frühzeitig erkannt und Therapieerfolge verlässlich verfolgt werden können. Ein Anspruch, der zu einer rasanten Entwicklung auf dem Markt der klinischen Diagnostik und zu einem stetig wachsenden Bedarf nach zuverlässigen, robusten und komfortablen Sensoren und Systemen führt. Dabei basieren viele diagnostische Anwendungen auf Fluoreszenzmethoden. Hier ist die Expertise von Dr. Ute Resch-Genger gefragt. Sie leitet den BAM-Fachbereich 1.10 Biophotonik und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Fluoreszenzreferenzmaterialien und Möglichkeiten zum Vergleich und zur Quantifizierung von Fluoreszenzdaten. Viele Firmen im Diagnostikbereich suchen zur Validierung ihrer Systeme die Zusammenarbeit mit Resch-Genger. Gemeinsam mit ihrer Mitarbeiterin Dr. Katrin Hoffmann haben die beiden Wissenschaftlerinnen schon wichtige Forschungsprojekte einwerben können, die das Auge oder die Flüssigkeiten des Auges als Plattform für die medizinische Diagnostik nutzen: Eine elegante Lösung.

„Mit dem Industriepartner EyeSense GmbH untersuchten wir, wie zuverlässig der Blutzucker im Tränenfilm des Auges bestimmt werden kann. Da diese Methode nicht-invasiv ist, hätte sie für die erkrankte Person große Vorteile“, erklärt Resch-Genger.

Zusammen mit dem Medizingeräte-Hersteller Heidelberg Engineering GmbH arbeitet Resch-Genger derzeit an einem Fluoreszenzverfahren zur Augendiagnostik. Denn in der Ophthalmologie – also der Augenheilkunde – haben sich innovative, bildgebende Diagnostikverfahren etabliert.

Mit der Untersuchung des Augenhintergrunds kann der Augenarzt den Sehnervenkopf, Teile der Netzhaut mit ihren feinen Adern und Venen und die Makula – die Stelle des schärfsten Sehens – kontrollieren. Erbliche Dystrophie der Makula – das sind degenerative Veränderungen der Makula, verursacht durch beispielsweise Morbus Stargardt oder Morbus Best und diffuse Netzhautdystrophien wie Retinitis Pigmentosa als häufigste Ursache für Erblindung im erwerbsfähigen Alter, aber auch die altersbedingte Makuladegeneration (AMD) als häufigste Ursache für Altersblindheit kann so diagnostiziert werden. Bei der AMD sammelt sich mit zunehmendem Alter das Pigment Lipofuszin in den Zellen im hinteren Teil des Auges an. Ist dessen Ansammlung zu hoch, sterben die Zellen ab und die Sehkraft lässt nach.

Der Augenarzt profitiert nun davon, dass das Auge nicht nur auf Lichtreize reagiert, sondern sein Gewebe bei spezieller Beleuchtung auch selbst sehr schwache Lichtsignale, hier Fluoreszenzlicht, aussendet. Als Eigen- oder Autofluoreszenz der Netzhaut wird diese Eigenschaft bezeichnet, die mit der Fundus-Autofluoreszenz (FAF)-Bildgebung sichtbar gemacht werden kann. Eine vermehrte Lipofuszin-Ansammlung führt zu einer verstärkten Fluoreszenz in den FAF-Aufnahmen. Solche Bilder können bislang nur qualitativ beurteilt und ausgewertet werden. Benötigt werden jedoch quantitative Messungen der FAF-Signale, auch in vivo. Doch dazu sind grundlegende Probleme noch nicht gelöst. So müssen die signalrelevanten spektroskopischen Eigenschaften von Lipofuszin, die Eigenschaften der Matrix – hier das menschliche Auge –, das verwendete Detektionsprinzip – hier die konfokale Fluoreszenzmikroskopie – und die im jeweiligen Messsystem verwendeten optischen und optoelektronischen Bauteile, wie Lichtquellen, Filter oder Detektoren sowie die Messgeometrie berücksichtigt werden.

Etliche patientenspezifische, aber besonders auch gerätespezifische Faktoren also, die vergleichbare Resultate erschweren oder gar unmöglich machen. Daher sind Standards und Validierungskonzepte erforderlich, damit Fluoreszenzintensität und Fluoreszenzlebensdauer, die der Augenarzt mit ophthalmologischen Fluoreszenzmikroskopen ermittelt, quantitativ und geräteunabhängig beurteilt werden können.

Viel Forschungsarbeit ist hier erforderlich. Doch Resch-Genger ist optimistisch, dass die Forschungsergebnisse ihrer Gruppe die Eigenfluoreszenz-Untersuchungen am Augenhintergrund vergleichbarer und zuverlässiger machen werden als es bis heute möglich ist. So lässt eine sichere Diagnose von vielen Augenerkrankungen den Patienten ein wenig beruhigter in die Zukunft blicken.

The eye is an important sense organ because we perceive about 40% of information through colours and therefore by our eyes. Diseases of these sense organs need to be detected early for successful treatment. This requirement has led to a rapid development in the clinical diagnostics market and a growing need for reliable, robust and comfortable sensors and systems. Many diagnostic applications are based on fluorescence methods and this is where Dr. Ute Resch-Genger's expertise is found. She heads BAM's 1.10 Biophotonics Division and has worked with fluorescent reference materials and methods to compare and quantify fluorescence data



for many years. A number of companies in the diagnostics area are working with Resch-Genger in order to validate their systems. She and her colleague, Dr. Katrin Hoffmann, have been able to organise important research projects that use the eye or the eye's fluids as a platform for medical diagnostics – an elegant solution.

“Together with the EyeSense GmbH, a partner from industry, we have investigated how blood sugar in the eye's tear film can be reliably determined. Since this method is non-invasive, it would be of great benefit for people who are ill”, says Resch-Genger.

Resch-Genger currently works on a fluorescence eye diagnosis method together with Heidelberg Engineering GmbH, a medical device manufacturer because innovative imaging diagnostic procedures are becoming common in ophthalmology.

An examination of the oculus fundus enables medical opticians to check the optic nerve head, parts of the retina with its fine arteries and veins and the macula – the point of sharpest vision. Hereditary macula dystrophy – degenerative

changes in the macula caused by, for example, Stargardt's disease – or vitelliform macular dystrophy and diffuse retinal dystrophies such as retinitis pigmentosa, the most common cause of blindness in working age people, and age-related macular degeneration (AMD), the most common cause of blindness in old age, can thus be diagnosed. In AMD the pigment lipofuscin accumulates in the cells in the back of the eye with age, and if the accumulation is too high, the cells die and vision deteriorates.

Ophthalmologists can benefit from the fact that not only does the eye respond to light stimuli, but its tissue emits very weak fluorescent light signals when special lighting is applied to it. This property is referred to as the retina's autofluorescence and can be visualised using fundus autofluorescence (FAF) imaging. Increased lipofuscin accumulation leads to increased fluorescence in FAF images. Such images hitherto have only been qualitatively assessed and evaluated. However, quantitative measurements of the FAF signals are needed in vivo. But fundamental problems have not yet been solved to achieve this. The following issues must all be considered: signal-relevant spectroscopic properties

of lipofuscin, properties of the matrix (i.e. the human eye), the detection principle used (i.e. confocal fluorescence microscopy), and the optical and opto-electronic components used in the respective measurement systems such as light sources, filters and detectors as well as measurement geometry.

These are patient-specific but also device-specific factors, which make it difficult or even impossible to compare results. Therefore, standards and validation concepts are required to be able to quantitatively and device-independently assess

fluorescence intensity and fluorescence lifetime determined by ophthalmologists using ophthalmic fluorescence microscopes.

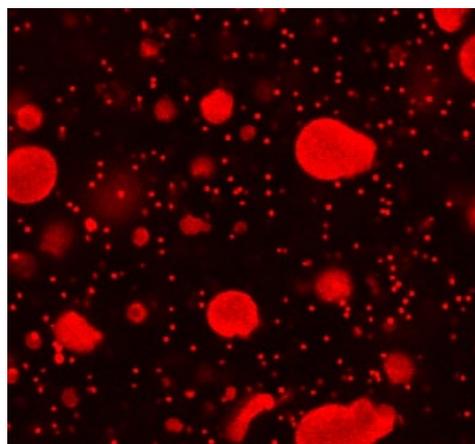
Much research is needed here. But Resch-Genger is confident that her group's research results will make autofluorescence tests of the fundus more comparable and reliable than they are today. A reliable diagnosis of many eye diseases permits the patients an optimistic view in the future.

Partikelinspektion mit dem Konfokalen Laser Scanning Mikroskop

Particle inspection using a confocal laser scanning microscope

Floureszenzmikroskop-aufnahme eines glukose-sensitiven Hydrogels

Fluorescence microscope image of a glucose-sensitive hydrogel



KONTAKT/CONTACT

Dr. rer. nat. Ute Resch-Genger

✉ Ute.Resch@bam.de

1.10 Biophotonik

1.10 Biophotonics



MIT MODELLIERUNGEN KALIBRIEREN: LIBS

CALIBRATION USING MODELLING: LIBS



Es ist nicht ganz das (Laser)Lichtschwert, das wir aus dem Krieg der Sterne kennen, aber es ist eine sehr vielseitige, robuste und schnelle analytische „Waffe“, um Auskunft über die Elementzusammensetzung verschiedenster Materialien und Untersuchungsgegenstände zu erhalten: LIBS oder auch Laser-induzierte Plasma-Spektroskopie. Bei dieser spektrochemischen Analysemethode wird ein Laserstrahl auf die Probe fokussiert, wodurch ein mikroskopisch kleines Plasma – also eine Ablationswolke aus geladenen Teilchen – auf der Oberfläche erzeugt wird. Anhand des vom Plasma abgegebenen Lichts können chemische Elemente identifiziert und ihre Mengenverhältnisse bestimmt werden. Entscheidende Vorteile dieser

Technik sind: Hinreichend großer Abstand zum Messobjekt und damit auch in widrigen Umgebungen einsetzbar; keine Probenaufarbeitung vor der Analyse erforderlich. LIBS ist daher ideal für den Einsatz in der industriellen Prozesskontrolle, wie bei der Materialsortierung beim Recycling oder zum Nachweis von Umweltschadstoffen.

Gerade weil LIBS so vielseitig verwendet wird, fehlen bis heute allgemein gültige Analysevorschriften. Das betrifft sowohl Empfehlungen zu Lasern und Laserparametern, Spektrometern und spektraler Auflösung als auch Kalibrierstandards und -verfahren, um verlässliche und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.

Abhilfe können hier Modellierungen schaffen, die dem chemischen Analytiker schon vor der Anwendung Hinweise zu den bestmöglichen Messparametern geben. Solche Modellierungen erlauben es auch, kalibrierfreie Verfahren zu entwickeln. Essenziell ist dabei ein besseres Verständnis der Vorgänge im Plasma.

