

Sicherheit in Technik und Chemie



**JAHRESBERICHT**  
ANNUAL REPORT  
2014



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 centered in the dark grey area.

**JAHRESBERICHT**  
ANNUAL REPORT  
**2014**

Impressum/Editorial Information  
Jahresbericht 2014/Annual Report 2014

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

Redaktion/Editing:  
Dr. Ulrike Rockland (verantwortl.), BAM-UK  
Daniel Ristow, 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](mailto: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:  
Druckerei besscom AG  
[www.besscom.de](http://www.besscom.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*

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*

Vorsitzender des Aufsichtsrates, CEO der E.ON Generation GmbH, Hannover

*Dr. rer. nat. Thomas Grandke*

ehemals Siemens AG, Corporate Technology, Berlin

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

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

*Dr. rer. nat. Friedrich Heinemeyer*

ehemals Geschäftsführer der DynITEC GmbH, Troisdorf

*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*

ThyssenKrupp VDM GmbH, Leiterin Forschung und Entwicklung, Altena

*Alexandra Knauer*

Geschäftsführerin der KNAUER Wissenschaftliche Gerätebau Dr.-Ing. Herbert Knauer GmbH, Berlin

*Dr.-Ing. Sebastian Muschelknautz*

Linde AG, Linde Engineering Division, Pullach

*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: Juli 2015*

# INHALT

## CONTENT



### BAM 2014

Der Präsident: Ein Wort vorab  
The President's Opening Remarks

Ausgründungen  
Spin-offs

Alumni  
Alumni

Aus dem Ausland in die BAM  
From abroad to BAM

Adolf Martens – Pionier der Schadensanalyse  
Adolf Martens – pioneer of failure analysis

Industrie 4.0  
Industry 4.0

### THEMENFELD ENERGIE FOCUS AREA ENERGY

Power-to-Gas: Aber technisch sicher!  
Power-to-gas: but technically safe!

Gekrümmte Bauteile unter Last  
Curved components under heavy load

6

10

14

16

18

22

26

30

34

38

Mit Licht berührungslos Defekte in Bauteilen  
aufspüren  
Contactless detection of component defects  
using light

42

Schädigungsprozesse im Stahl  
Damage processes in steel

46

### THEMENFELD INFRASTRUKTUR FOCUS AREA INFRASTRUCTURE

50

Sicherheit von Gefahrguttransporten im Flugzeug  
Safe transport of dangerous goods by plane

54

Die Radsatzwelle meldet ein Problem  
The wheelset axle has a problem

58

Sanft und leise: Eisenbahngleise der Zukunft  
Gentle and quiet: railway tracks of the future

62

Graphen für den Flammenschutz  
Graphene as a flame retardant

66

### THEMENFELD UMWELT FOCUS AREA ENVIRONMENT

70

Ökodesign – Wie es Energiefressern in der  
EU an den Kragen geht  
Ecodesign – The EU is after energy guzzlers

74



38/39



114/115



102/103

Mit Biochips die Abwasserreinigung überwachen  
Biochips monitoring wastewater treatment 78

Vorbei sind die Zeiten von Quacksalbern und mittelalterlichen Vorkostern  
Gone are the days of quacks and medieval food tasters 82

**THEMENFELD MATERIAL** 86  
**FOCUS AREA MATERIAL**

Munition sicher transportieren  
Transporting ammunition safely 90

R1234yf: Ein Kältemittel, das Gemüter erhitzt  
R1234yf: A refrigerant which raises tempers 94

Nachgiebig wie Dämpferbeton  
Yielding like damping concrete 98

Beton und Glas, wie leicht bricht das  
Glass and concrete - easy to break 102

Wie Magnete Schweißnähte verbessern  
How magnets can improve welds 106

**THEMENFELD**  
**ANALYTICAL SCIENCES** 110  
**FOCUS AREA**  
**ANALYTICAL SCIENCES**

Chemische Reaktionen im Mörser  
Chemical reactions in a mortar 114

Flüssige Alleskönner mit großem Potential  
Liquid all-rounders with great potential 118