EIN MATHEMATISCHES MODELL FÜR LASERINDUZIERTE PLASMEN

Dr. Igor Gornushkin aus dem BAM-Fachbereich 1.9 Chemische und optische Sensorik hat zusammen mit seinen Kolleginnen und Kollegen solch ein mathematisches Modell für laserinduzierte Plasmen entwickelt. Dieses Modell berücksichtigt das Strömungsverhalten von Gasen, den Strahlungstransfer und chemische Gleichgewichtsmodelle in einem Differentialgleichungssystem. Es beschreibt eine achsensymmetrische Ablationswolke, die sich aus einem sehr heißen Plasma nur wenige Nanosekunden nach Auftreffen des Lasers entwickelt und bis zur Abkühlung wenige Mikrosekunden lebt. Durch die Simulation werden wichtige Charakteristika wie die Plasmatemperatur, die Teilchendichte und das Emissionsspektrum des Plasmas orts- und zeitaufgelöst erhalten. Ein Vergleich dieser Daten mit experimentellen Ergebnissen erlaubt eine Validierung der Daten.

Da nicht alle Elemente intensive Emissionslinien im sichtbaren Spektralbereich haben, setzt Gornushkin auf die Detektion von kleinen Molekülen. Bei diesem Ansatz werden chemische Elemente, die unsichtbare und somit schwer detektierbare Strahlung abgeben, stattdessen als Bausteine von Molekülen identifiziert. Mit diesem Trick wird das technische Verfahren zur Detektion der Strahlung erleichtert. So emittieren beispielsweise chlorhaltige Moleküle Licht im optisch sichtbaren Spektrum, wohingegen elementares Chlor Strahlung im nur schwer zugänglichen Spektralbereich des so-



Foto: Julia Pöpke

Das Lichtschwert mit seiner hochenergetischen Klinge ist die traditionelle Waffe der Jedi und der Sith in der Star Wars Saga

The light sabre with its high-energy blade is the Jedi's' and Siths' traditional weapon in the Star Wars saga

genannten Vakuum-Ultraviolett abgibt. Methoden, die diese Strahlung erkennen, sind jedoch aufwendig und teuer.

Das Forscherteam der BAM entwickelte daher ihre Modelle weiter, um möglichst genau vorhersagen zu können, warum, wann, wo und wie sich Moleküle in laserinduzierten Plasmen bilden. So können beispielsweise die Bildungs- und Dissoziationswege von N_2 , C_2 , Si_2 , CN, SiC, SiN, CaCl und $CaCl_2$ mit betrachtet werden. Eine ganz konkrete Bedeutung haben diese Spezies, die beispielsweise bei der Ablation von Beton an Luft entstehen, für eine der vielversprechendsten Anwendungen von LIBS: Der Messung von Chlor in Beton. In Gegenwart von Feuchtigkeit führt Chlor zur gefürchteten Lochkorrosion der Bewehrungsstähle im Beton. Ist der Spannstahl geschädigt, ist die Tragfähigkeit des Bauteils gefährdet.

LIBS: UNIVERSELL EINSETZBAR

Zwei andere konkrete Anwendungen, in denen das vom Fachbereich entwickelte Modell ein wichtiges Werkzeug ist, sind die kalibrierfreie Analyse industrieller Schlacken (Gemeinschaftsprojekt mit der Johannes Kepler Universität und der voestalpine, Linz, Österreich) und das Sortieren von Altmittel (Gemeinschaftsprojekt mit dem Adlershofer KMU LTB). Das deutsch-österreichische Projekt setzt dabei vor allem auf massives „parallel computing“, so dass eine große Menge simulierter Daten generiert und nahezu in Echtzeit mit der Messung abgeglichen werden kann. Bei der Altmittelsortierung hingegen werden tausende Spektren für Plasmen unterschiedlichster Materialien synthetisch generiert, in einer Datenbank hinterlegt und die gemessenen Spektren des unbekanntes Altmittels dann in Echtzeit während der Sortierung auf dem Fließband mittels komplexer chemometrischer Methoden mit den Modellspektren verglichen. Diese Methode erlaubt hohe Sortiergeschwindigkeiten bei hoher Genauigkeit und garantiert typischerweise mehr als 95 % korrekte Treffer.

Gornushkin und seine Kolleginnen und Kollegen sind aber schon einen Schritt weiter. „Wir sind nun dabei, die instrumentellen Aspekte der LIBS-Messung in unser Modell zu implementieren, so dass auch das technische Design, wie beispielsweise der optische Aufbau, von LIBS-Messgeräten wesentlich einfacher und effizienter wird als es heute der Fall ist“, so Gornushkin.

Begleitet wird diese theoretische Entwicklung mit dem Aufbau eines optimierten LIBS-Gerätes, das zukünftig als Benchmark-Instrument für Referenzanalysen in der BAM eingesetzt werden soll.

LIBS or laser-induced breakdown spectroscopy is not quite the laserlight sword that we know from Star Wars, but it is a very versatile, robust and fast analytical “weapon” which provides information on the elemental composition of different materials and objects of study. In this spectro-chemical analysis method a laser beam is focused onto the sample resulting in a microscopic, brightly shining plasma – an ablation cloud of charged particles – on the surface. The light emitted by this plasma can be used to identify chemical elements and determine their proportions. The major advantages of this technique are a reasonably large distance from the sample, enabling accurate measurements under harsh conditions and no requirement for sample preparation prior to analysis. LIBS is therefore an ideal tool for use in industrial process control, e.g. in material sorting for recycling or for the detection of environmental pollutants.

However, generally applicable analysis procedures are still lacking, basically because of LIBS’s great versatility towards applications. This holds both for recommendations on lasers and laser parameters, spectrometers and spectral resolution as well as for calibration standards and procedures to obtain reliable and reproducible results.

Modelling may be a possible solution that can provide the chemical analyst with instructions about the best possible measurement parameters before application. Such modelling also enables the development of calibration-free methods. A better understanding of the processes in plasma is essential.

A MATHEMATICAL MODEL FOR LASER-INDUCED PLASMAS

Dr. Igor Gornushkin from BAM’s 1.9 Chemical and Optical Sensing Division, together with his colleagues, has developed such a mathematical model of laser-induced plasmas. This model combines fluid dynamics of gases, radiative transfer and chemical equilibria into one single system of differential equations. It describes an axially symmetric ablation cloud that expands from a very hot plasma a few nanoseconds after the laser’s impingement and

is only present for a few microseconds until it cools. Simulations can determine important characteristics such as plasma temperature, particle density and emission spectrum of the plasma in both a spatially and time-resolved format. A comparison of these data with experimental results allows for a validation of the data.

Gornushkin targets the detection of small molecules, the reason being that not all elements have intensive emission lines in the visible spectral range. With this approach, chemical elements that emit invisible and therefore hard-to-detect radiation are identified as the building blocks of molecules. This trick facilitates the detection of radiation from such elements by the method. For example, chlorine-containing molecules emit light in the optically visible spectrum while elemental chlorine emits radiation in the spectral range of the difficult-to-access so-called vacuum ultraviolet. Methods that detect such rays however, are complicated and expensive.

The BAM research team therefore improved their models to predict why, when, where and how molecules are formed in laser-induced plasmas as accurately as possible. For example, the creation and dissociation pathways of N_2 , C_2 , Si_2 , CN, SiC, SiN, CaCl and $CaCl_2$ can be included in the model. These species emerge, for example, in the ablation of concrete in air and have great significance for one of the most promising applications of LIBS: measurement of chlorine in concrete. In the presence of moisture, chlorine leads to the notorious pitting corrosion of the reinforcing steel in concrete. If this tie-rod steel gets damaged, the component's load-carrying capacity is compromised.

LIBS: UNIVERSALLY APPLICABLE

Calibration-free analysis of industrial slags (joint project with the Johannes Kepler University and voestalpine, Linz, Austria) and sorting scrap metals (joint project with LTB, an SME in Adlershof) are two other excellent applications where the model developed by the Division is an important tool. The German-Austrian project largely uses extensive "parallel computing" which enables a large amount of simulated data to be generated and compared with the measurement virtually in real time. Scrap metal sorting on the other hand employs a comprehensive database of thousands of synthetically precomputed plasma model spectra for different materials which are then compared to the measured spectra of unknown scrap metals in real time during sorting on the conveyor belt by means of complex chemometric methods. This method ensures high sorting speeds combined with high accuracy and typically guarantees more than 95% accuracy of the results.

But Gornushkin and his colleagues are already one step ahead. "We are now going to implement the instrumental aspects of LIBS measurements in our model to shape the technical design such as the LIBS instruments' optical setup which will be much simpler and more efficient than today", says Gornushkin.

This theoretical development is accompanied by the construction of an optimised LIBS instrument to be used as a benchmarking tool for future reference analyses at BAM.

KONTAKT/CONTACT

Dr. phil. Igor B. Gornushkin
✉ Igor.Gornushkin@bam.de

1.9 Chemische und optische Sensorik
1.9 Chemical and Optical Sensing



EIN BLICK AUF FAST NICHTS: NANO

A LOOK AT ALMOST NOTHING: NANO



IST ES NANO ODER NICHT?

Nanopartikel werden in vielen Produkten eingesetzt, um deren Eigenschaften und Funktionen zu verbessern. So sind Titandioxid-Nanopartikel in bestimmten Sonnencremes enthalten, um den UV-Schutz sicherzustellen oder dienen als Rieselhilfe in pulverförmigen Fertignahrungsprodukten. Silber-Nanopartikel besitzen antibakterielle Eigenschaften und werden deshalb in vielen Sporttextilien eingearbeitet. Schlechte Gerüche lassen sich so vermeiden. Bei diesen Beispielen kommt es auf die Größe der Partikel an, da dieselben Substanzen als gröbere Partikel oder gelöste Stoffe nicht dieselben Eigenschaften besäßen.

Doch können Nanopartikel gesundheitsschädlich oder gar giftig sein? Diese Frage kann nicht pauschal beantwortet werden, sondern bedarf einer

eingehenden, materialabhängigen Untersuchung. Aber dazu muss man erst wissen, ab wann „nano“ auch „nano“ ist.

Zur Definition eines Nanomaterials hat die Europäische Kommission bereits 2011 folgende Empfehlung erarbeitet: Ein Material ist ein Nanomaterial, wenn mehr als die Hälfte der Partikel, aus denen das Material besteht, eine äußere Dimension im Bereich von 1 nm bis 100 nm aufweist. Brüssel strebt zudem an, dass Herstellerfirmen, die auf dem europäischen Markt tätig sind, all ihre Produkte gemäß dieser Empfehlung klassifizieren müssen. Für Kosmetika gilt schon heute in der EU eine Kennzeichnungspflicht für nanoskalige Inhaltsstoffe.

Dennoch: Eine Klassifizierung stellt einen großen Aufwand dar. Ein Grund ist die enorme Anzahl von Substanzen und Verbraucherprodukten auf dem europäischen Markt. Und obwohl die Definition auf den ersten Blick als einfach und einleuchtend erscheint, ist ihre Umsetzung weiterhin eine Herausforderung. Zwar gibt es keinen Mangel an ausgereiften Messtechniken zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung, allerdings sind bestimmte Techniken nur in bestimmten Fällen einsetzbar – abhängig von der Partikelgröße, der Partikelform, dem Agglomerationszustand, etc. Und auch die Kosten einer Analyse müssen im Blick behalten werden, variieren sie doch erheblich zwischen den Techniken.

Hier setzt das EU-Forschungsprojekt NanoDefine an. 29 Projektpartner in ganz Europa – darunter auch die BAM – forschen daran, eine validierte und standardisierte Methodologie zu entwickeln, die eine verlässliche und kostengünstige Klassifizierung als nano oder nicht-nano ermöglicht. Zu diesem Zweck werden die Stärken, Schwächen und Anwendbarkeitsgrenzen der verschiedenen Messtechniken zusammengetragen und durch einen Test an

realen, industriellen Materialien verifiziert. Die Auswahl dieser Materialien deckt einen möglichst breit gefächerten Kanon von partikelförmigen Substanzen mit unterschiedlichen Größen ab. Diese unterscheiden sich zusätzlich in ihrer Form, ihrer Zusammensetzung und der Herstellungsmethode. Außerdem werden auch Verbraucherprodukte untersucht, die Nanomaterialien enthalten, wie Sonnencremes, Zahnpasta oder fertige Backmischungen. Somit ist die Repräsentativität für das umfangreiche Spektrum der am Markt befindlichen pulverförmigen Substanzen gegeben. Das gewonnene Wissen dient als Basis für eine Software, welche die Anwender, also die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Laboratorien, bei der Klassifizierung eines Materials als nano oder nicht-nano bestmöglich unterstützt. Dies geschieht, indem sie, abhängig vom Vorwissen über das Material, geeignete Messtechniken vorschlägt und dabei auf die Kosten der Analyse achtet. Ist aber die Messunsicherheit der nach der Empfehlung durchgeführten Messung zu groß, schlägt die Software eine genauere aber meistens teurere Technik vor, um eine eindeutige Entscheidung herbeizuführen.

„Wir haben in diesem Projekt die Aufgabe, die unterschiedlichen Messtechniken auf ihre Leistungsfähigkeit hin zu bewerten und sie dann in die Methodologie aufzunehmen. Auch Vergleichsmessungen koordinieren wir, darunter auch viele Methoden, die aus unserem Hause kommen“, erklärt Dr. Vasile-Dan Hodoroaba aus dem BAM-Fachbereich 6.1 Oberflächenanalytik und Grenzflächenchemie.

HOCHSPEZIFISCHE ANALYSE VON NANOPARTIKELN

Eine Methode, um Silber-Nanopartikel zu untersuchen, ist die Asymmetrische Fluss-Feld-Fluss-Fraktionierung. Und weil die Anzahl von Silber-Nanopartikel enthaltenden Produkten stetig wächst, steigen Be-

denken über ihre potentielle Freisetzung in die Umwelt. Die Effekte und das Verhalten von Silber-Nanopartikeln in Umweltmatrices sind bisher noch nicht vollständig verstanden. Daher stehen sie unter dem Verdacht, Umweltschadstoffe zu sein.

Die geeignete Messmethode muss hochempfindlich sein, mit geringen Nachweisgrenzen, denn die Konzentration von Silber-Nanopartikeln in Umweltmatrices ist gering. Aus diesem Grund hat Dr. Steffen Weidner auf die Asymmetrische Fluss-Feld-Fluss-Fraktionierung verbunden mit der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie gesetzt. Mit dieser Methode können er und sein Team parallel Partikelgröße und quantitativ den Gehalt an Silber bestimmen. Es ist ein vielversprechendes Verfahren zur Analyse von Silber-Nanopartikeln aber auch von anderen umweltrelevanten Proben mit geringen Nanopartikelkonzentrationen.

SASFIT UND MCSAS – ZWEI, DIE SICH ERGÄNZEN

Eine grundlegende Methode, um Strukturen oder Parameter im Nanometerbereich zu erfassen, ist die Kleinwinkelstreuung. Inhomogenitäten in einem Material im Größenbereich von 0,5 nm bis hin zu mehr als 1000 nm lassen sich damit bestimmen. Diese Inhomogenitäten können sowohl in einem Material eingeschlossene Nanopartikel als auch andere Unterschiede, wie Dichte oder Zusammensetzung des Materials sein. So lassen sich Größen- und Abstandsverteilungen, chemische Struktur, Form und Zusammensetzung sowie die Volumenanteile dieser Inhomogenitäten ermitteln. Doch aus den Rohdaten der Kleinwinkelstreuung lassen sich keine Aussagen direkt treffen. Algorithmen müssen hier angewendet werden und somit SASfit und McSAS, zwei Computerprogramme zur Auswertung der Streukurven.

Die Forschergruppe um Dr. Andreas Thünemann, Leiter des BAM-Fachbereichs 6.5 Polymere in Life Science und Nanotechnologie, hat die Auswertungsprogramme technisch weiterentwickelt und für die Fachwelt offen zugänglich gemacht. Während SASfit Annahmen von Form und Größenverteilung für das zugrundeliegende Modell benötigt, verlangt McSAS – eine Monte-Carlo-Simulation – nur eine Annahme: Die Form des Nanopartikels.

„Die beiden Programme wurden schon vor vielen Jahren entwickelt. Wir arbeiten seit einigen Jahren stetig an deren Weiterentwicklung. Für unsere Kolleginnen und Kollegen, die sich weltweit mit der Analyse der Kleinwinkelstreuung beschäftigen, sind sie sehr hilfreich, vor allem, weil der Quellcode offen ist. So kann man nachvollziehen, was das Programm mit meinen Daten macht. Und: Wir bekommen Rückmeldungen zu Problemen oder weiterführende Forschungsfragen. Das ist eine Weiterentwicklung mit Hilfe vieler Expertinnen und Experten“, sagt Dr. Brian Richard Pauw aus dem BAM-Fachbereich 6.5.

Es gibt nur wenig Auswertungsprogramme für Kleinwinkelstreuung, vielleicht auch deshalb, weil die weltweite Gemeinschaft der Forscherinnen und Forscher auf diesem Gebiet klein ist. Die Artikel über SASfit und McSAS liegen auf den Plätzen 9 und 10 der meistgelesenen Artikel der Zeitschrift *Journal of Applied Crystallography*. Und so wundert es nicht, dass SASfit, eine Kooperationsarbeit mit Dr. Joachim Kohlbrecher vom Paul Scherrer Institut in der Schweiz, 879 Mal in den ersten 11 Monaten und McSAS 1168 Mal in den ersten 16 Monaten seit Veröffentlichung heruntergeladen wurden.

IS IT NANO OR IS IT NOT?

Nanoparticles are used in many products to improve their properties and functions. Thus titanium dioxide

nanoparticles are contained in certain sunscreens to ensure UV protection and serve as an anticaking agent in powdered convenience food products. Silver nanoparticles have antibacterial properties and are therefore incorporated in many sports textiles. Bad odours can be avoided this way. The effect depends on the size of the particles in these examples because the same substances as coarser particles or solutes, do not possess the same properties.

But can nanoparticles be harmful or even toxic? This question cannot be answered in general terms but requires a detailed, material-specific investigation. To be able to do this one needs to know when a “nano” is really “nano”.

The European Commission developed the following recommendation for the definition of a nanomaterial in 2011: a material is nanomaterial when more than half of the particles that make up the material have an external dimension in the range of 1 nm to 100 nm. Brussels is striving to ensure that manufacturers who are active in the European market, classify all their products in accordance with this recommendation. For cosmetics, a compulsory labelling is already in force for nanoscale ingredients in the EU today.

Nevertheless, a classification takes great effort. One reason is the enormous number of substances and consumer products in the European market. Although the definition seems at first glance to be simple and obvious, its implementation is still a challenge. While there is no shortage of sophisticated measurement techniques to determine the particle size distribution, certain techniques can only be used in certain cases – dependent on particle size, particle shape, agglomeration state, etc. The cost of an analysis must also be kept in view, it may vary considerably depending on the techniques.

This is where the EU research project NanoDefine is significant. 29 project partners throughout Europe – including BAM – carry out research into developing a validated and standardised methodology that allows a reliable and economic classification for nano or non-nano. To this end, the strengths, weaknesses and applicability limits of various measurement techniques are collated and verified by a test on real industrial materials. The selection of these materials covers as broad a range as possible of different sized particulate matter. They also differ in their shape, composition and manufacturing method. In addition, nanomaterial contained in consumer products such as sunscreen, toothpaste or finished baking mixes are also tested. Thus the extensive range of powdery substances available on the market is represented. The knowledge gained is used as a basis for software that best supports the user, i.e. laboratory staff when classifying a material as nano or non-nano. Depending on prior knowledge of the material, this is done by suggesting appropriate measurement techniques while paying attention to the cost of the analysis. However, if uncertainty about the measurements performed according to the recommendation is too large, the software suggests a more accurate but usually more expensive technology to facilitate a clear decision.

“Within this project, we are tasked with evaluating the different measuring techniques for their performance and then incorporating them into the methodology. We also coordinate comparative measurements, including many methods that come from our institute”, explains Dr. Vasile-Dan Hodoroaba of BAM’s 6.1 Surface Analysis and Interfacial Chemistry Division.

HIGHLY SPECIFIC ANALYSIS OF NANOPARTICLES

Silver nanoparticles can be investigated using e.g. the asymmetric flow field-flow fractionation. However, concerns are rising about their potential release into the environment because the number of products containing silver nanoparticles is steadily increasing. The effects and the behaviour of silver nanoparticles in environmental matrices are not yet fully understood. Therefore, they are suspected of being environmental pollutants.

The appropriate measurement method must be highly sensitive with low detection limits because the concentration of silver nanoparticles in environmental matrices is low. For this reason, Dr. Steffen Weidner has used the asymmetric flow field-flow fractionation method combined with inductively coupled plasma mass spectrometry. This method enables him and his team to concurrently determine particle size and the silver content quantitatively. It is a promising method for the analysis of silver nanoparticles and also of other environmental samples with low nanoparticle concentrations.

SASFIT AND MCSAS – TWO COMPLEMENTARY PROJECTS

Small-angle scattering is a basic method for the detection of structures or parameters in the nanometre range. Inhomogeneities in a material in the size range of 0.5 nm to over 1000 nm can thus be determined. These inhomogeneities may be both nanoparticles included in a material and other differences such as density or composition of the material. Thus size and distance distributions, chemical structure, form, composition and volume fractions of these inhomogeneities can be determined. However, no direct statements can be drawn from the small-angle scattering raw

data, rather algorithms, e.g. SASfit and McSAS computer programs must be applied to evaluate the scattering curves.

The research group headed by Dr. Andreas Thünemann, Head of BAM's 6.5 Polymers in Life Science and Nanotechnology Division have technically further developed the evaluation program and made it openly accessible to the scientific community. While SASfit needs assumptions for shape and size distribution for the underlying model, McSAS – a Monte Carlo method – only requires one assumption: the shape of the nanoparticle.

“The two programs were developed many years ago. We have been constantly working on their development for a number of years. They are very helpful for our colleagues who deal with the analysis of small-angle scattering all over the world, especially because the source code is open. Thus one can understand what the program does with the data and obtain feedback to problems or further research questions. This is a development achieved with the help of many experts”, says Dr. Brian Richard Pauw of BAM's 6.5 Division.

There are only a few evaluation programs for small-angle scattering

available, perhaps because the global community of researchers in this area is small. The articles about SASfit and McSAS are in positions 9 and 10 of the most read articles in the *Journal of Applied Crystallography*. It is no wonder that SASfit, co-authored by Dr. Joachim Kohlbrecher of the Paul Scherrer Institute in Switzerland, has been downloaded 879 times in the first 11 months and McSAS 1168 times in the first 16 months since their publication.