**ANHANG** 122  
**APPENDIX**

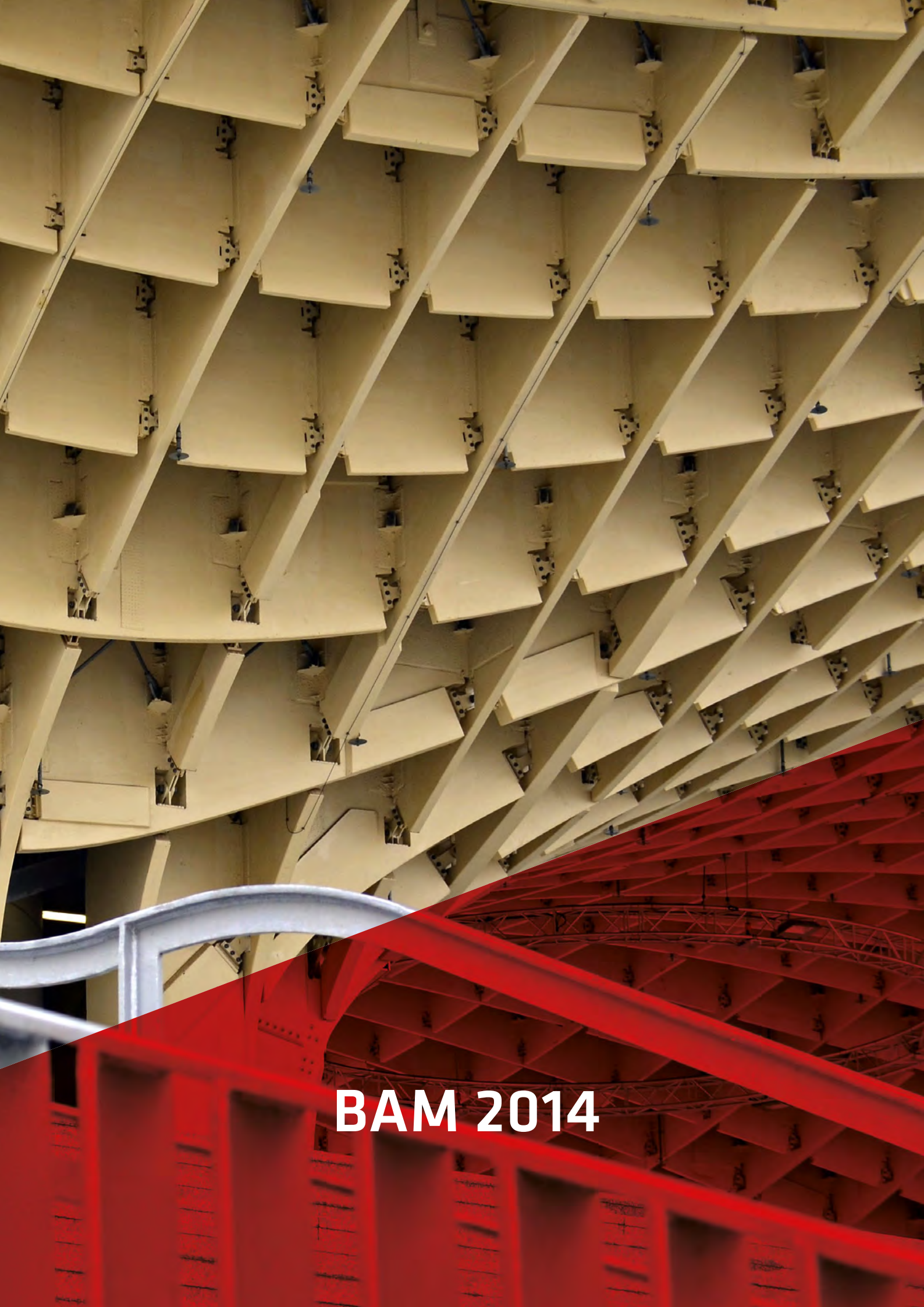
Wichtige Zahlen bedacht  
Key figures covered 122

Lagepläne  
Sitemaps 124

Aufgaben | Struktur | Ansprechpartner  
Tasks | Structure | Contacts 128







**BAM 2014**

# BAM 2014

SICHERHEIT MACHT MÄRKTE



SAFETY CREATES MARKETS



*Ein strukturiertes Ganzes ergibt sich aus wechselseitig voneinander abhängigen Teilen – Metropol Parasol in Sevilla*

*A structured whole arises from mutually interdependent – Metropol Parasol in Seville*

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 makes 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.



## LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

wir freuen uns, Ihnen auch in diesem Jahresbericht der BAM wieder eine interessante und vielfältige Auswahl unserer Arbeiten zur Sicherheit in Technik und Chemie präsentieren zu können.

Technische Sicherheit ist keine singuläre Fachdisziplin, sondern ergibt sich aus interdisziplinären Erkenntnissen, aus dem guten Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen zu einem gemeinsamen Untersuchungsgegenstand. Die Beiträge zum 100. Todestag von Adolf Martens, dem BAM-Pionier der Schadensanalyse, belegen die lange Tradition der BAM in dieser Systemkompetenz, das heißt dem Wissen um Wechselwirkungen zwischen dem Material, seiner Herstellung, seiner Verarbeitung und der Funktion des Produkts. Ein Jahrhundert nach Martens können wir skalenübergreifend atomare und molekulare Erkenntnisse mit mikro- und makroskopischen Einsichten verknüpfen zu einer holistischen Schadensanalyse.

In seiner Festschrift zur Eröffnung des königlichen Materialprüfungsamt in Lichterfelde 1904 schreibt Martens über seine Ziele für die Zukunft: „Je tiefer die leitenden Beamten in Wesen und Bedürfnisse der technischen Kreise eindringen, denen zu dienen sie berufen sind, um so größer wird der Nutzen werden, den das Amt stiften kann“. Diesem Leitmotiv folgen wir auch heute noch mit unserem Leitbild und unserer Positionierung „Sicherheit macht

Märkte“. Die BAM setzt und vertritt für Deutschland und seine globalen Märkte hohe Standards für Sicherheit in Technik und Chemie zur Weiterentwicklung der erfolgreichen deutschen Qualitätskultur „Made in Germany“. Sicherheit zahlt sich aus und stellt für viele Produkte und Prozesse einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil dar.

Die Vision von Martens reicht aber noch weiter. So spricht er in seiner Festschrift davon „... den wissenschaftlichen Aufgaben einen breiteren Raum zu schaffen ... und der Zersplitterung des Gebietes ...“ entgegen zu wirken. „... die Gewinnung eines tüchtigen Stammes von selbständigen wissenschaftlichen Beamten ...“ ist Martens ebenso wichtig wie die „... enge Fühlung mit Praxis ...“ als „... vornehmste Aufgabe des Amtes ...“. Wenn wir heute unsere vier strategischen Ziele der BAM „Sichtbarkeit, Interdisziplinarität, Netzwerke und attraktiver Arbeitgeber“ damit vergleichen, werden Entwicklungslinien über mehr als ein Jahrhundert auf beeindruckende Weise erkennbar. Sichtbarkeit bedeutet, die BAM wird als Kompetenzzentrum mit seinen einzigartigen Mess- und Verfahrenstechniken in einem interdisziplinären Zusammenhang wahrgenommen. Interdisziplinarität gestattet uns die gemeinsame Aushandlung der Fragestellung und die Integration disziplinären Wissens für sicherheitstechnische Problemlösungen. Netzwerke ermöglichen, Forschungsbedarfe frühzeitig zu erkennen,

Wissen und Ressourcen zum gemeinsamen Nutzen zu teilen und die fachlichen Kompetenzen weiter zu entwickeln. Als attraktiver Arbeitgeber können wir dauerhaft kompetente und leistungsstarke Mitarbeiter finden und für die vorhandenen Mitarbeiter angemessene Karriere- und Entwicklungschancen bieten. Technologischer Wandel war damals und ist heute ein Garant für den Wohlstand unserer Gesellschaft. Die BAM arbeitet für eine ausgeprägte Sicherheitskultur in Deutschland und Sicherheitsstandards, die auch in Zukunft höchsten Anforderungen genügen.

Um die richtigen Themen für den gesetzlichen und gesellschaftlichen Auftrag zu generieren, hat die BAM mit diesem Jahr ihre Arbeit in den fünf Themenfeldern Energie, Umwelt, Infrastruktur, Material und Analytical Sciences geordnet. Themenfelder verorten die Vielfältigkeit der BAM und reduzieren die thematische und organisatorische