Foto: Michael Danner

NANODEFINE

KONTAKT/CONTACT

Dr.-Ing. Vasile-Dan Hodoroaba
✉ Dan.Hodoroaba@bam.de

6.1 Oberflächenanalytik und Grenzflächenchemie
6.1 Surface Analysis and Interfacial Chemistry

NANO-Ag

KONTAKT/CONTACT

Dr. rer. nat. Steffen Weidner
✉ Steffen.Weidner@bam.de

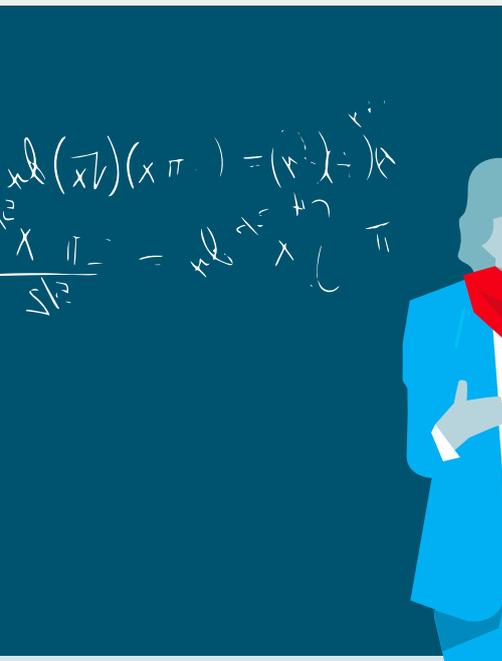
1.3 Strukturanalytik
1.3 Structure Analysis

SASFIT UND MCSAS

KONTAKT/CONTACT

Dr. rer. nat. habil.
Andreas Thünemann
✉ Andreas.Thuenemann@bam.de

6.5 Polymere in Life Science und Nanotechnologie
6.5 Polymers in Life Sciences and Nanotechnology



38 PATENTE
PATENTS

150 LEHRAUFTRÄGE UND PROFESSUREN
TEACHING POSITIONS



1767 PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE
PUBICATIONS AND PRESENTATIONS





1636 BESCHÄFTIGTE
STAFF

153 PROMOVIERENDE
PH.D. STUDENTS

63 AUSZUBILDENDE
TRAINEES



137 MIO € ETAT
BUDGET

Stand: 2015

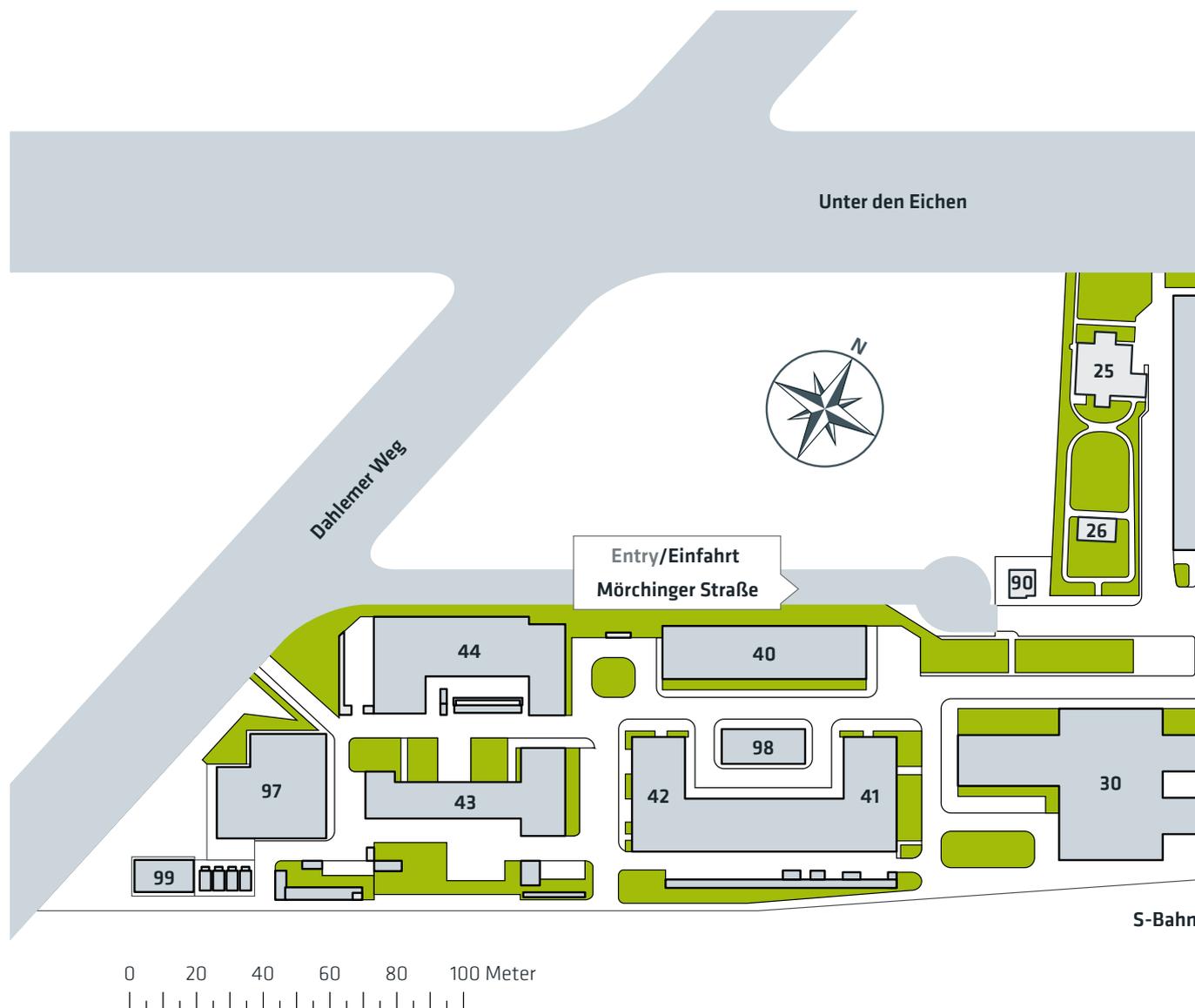
DIE BAM IN ZAHLEN

BAM IN FIGURES

LAGEPLÄNE

SITEMAPS

STAMMGELÄNDE/HEADQUARTERS LICHTERFELDE | UNTER DEN EICHEN 87 | 12205 BERLIN



- | | | | |
|----|------------------------------------|----|--------------------------------|
| 1 | Adolf-Martens-Haus Mitte | 15 | Wöhler-Haus Süd |
| 2 | Bürogebäude | 16 | Wöhler-Haus Ost |
| 3 | Adolf-Martens-Haus Süd | 20 | Büro- und Laboratoriumsgebäude |
| 4 | Bürogebäude | 21 | Prüf- und Versuchshalle |
| 5 | Ludwig-Erhard-Saal und Bürogebäude | 22 | Prüf- und Versuchshalle |
| 6 | Kantine | 23 | Büro- und Laboratoriumsgebäude |
| 7 | Bürogebäude | 24 | Prüf- und Versuchshalle |
| 8 | Bibliothek | 25 | Bürogebäude |
| 10 | Adolf-Martens-Haus Ost | 26 | Bürogebäude |
| 12 | Wöhler-Haus West | 30 | Herzberg-Haus |

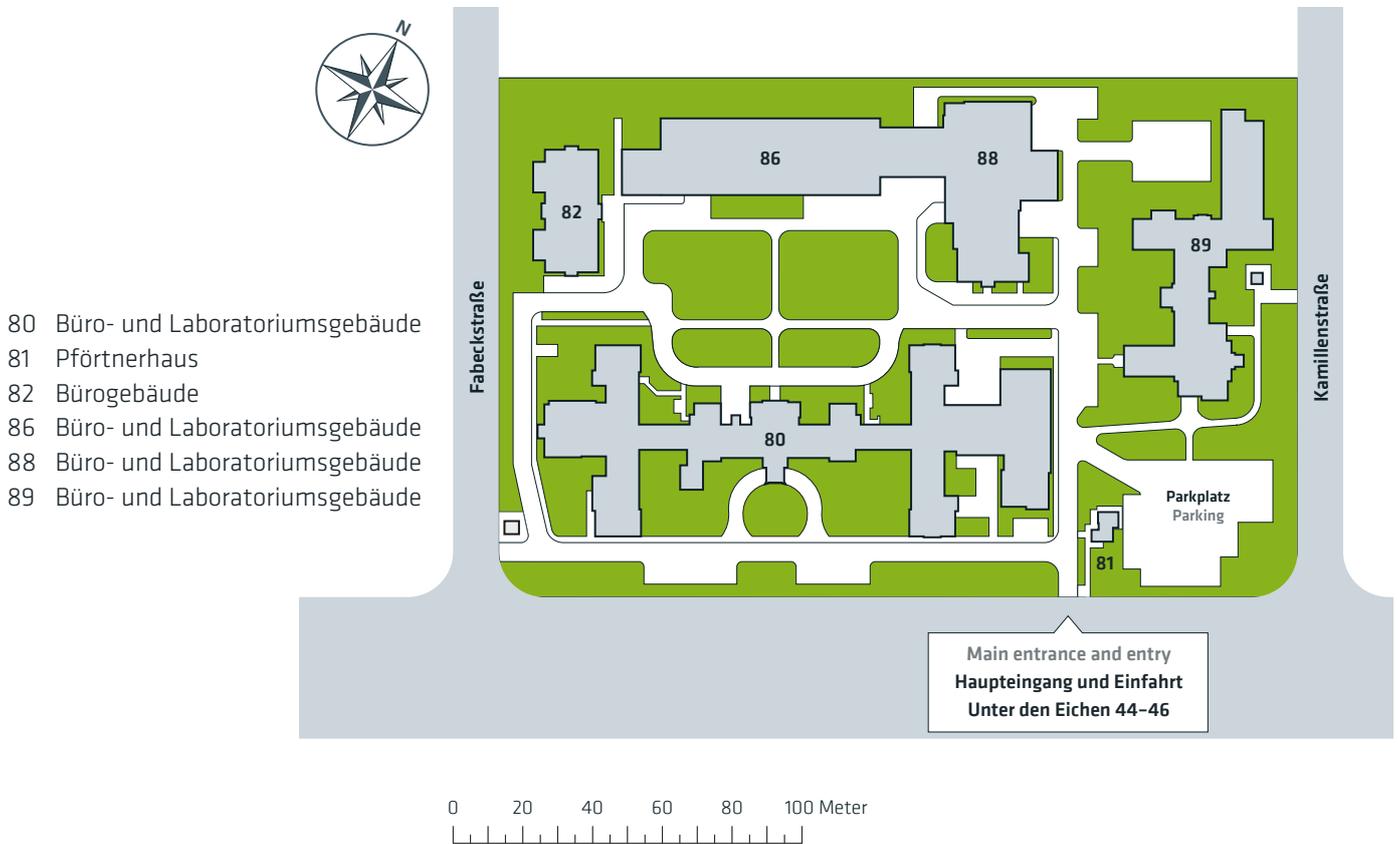


- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 40 Rimarski-Haus | 93 Lager |
| 41 Wilhelm-Jost-Haus | 94 Garagengebäude |
| 42 Wilhelm-Jost-Haus | 96 Werkstattgebäude |
| 43 Büro- und Laboriumsgebäude | 97 Haus für Berufliche Ausbildung |
| 44 Büro- und Laboriumsgebäude | 98 Bürogebäude |
| 50 Adolf-Martens-Haus West | 99 Lager |
| 51 Laboriumsgebäude | |
| 60 Berthold-Haus | |
| 90 Pförtnerhaus | |
| 91 Bürogebäude | |

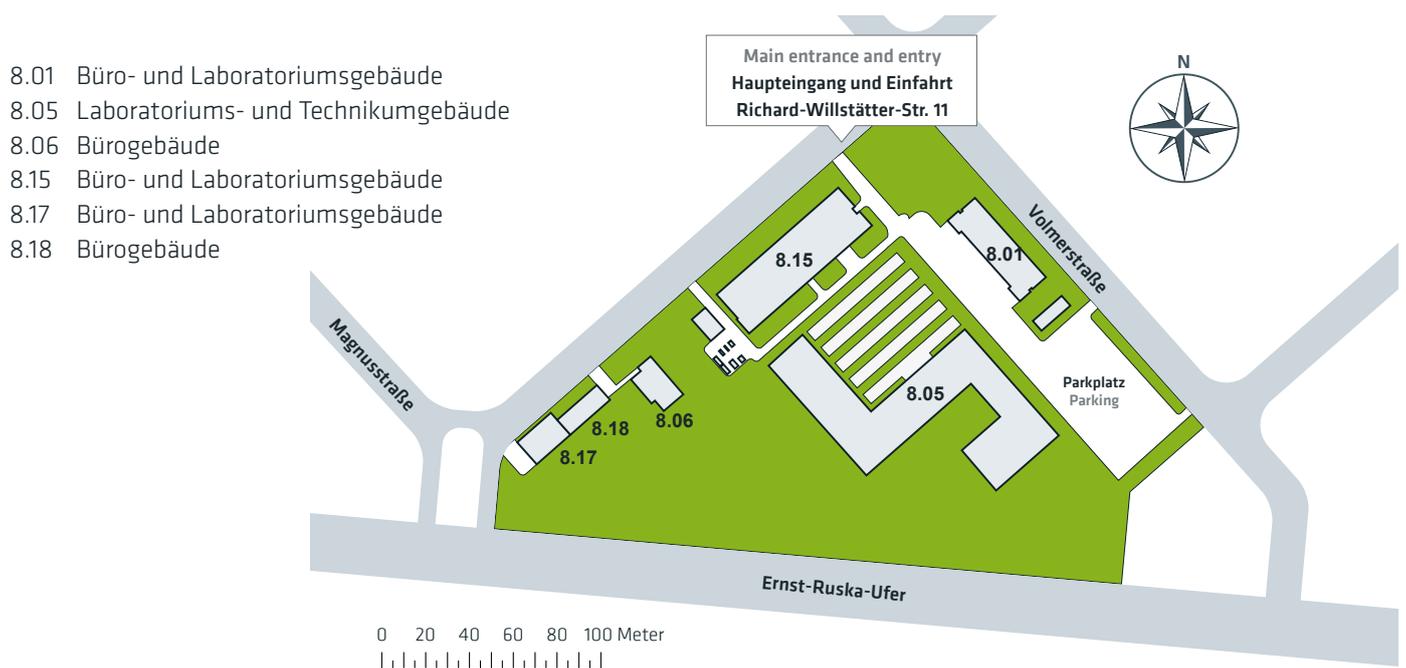
LAGEPLÄNE

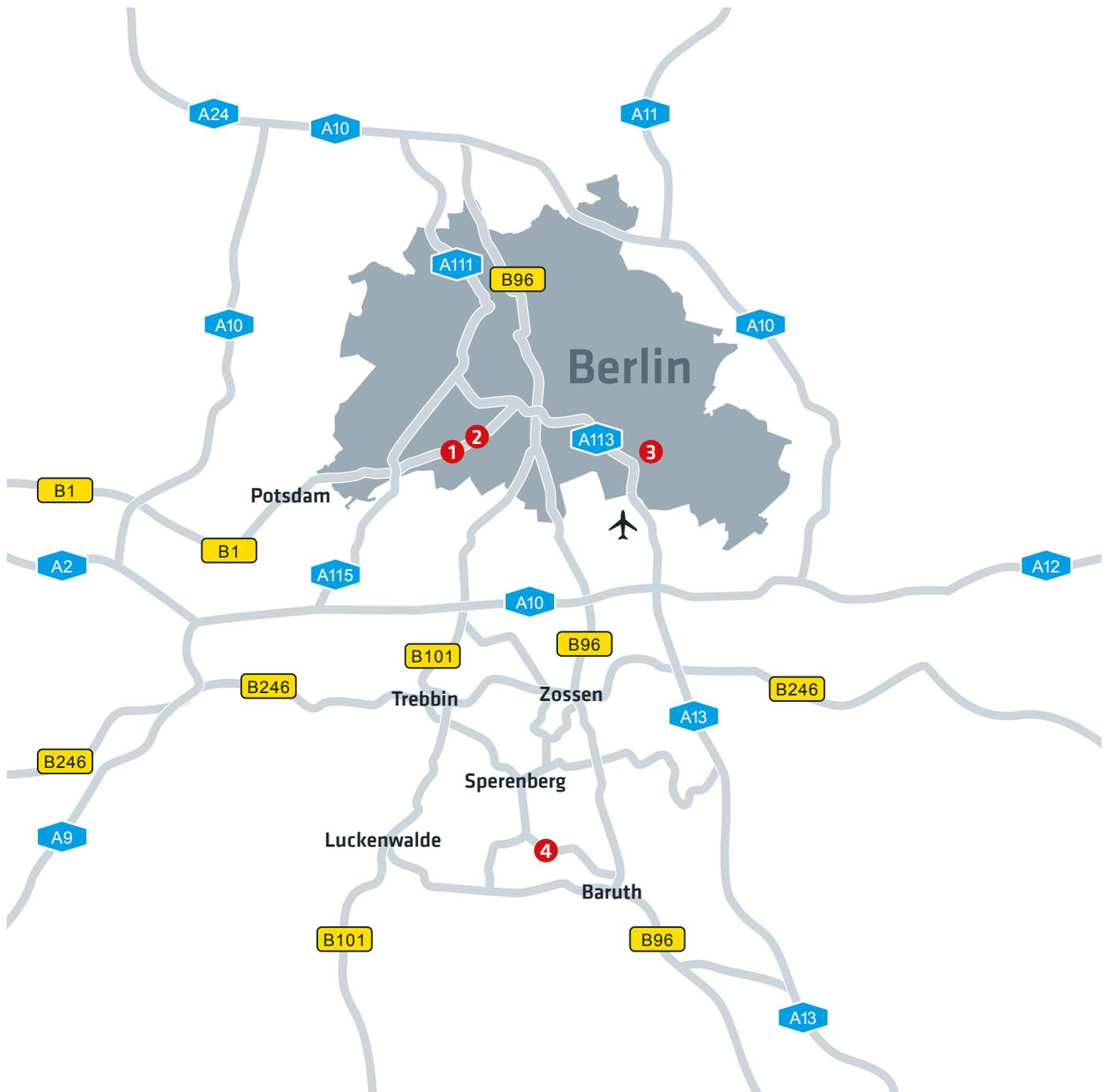
SITEMAPS

ZWEIGGELÄNDE/BRANCH FABECKSTRASSE | UNTER DEN EICHEN 44-46 | 12203 BERLIN



ZWEIGGELÄNDE/BRANCH ADLERSHOF | RICHARD-WILLSTÄTTER-STRASSE 11 | 12489 BERLIN





● STANDORTE | LOCATIONS

- 1 Stammgelände/Headquarters Lichterfelde
- 2 Zweiggelände/Branch Fabekstraße
- 3 Zweiggelände/Branch Adlershof
- 4 BAM Testgelände Technische Sicherheit/Test site technical safety

AUFGABEN | STRUKTUR | KONTAKTE

INTERNE REVISION

K. Simon
Tel.: 3022
Kathrin.Simon@bam.de

PRÄSIDENT Prof. Dr. U. Panne
Tel.: 1000 Fax: 1007
Ulrich.Panne@bam.de

VIZEPRÄSIDENT Prof. Dr. Th. Böllinghaus
Tel.: 1020 Fax: 1027
Thomas.Boellinghaus@bam.de

Referat PST.
PRÄSIDIALE STABSTELLE

Prof. Dr. U. Panne
Tel.: 1000 Fax: 1007
Ulrich.Panne@bam.de

Referat UK.
UNTERNEHMENSKOMMUNIKATION

V. Quinque
Tel.: 1002 Fax: 71002
Venio.Quinque@bam.de

**ABTEILUNG 1
ANALYTISCHE CHEMIE;
REFERENZMATERIALIEN**

Prof. Dr. U. Panne
Tel.: 1160 Fax: 1167
Ulrich.Panne@bam.de

**ABTEILUNG 2
CHEMISCHE
SICHERHEITSTECHNIK**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

**ABTEILUNG 3
GEFAHRGUT-
UMSCHLISSUNGEN**

Dr. T. Goedecke
Tel.: 1310 Fax: 1307
Thomas.Goedecke@bam.de

**ABTEILUNG 4
MATERIAL UND
UMWELT**

Prof. Dr. A. Gorbushina
Tel.: 1400 Fax: 1407
Anna.Gorbushina@bam.de

**ABTEILUNG 5
WERKSTOFFTECHNIK**

Dr. P. D. Portella
Tel.: 1500 Fax: 1507
Pedro.Portella@bam.de

**ABTEILUNG 6
MATERIALSCHUTZ UND
OBERFLÄCHENTECHNIK**

Prof. Dr. H. Sturm
Tel.: 1690 Fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Fachbereich 1.1
**ANORGANISCHE
SPURENANALYTIK**

Dr. N. Jakubowski
Tel.: 1110 Fax: 1117
Norbert.Jakubowski@bam.de

Fachbereich 2.1
GASE, GASANLAGEN

Dr. V. Schröder
Tel.: 1210 Fax: 1217
Volkmar.Schroeder@bam.de

Fachbereich 3.1
GEFAHRGUTVERPACKUNGEN

Dr. Th. Goedecke
Tel.: 1310 Fax: 1317
Thomas.Goedecke@bam.de

Fachbereich 4.1
**BIOLOGISCHE MATERIAL-
SCHÄDIGUNG UND
REFERENZORGANISMEN**

Dr. H.-J. Kunte
Tel.: 1410 Fax: 1417
Hans-Joerg.Kunte@bam.de

Fachbereich 5.1
**MATERIALGRAPHIE,
FRAKTOGRAPHIE UND
ALTERUNG TECHNISCHER
WERKSTOFFE**

Dr. A. Kranzmann
Tel.: 1510 Fax: 1517
Axel.Kranzmann@bam.de

Fachbereich 6.1
**OBERFLÄCHENANALYTIK
UND
GRENZFLÄCHENCHEMIE**

Dr. W. Unger
Tel.: 1823 Fax: 1827
Wolfgang.Unger@bam.de

Fachbereich 1.2
**ORGANISCHE
SPURENANALYTIK**

Prof. Dr. I. Nehls
Tel.: 1173 Fax: 1177
Irene.Nehls@bam.de

Fachbereich 2.2
**REAKTIONSFÄHIGE
STOFFE UND
STOFFSYSTEME**

Dr. K.-D. Wehrstedt
Tel.: 1220 Fax: 1227
Klaus-Dieter.Wehrstedt@bam.de

Fachbereich 3.2
**GEFAHRGUTTANKS UND
UNFALLMECHANIK**

Prof. Dr. F. Otremba
Tel.: 1320 Fax: 1327
Frank.Otremba@bam.de

Fachbereich 4.2
**MATERIALIEN UND
LUFTSCHADSTOFFE**

Dr. O. Jann
Tel.: 1420 Fax: 1427
Oliver.Jann@bam.de

Fachbereich 5.2
**EXPERIMENTELLE UND
MODELLBASIERTE
WERKSTOFFMECHANIK**

Prof. Dr. B. Skrotzki
Tel.: 1520 Fax: 1527
Birgit.Skrotzki@bam.de

Fachbereich 6.2
**GRENZFLÄCHENPROZESSE
UND KORROSION**

Prof. Dr. H. Sturm
Tel.: 1690 Fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Fachbereich 1.3
STRUKTURANALYTIK

Dr. F. Emmerling
Tel.: 1133 Fax: 1137
Franziska.Emmerling@bam.de

Fachbereich 2.3
EXPLOSIVSTOFFE

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 3.3
**SICHERHEIT VON
TRANSPORTBEHÄLTERN**

Dr. T. Goedecke
Tel.: 1310 Fax: 1307
Thomas.Goedecke@bam.de

Fachbereich 4.3
**SCHADSTOFFTRANSFER
UND UMWELT-
TECHNOLOGIEN**

Dr. F.-G. Simon
Tel.: 1430 Fax: 1437
Franz-Georg.Simon@bam.de

Fachbereich 5.3
**MECHANIK DER
POLYMERWERKSTOFFE**

Dr. Ch. Marotzke
Tel.: 1620 Fax: 1627
Christian.Marotzke@bam.de

Fachbereich 6.3
**MAKRO-TRIBOLOGIE UND
VERSCHLEISSSCHUTZ**

Dr. M. Woydt
Tel.: 1811 Fax: 1817
Mathias.Woydt@bam.de

Fachbereich 1.4
PROZESSANALYTIK

Dr. M. Maiwald
Tel.: 1140 Fax: 1147
Michael.Maiwald@bam.de

Fachbereich 2.4
**KONSTRUKTIVER BRAND-
UND EXPLOSIONSSCHUTZ
GASE**

Dr. K. Holtappels
Tel.: 1240 Fax: 1249
Kai.Holtappels@bam.de

Fachbereich 3.4
**SICHERHEIT VON
LAGERBEHÄLTERN**

Prof. Dr. H. Völzke
Tel.: 1340 Fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Fachbereich 4.4
**THERMOCHEMISCHE
RESTSTOFFBEHANDLUNG
UND WERTSTOFFRÜCK-
GEWINNUNG**

Dr. Ch. Adam
Tel.: 15670 Fax: 1437
Christian.Adam@bam.de

Fachbereich 5.4
**KERAMISCHE
PROZESSTECHNIK UND
BIOWERKSTOFFE**

Prof. Dr. J. Günster
Tel.: 1540 Fax: 1547
Jens.Guenster@bam.de

Fachbereich 6.4
**TECHNOLOGIEN MIT
NANOWERKSTOFFEN**

Prof. Dr. H. Sturm
Tel.: 1690 Fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Fachbereich 1.5
PROTEINANALYTIK

Dr. M. G. Weller
Tel.: 1150 Fax: 1157
Michael.Weller@bam.de

Fachbereich 2.5
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 3.5
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 4.5
**KUNST- UND
KULTURGUTANALYSE**

Prof. Dr. O. Hahn
Tel.: 3821 Fax: 1427
Oliver.Hahn@bam.de

Fachbereich 5.5
TECHNISCHE KERAMIK

Dr. T. Rabe
Tel.: 1542 Fax: 1547
Torsten.Rabe@bam.de

Fachbereich 6.5
**POLYMERE IN
LIFE SCIENCE UND
NANOTECHNOLOGIE**

Dr. A. Thünnemann
Tel.: 1610 Fax: 1617
Andreas.Thuenemann@bam.de

Fachbereich 1.6
**ANORGANISCHE
REFERENZMATERIALIEN**

Dr. S. Recknagel
Tel.: 1111 Fax: 1117
Sebastian.Recknagel@bam.de

Fachbereich 2.6
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 3.6
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 4.6
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 5.6
GLAS

Dr. R. Müller
Tel.: 5610
Ralf.Mueller@bam.de

Fachbereich 6.6
**NANO-TRIBOLOGIE UND
NANOSTRUKTURIERUNG
VON OBERFLÄCHEN**

Prof. Dr. H. Sturm
Tel.: 1690 Fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Fachbereich 1.7
LEBENSMITTELANALYTIK

Dr. M. Koch
Tel.: 1170 Fax: 1177
Matthias.Koch@bam.de

Fachbereich 2.7
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 3.7
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 4.7
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 5.7
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 6.7
**OBERFLÄCHENMODIFIZIE-
RUNG UND -MESSTECHNIK**

Dr. U. Beck
Tel.: 1821 Fax: 1827
Uwe.Beck@bam.de

Fachbereich 1.8
UMWELTANALYTIK

Dr. R. Schneider
Tel.: 1151 Fax: 1157
Rudolf.Schneider@bam.de

Fachbereich 2.8
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 3.8
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 4.8
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 5.8
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 6.8
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 1.9
**CHEMISCHE UND OPTISCHE
SENSORIK**

Dr. K. Rurack
Tel.: 1190 Fax: 1157
Knut.Rurack@bam.de

Fachbereich 2.9
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 3.9
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 4.9
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 5.9
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 6.9
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 1.10
BIOPHOTONIK

Dr. U. Resch-Genger
Tel.: 1134 Fax: 1157
Ute.Resch@bam.de

Fachbereich 2.10
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 3.10
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 4.10
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 5.10
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Fachbereich 6.10
**ANALYTIK VON
KLEBERSTOFFEN**

Dr. Th. Schendler
Tel.: 1200 Fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

 **DIREKTORIUM DER BAM**

VORSITZENDER DES KURATORIUMS

 S. Schnorr
Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie

WISSENSCHAFTLICHE BEIRÄTE DER BAM

ENERGIE Vorsitzender: Dr. E. h. B. Fischer	MATERIAL Vorsitzender: Prof. Dr. H.-W. Zoch
INFRASTRUKTUR Vorsitzender: Dr. O. Salvi	ANALYTICAL SCIENCES Vorsitzender: Prof. Dr. K.-P. Jäckel
UMWELT Vorsitzender: Prof. Dr. H. Krug	

**ABTEILUNG 7
BAUWERKSSICHERHEIT**

 Dr. A. Rogge
Tel.: 1700 Fax: 1707
Andreas.Rogge@bam.de

**ABTEILUNG 8
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG**

 Dr. W. Daum
Tel.: 1800 Fax: 1807
Werner.Daum@bam.de

**ABTEILUNG 9
KOMPONENTEN-
SICHERHEIT**

 Prof. Dr. Th. Böllinghaus
Tel.: 1020 Fax: 1027
Thomas.Boellinghaus@bam.de

**ABTEILUNG S
QUALITÄTS-
INFRASTRUKTUR**

 Dr. M. Nitsche
Tel.: 1900 Fax: 1907
Michael.Nitsche@bam.de

**ABTEILUNG Z
ZENTRALE
DIENSTLEISTUNGEN**

 Ch. von Vangerow
Tel.: 2000 Fax: 2127
Christine.von_Vangerow@bam.de

**Fachbereich 7.1
BAUSTOFFE**
Dr. B. Meng
Tel.: 1710 Fax: 1717
Birgit.Meng@bam.de

**Fachbereich 8.1
SENSORIK, MESS- UND
PRÜFTECHNISCHE
VERFAHREN**
Dr. W. Daum
Tel.: 1910 Fax: 1917
Werner.Daum@bam.de

**Fachbereich 9.1
BETRIEBSFESTIGKEIT UND
BAUTEILSICHERHEIT**
Dr. D. Klingbeil
Tel.: 1530 Fax: 1537
Dietmar.Klingbeil@bam.de

**Referat 5.1
QUALITÄT IM PRÜFWESEN**
Dr. M. Nitsche
Tel.: 1900 Fax: 1907
Michael.Nitsche@bam.de

**Referat Z.1
ORGANISATION,
CONTROLLING**
M. Haas
Tel.: 2010 Fax: 2294
Marko.Haas@bam.de

**Fachbereich 7.2
INGENIEURBAU**
Dr. M. Baeßler
Tel.: 1724 Fax: 1727
Matthias.Baessler@bam.de

**Fachbereich 8.2
ZERSTÖRUNGSFREIE
SCHADENSDIAGNOSE UND
UMWELTMESSVERFAHREN**
Dr. H. Wiggenhauser
Tel.: 1440 Fax: 1447
Herbert.Wiggenhauser@bam.de

**Fachbereich 9.2
VERSUCHSANLAGEN UND
PRÜFTECHNIK**
L. Zimne
Tel.: 1930 Fax: 1937
Lutz.Zimne@bam.de

**Referat 5.2
AKKREDITIERUNG
UND KONFORMITÄTS-
BEWERTUNG**
Dr. G. Dudek
Tel.: 1942 Fax: 1947
Gabriele.Dudek@bam.de

**Referat Z.2
HAUSHALT**
M. Holzhauser
Tel.: 2110 Fax: 2127
Marion.Holzhauser@bam.de

**Fachbereich 7.3
BRANDINGENIEURWESEN**
Dr. A. Rogge
Tel.: 1700 Fax: 1747
Andreas.Rogge@bam.de

**Fachbereich 8.3
RADIOLOGISCHE
VERFAHREN**
Dr. U. Ewert
Tel.: 1830 Fax: 1837
Uwe.Ewert@bam.de

**Fachbereich 9.3
SCHWEISSTECHNISCHE
FERTIGUNGSVERFAHREN**
Prof. Dr. M. Rethmeier
Tel.: 1550 Fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

**Referat 5.3
INTERNATIONALER
TECHNOLOGIETRANSFER**
Dr. M. Nitsche
Tel.: 1900 Fax: 3755
Michael.Nitsche@bam.de

**Referat Z.3
PERSONAL,
BERUFLICHE AUSBILDUNG**
S. Tschiersich
Tel.: 2130 Fax: 2137
Sabine.Tschiersich@bam.de

**Fachbereich 7.4
BAUSTOFFTECHNOLOGIE**
Dr. H.-C. Kühne
Tel.: 1711 Fax: 1717
Hans-Carsten.Kuehne@bam.de

**Fachbereich 8.4
AKUSTISCHE UND
ELEKTROMAGNETISCHE
VERFAHREN**
Dr. W. Daum
Tel.: 1800 Fax: 1807
Werner.Daum@bam.de

**Fachbereich 9.4
INTEGRITÄT VON
SCHWEISSVERBINDUNGEN**
Prof. Dr. T. Kannengießler
Tel.: 1551 Fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat 5.4
ÖKODESIGN UND ENERGIE-
VERBRAUCHSKENN-
ZEICHNUNG**
Dr. F. Akkerman
Tel.: 3810 Fax: 1907
Floris.Akkerman@bam.de

**Referat Z.4
INFORMATIONSTECHNIK**
Dr. B. Schmitz
Tel.: 1920 Fax: 1927
Birte.Schmitz@bam.de

**Fachbereich 7.5
TECHNISCHE
EIGENSCHAFTEN VON
POLYMERWERKSTOFFEN**
Dr. B. Schartel
Tel.: 1021 Fax: 1747
Bernhard.Schartel@bam.de

**Fachbereich 8.5
MIKRO-ZFP**
Prof. Dr. G. Bruno
Tel.: 1850 Fax: 1837
Giovanni.Bruno@bam.de

**Fachbereich 9.5
INTEGRITÄT VON
SCHWEISSVERBINDUNGEN**
Prof. Dr. T. Kannengießler
Tel.: 1551 Fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat 5.5
INTEGRITÄT VON
SCHWEISSVERBINDUNGEN**
Prof. Dr. T. Kannengießler
Tel.: 1551 Fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat Z.5
BESCHAFFUNG,
MATERIALWIRTSCHAFT**
V. Bingöl
Tel.: 2140 Fax: 2147
Veli.Bingoel@bam.de

**Fachbereich 7.6
KORROSION UND
KORROSIONSSCHUTZ**
Dr. A. Burkert
Tel.: 1731 Fax: 1737
Andreas.Burkert@bam.de

**Fachbereich 8.6
FASEROPTISCHE
SENSORIK**
Dr. K. Krebber
Tel.: 1915 Fax: 1917
Katerina.Krebber@bam.de

**Fachbereich 9.6
INTEGRITÄT VON
SCHWEISSVERBINDUNGEN**
Prof. Dr. T. Kannengießler
Tel.: 1551 Fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat 5.6
INTEGRITÄT VON
SCHWEISSVERBINDUNGEN**
Prof. Dr. T. Kannengießler
Tel.: 1551 Fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat Z.6
INNERER DIENST**
Th. Becker
Tel.: 2030 Fax: 2037
Thomas.Becker@bam.de

**Fachbereich 7.7
KORROSION UND
KORROSIONSSCHUTZ**
Dr. A. Burkert
Tel.: 1731 Fax: 1737
Andreas.Burkert@bam.de

**Fachbereich 8.7
THERMOGRAFISCHE
VERFAHREN**
Dr. Ch. Maierhofer
Tel.: 1441 Fax: 1845
Christiane.Maierhofer@bam.de

**Fachbereich 9.7
INTEGRITÄT VON
SCHWEISSVERBINDUNGEN**
Prof. Dr. T. Kannengießler
Tel.: 1551 Fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat 5.7
INTEGRITÄT VON
SCHWEISSVERBINDUNGEN**
Prof. Dr. T. Kannengießler
Tel.: 1551 Fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat Z.7
BAUTEN**
A. Scharlau
Tel.: 2220 Fax: 2227
Angelika.Scharlau@bam.de

**Referat Z.8
TECHNIK DER
ÖFFENTLICHKEITSARBEIT,
FACHINFORMATION**
Th. Meyer
Tel.: 2080 Fax: 2037
Thomas.Meyer@bam.de

BAM-ZERTIFIZIERUNGSSTELLE
GESCHÄFTSSTELLE DES AKKREDITIERUNGSBEIRATS
PRODUKTINFOSTELLE
ARBEITSSCHUTZ, BETRIEBLICHER UMWELTSCHUTZ
BEAUFTRAGTER FÜR KORRUPTIONSPRÄVENTION
DATENSCHUTZBEAUFTRAGTER
GEHEIMSCHUTZBEAUFTRAGTER
GLEICHSTELLUNGSBEAUFTRAGTE
IT-SICHERHEITBEAUFTRAGTE
PERSONALRAT (VORSITZENDER)
SCHWERBEHINDERTENVERTRETER
QUALITÄTSMANAGEMENTBEAUFTRAGTE

Dr. R. Schmidt	Tel.: 3715	bzs@bam.de
Dr. F. Behrens	Tel.: 3711	gs.akkreditierungsbeirat@bam.de
O. Mätzner	Tel.: 3748	Produktinfostelle@bam.de
U. Schmies	Tel.: 1006	Uwe.Schmies@bam.de
Dr. W. Daum	Tel.: 1910	Werner.Daum@bam.de
A. Nymtschefscky	Tel.: 3773	Datenschutz@bam.de
Dr. F. Keidel	Tel.: 3036	Geheimschutz@bam.de
K. Pachaly	Tel.: 2310	Gleichstellung@bam.de
R. Rogge	Tel.: 3038	it-sibe@bam.de
B. Stoeck	Tel.: 2500	Personalrat@bam.de
T. Feddersen	Tel.: 2505	Thomas.Feddersen@bam.de
Dr. M. Hedrich	Tel.: 1941	qmb@bam.de

**Referat Z.9
SERVICEBEREICH
FORSCHUNG**
H. Saxowski
Tel.: 2216 Fax: 2294
Hagen-Joachim.Saxowski@bam.de

TASKS | STRUCTURE | CONTACTS

INTERNAL AUDIT

K. Simon
Tel.: 1022
Kathrin.Simon@bam.de

PRESIDENT Prof. Dr. U. Panne
phone: 1000 fax: 1007
Ulrich.Panne@bam.de

VICE-PRESIDENT Prof. Dr. Th. Böllinghaus
phone: 1020 fax: 1027
Thomas.Boellinghaus@bam.de

Section PST.
PRESIDENTIAL STAFF OFFICE

Prof. Dr. U. Panne
phone: 1000 fax: 1007
Ulrich.Panne@bam.de

Section UK.
CORPORATE COMMUNICATIONS

V. Quinque
phone: 1002 fax: 71002
Venio.Quinque@bam.de

DEPARTMENT 1
**ANALYTICAL CHEMISTRY;
REFERENCE MATERIALS**

Prof. Dr. U. Panne
phone: 1160 fax: 1167
Ulrich.Panne@bam.de

DEPARTMENT 2
**CHEMICAL SAFETY
ENGINEERING**

Dr. Th. Schendler
phone: 1200 fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

DEPARTMENT 3
**CONTAINMENT
SYSTEMS FOR
DANGEROUS GOODS**

Dr. T. Goedecke
phone: 1310 fax: 1307
Thomas.Goedecke@bam.de

DEPARTMENT 4
**MATERIALS AND
THE ENVIRONMENT**

Prof. Dr. A. Gorbushina
phone: 1400 fax: 1407
Anna.Gorbushina@bam.de

DEPARTMENT 5
**MATERIALS
ENGINEERING**

Dr. P. D. Portella
phone: 1500 fax: 1507
Pedro.Portella@bam.de

DEPARTMENT 6
**MATERIALS
PROTECTION AND
SURFACE TECHNOLOGY**

Prof. Dr. H. Sturm
phone: 1690 fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Division 1.1
**INORGANIC TRACE
ANALYSIS**

Dr. N. Jakubowski
phone: 1110 fax: 1117
Norbert.Jakubowski@bam.de

Division 2.1
GASES, GAS PLANTS

Dr. V. Schröder
phone: 1210 fax: 1217
Volkmar.Schroeder@bam.de

Division 3.1
**DANGEROUS GOODS
PACKAGINGS**

Dr. Th. Goedecke
phone: 1310 fax: 1317
Thomas.Goedecke@bam.de

Division 4.1
**BIODETERIORATION AND
REFERENCE ORGANISMS**

Dr. H.-J. Kunte
phone: 1410 fax: 1417
Hans-Joerg.Kunte@bam.de

Division 5.1
**MATERIALOGRAPHY,
FRACTOGRAPHY AND
AGEING OF ENGINEERED
MATERIALS**

Dr. A. Kranzmann
phone: 1510 fax: 1517
Axel.Kranzmann@bam.de

Division 6.1
**SURFACE ANALYSIS AND
INTERFACIAL CHEMISTRY**

Dr. W. Unger
phone: 1823 fax: 1827
Wolfgang.Unger@bam.de

Division 1.2
ORGANIC TRACE ANALYSIS

Prof. Dr. I. Nehls
phone: 1173 fax: 1177
Irene.Nehls@bam.de

Division 2.2
**REACTIVE SUBSTANCES
AND SYSTEMS**

Dr. K.-D. Wehrstedt
phone: 1220 fax: 1227
Klaus-Dieter.Wehrstedt@bam.de

Division 3.2
**TANKS FOR DANGEROUS
GOODS AND ACCIDENT
MECHANICS**

Prof. Dr. F. Otremba
phone: 1320 fax: 1327
Frank.Otremba@bam.de

Division 4.2
**MATERIALS AND AIR
POLLUTANTS**

Dr. O. Jann
phone: 1420 fax: 1427
Oliver.Jann@bam.de

Division 5.2
**EXPERIMENTAL AND
MODEL BASED MECHANICAL
BEHAVIOUR OF MATERIALS**

Prof. Dr. B. Skrotzki
phone: 1520 fax: 1527
Birgit.Skrotzki@bam.de

Division 6.2
**INTERFACIAL PROCESSES
AND CORROSION**

Prof. Dr. H. Sturm
phone: 1690 fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Division 1.3
STRUCTURE ANALYSIS

Dr. F. Emmerling
phone: 1133 fax: 1137
Franziska.Emmerling@bam.de

Division 2.3
EXPLOSIVES

Dr. Th. Schendler
phone: 1200 fax: 1207
Thomas.Schendler@bam.de

Division 3.3
**SAFETY OF TRANSPORT
CONTAINERS**

Dr. T. Goedecke
phone: 1310 fax: 1307
Thomas.Goedecke@bam.de

Division 4.3
**CONTAMINANT
TRANSPORT AND
ENVIRONMENTAL
TECHNOLOGIES**

Dr. F.-G. Simon
phone: 1430 fax: 1437
Franz-Georg.Simon@bam.de

Division 5.3
MECHANICS OF POLYMERS

Dr. Ch. Marotzke
phone: 1620 fax: 1627
Christian.Marotzke@bam.de

Division 6.3
**MACROTRIBOLOGY AND
WEAR PROTECTION**

Dr. M. Woydt
phone: 1811 fax: 1817
Mathias.Woydt@bam.de

Division 1.4
**PROCESS ANALYTICAL
TECHNOLOGY**

Dr. M. Maiwald
phone: 1140 fax: 1147
Michael.Maiwald@bam.de

Division 2.4
**CONSTRUCTIVE FIRE AND
EXPLOSION SAFETY FOR
GASES**

Dr. K. Holtappels
phone: 1240 fax: 1249
Kai.Holtappels@bam.de

Division 3.4
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 4.4
**THERMOCHEMICAL
RESIDUES TREATMENT
AND RESOURCE RECOVERY**

Dr. Ch. Adam
phone: 15670 fax: 1437
Christian.Adam@bam.de

Division 5.4
**CERAMIC PROCESSING
AND BIOMATERIALS**

Prof. Dr. J. Günster
phone: 1540 fax: 1547
Jens.Guenster@bam.de

Division 6.4
**NANOMATERIAL
TECHNOLOGIES**

Prof. Dr. H. Sturm
phone: 1690 fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Division 1.5
PROTEIN ANALYSIS

Dr. M. G. Weller
phone: 1150 fax: 1157
Michael.Weller@bam.de

Division 2.5
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 3.5
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 4.5
**ANALYSIS OF ARTEFACTS
AND CULTURAL ASSETS**

Prof. Dr. O. Hahn
phone: 3821 fax: 1427
Oliver.Hahn@bam.de

Division 5.5
**ADVANCED TECHNICAL
CERAMICS**

Dr. T. Rabe
phone: 1542 fax: 1547
Torsten.Rabe@bam.de

Division 6.5
**POLYMERS IN LIFE
SCIENCES AND
NANOTECHNOLOGY**

Dr. A. Thünnemann
phone: 1610 fax: 1617
Andreas.Thuenemann@bam.de

Division 1.6
**INORGANIC REFERENCE
MATERIALS**

Dr. S. Recknagel
phone: 1111 fax: 1117
Sebastian.Recknagel@bam.de

Division 2.6
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 3.6
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 4.6
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 5.6
GLASS

Dr. R. Müller
phone: 5610
Ralf.Mueller@bam.de

Division 6.6
**NANOTRIBOLOGY AND
NANOSTRUCTURING OF
SURFACES**

Prof. Dr. H. Sturm
phone: 1690 fax: 1617
Heinz.Sturm@bam.de

Division 1.7
FOOD ANALYSIS

Dr. M. Koch
phone: 1170 fax: 1177
Matthias.Koch@bam.de

Division 2.7
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 3.7
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 4.7
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 5.7
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 6.7
**SURFACE MODIFICATION
AND MEASUREMENT
TECHNOLOGY**

Dr. U. Beck
phone: 1821 fax: 1827
Uwe.Beck@bam.de

Division 1.8
ENVIRONMENTAL ANALYSIS

Dr. R. Schneider
phone: 1151 fax: 1157
Rudolf.Schneider@bam.de

Division 2.8
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 3.8
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 4.8
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 5.8
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 6.8
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 1.9
**CHEMICAL AND OPTICAL
SENSING**

Dr. K. Rurack
phone: 1190 fax: 1157
Knut.Rurack@bam.de

Division 2.9
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 3.9
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 4.9
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 5.9
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 6.9
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 1.10
BIOPHOTONICS

Dr. U. Resch-Genger
phone: 1134 fax: 1157
Ute.Resch@bam.de

Division 2.10
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 3.10
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 4.10
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 5.10
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

Division 6.10
**SAFETY OF STORAGE
CONTAINERS**

Prof. Dr. H. Völzke
phone: 1340 fax: 1337
Holger.Voelzke@bam.de

BAM'S BOARD OF DIRECTORS

CHAIRMAN OF THE ADVISORY COUNCIL

S. Schnorr
Federal Ministry for
Economic Affairs and Energy

SCIENTIFIC ADVISORY BOARDS

ENERGY Chairman: Dr. E. h. B. Fischer	MATERIALS Chairman: Prof. Dr. H.-W. Zoch
INFRASTRUCTURE Chairman: Dr. O. Salvi	ANALYTICAL SCIENCES Chairman: Prof. Dr. K.-P. Jäckel
ENVIRONMENT Chairman: Prof. Dr. H. Krug	

DEPARTMENT 7 SAFETY OF STRUCTURES

Dr. A. Rogge
phone: 1700 fax: 1707
Andreas.Rogge@bam.de

DEPARTMENT 8 NON-DESTRUCTIVE TESTING

Dr. W. Daum
phone: 1800 fax: 1807
Werner.Daum@bam.de

DEPARTMENT 9 COMPONENT SAFETY

Prof. Dr. Th. Böllinghaus
phone: 1020 fax: 1027
Thomas.Boellinghaus@bam.de

DEPARTMENT 5 QUALITY INFRASTRUCTURE

Dr. M. Nitsche
phone: 1900 fax: 1907
Michael.Nitsche@bam.de

DEPARTMENT Z CENTRAL SERVICES

Ch. von Vangerow
phone: 2000 fax: 2127
Christine.von_Vangerow@bam.de

Division 7.1 BUILDING MATERIALS

Dr. B. Meng
phone: 1710 fax: 1717
Birgit.Meng@bam.de

Division 8.1 SENSORS, MEASUREMENT AND TESTING METHODS

Dr. W. Daum
phone: 1910 fax: 1917
Werner.Daum@bam.de

Division 9.1 SERVICE LOADING FATIGUE AND STRUCTURAL INTEGRITY

Dr. D. Klingbeil
phone: 1530 fax: 1537
Dietmar.Klingbeil@bam.de

Section 5.1 QUALITY IN TESTING

Dr. M. Nitsche
phone: 1900 fax: 1907
Michael.Nitsche@bam.de

Section Z.1 ORGANISATION, CONTROLLING

M. Haas
Tel.: 2010 Fax: 2294
Marko.Haas@bam.de

Division 7.2 BUILDINGS AND STRUCTURES

Dr. M. Baessler
phone: 1724 fax: 1727
Matthias.Baessler@bam.de

Division 8.2 NON-DESTRUCTIVE DAMAGE ASSESSMENT AND ENVIRONMENTAL MEASUREMENT METHODS

Dr. H. Wiggenhauser
phone: 1440 fax: 1447
Herbert.Wiggenhauser@bam.de

Division 9.2 TESTING DEVICES AND EQUIPMENT

L. Zimme
phone: 1930 fax: 1937
Lutz.Zimme@bam.de

Section 5.2 ACCREDITATION AND CONFORMITY ASSESSMENT

Dr. G. Dudek
phone: 1942 fax: 1947
Gabriele.Dudek@bam.de

Section Z.2 BUDGET

M. Holzhauser
phone: 2110 fax: 2127
Marion.Holzhauser@bam.de

Division 7.3 FIRE ENGINEERING

Dr. A. Rogge
phone: 1700 fax: 1747
Andreas.Rogge@bam.de

Division 8.3 RADIOLOGICAL METHODS

Dr. U. Ewert
phone: 1830 fax: 1837
Uwe.Ewert@bam.de

Division 9.3 WELDING TECHNOLOGY

Prof. Dr. M. Rethmeier
phone: 1550 fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

Section 5.3 INTERNATIONAL TECHNOLOGY TRANSFER

Dr. M. Nitsche
phone: 1900 fax: 3755
Michael.Nitsche@bam.de

Section Z.3 HUMAN RESOURCES, VOCATIONAL TRAINING

S. Tschiersich
phone: 2130 fax: 2137
Sabine.Tschiersich@bam.de

Division 7.4 TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION MATERIALS

Dr. H.-C. Kühne
phone: 1711 fax: 1717
Hans-Carsten.Kuehne@bam.de

Division 8.4 ACOUSTIC AND ELECTROMAGNETIC METHODS

Dr. W. Daum
phone: 1800 fax: 1807
Werner.Daum@bam.de

Division 9.4 WELD MECHANICS

Prof. Dr. T. Kannengießler
phone: 1551 fax: 1557
Thomas.Kannengiesler@bam.de

Section 5.4 ECODESIGN AND ENERGY LABELLING

Dr. F. Akkerman
phone: 3810 fax: 1907
Floris.Akkerman@bam.de

Section Z.4 INFORMATION TECHNOLOGY

Dr. B. Schmitz
phone: 1920 fax: 1927
Birte.Schmitz@bam.de

Division 7.5 TECHNICAL PROPERTIES OF POLYMERIC MATERIALS

Dr. B. Schartel
phone: 1021 fax: 1747
Bernhard.Schartel@bam.de

Division 8.5 MICRO NON-DESTRUCTIVE TESTING

Prof. Dr. G. Bruno
phone: 1850 fax: 1837
Giovanni.Bruno@bam.de

Division 9.3 WELDING TECHNOLOGY

Prof. Dr. M. Rethmeier
phone: 1550 fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

Section 5.4 ECODESIGN AND ENERGY LABELLING

Dr. F. Akkerman
phone: 3810 fax: 1907
Floris.Akkerman@bam.de

Section Z.5 PROCUREMENT

V. Bingöl
phone: 2140 fax: 2147
Veli.Bingoel@bam.de

Division 7.6 CORROSION AND CORROSION PROTECTION

Dr. A. Burkert
phone: 1731 fax: 1737
Andreas.Burkert@bam.de

Division 8.6 FIBRE OPTIC SENSORS

Dr. K. Krebber
phone: 1915 fax: 1917
Katerina.Krebber@bam.de

Division 9.3 WELDING TECHNOLOGY

Prof. Dr. M. Rethmeier
phone: 1550 fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

Section 5.4 ECODESIGN AND ENERGY LABELLING

Dr. F. Akkerman
phone: 3810 fax: 1907
Floris.Akkerman@bam.de

Section Z.6 INTERNAL SERVICES

Th. Becker
phone: 2030 fax: 2037
Thomas.Becker@bam.de

Division 8.7 THERMOGRAPHIC METHODS

Dr. Ch. Maierhofer
phone: 1441 fax: 1845
Christiane.Maierhofer@bam.de

Division 9.3 WELDING TECHNOLOGY

Prof. Dr. M. Rethmeier
phone: 1550 fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

Section 5.4 ECODESIGN AND ENERGY LABELLING

Dr. F. Akkerman
phone: 3810 fax: 1907
Floris.Akkerman@bam.de

Section Z.7 BUILDINGS

A. Scharlau
phone: 2220 fax: 2227
Angelika.Scharlau@bam.de

Section Z.8 PUBLIC RELATIONS TECHNOLOGY, INFORMATION SERVICES

Th. Meyer
phone: 2080 fax: 2037
Thomas.Meyer@bam.de

BAM CERTIFICATION BODY

OFFICE OF THE ACCREDITATION ADVISORY BOARD

PRODUCT CONTACT POINT

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

REPRESENTATIVE

PREVENTION OF CORRUPTION REPRESENTATIVE

DATA PROTECTION REPRESENTATIVE

CONFIDENTIALITY PROTECTION REPRESENTATIVE

EQUAL OPPORTUNITY REPRESENTATIVE

IT SECURITY REPRESENTATIVE

STAFF COUNCIL (CHAIRMAN)

REPRESENTATIVE FOR DISABLED EMPLOYEES

QUALITY MANAGEMENT REPRESENTATIVE

Dr. R. Schmidt	Tel.: 3715	bzs@bam.de
Dr. F. Behrens	Tel.: 3711	gs.akkreditierungsbeirat@bam.de
O. Mätzner	Tel.: 3748	produktinfostelle@bam.de
U. Schmies	Tel.: 1006	Uwe.Schmies@bam.de
Dr. W. Daum	Tel.: 1910	Werner.Daum@bam.de
A. Nymtschefsky	Tel.: 3773	Datenschutz@bam.de
Dr. F. Keidel	Tel.: 3036	Geheimsschutz@bam.de
K. Pachaly	Tel.: 2310	Gleichstellung@bam.de
R. Rogge	Tel.: 3038	it-sibe@bam.de
B. Stoeck	Tel.: 2500	Personalrat@bam.de
T. Feddersen	Tel.: 2505	Thomas.Feddersen@bam.de
Dr. M. Hedrich	Tel.: 1941	qmb@bam.de

Section Z.9
RESEARCH SERVICES
H. Saxowski
phone: 2216 fax: 2294
Hagen-Joachim.Saxowski@bam.de

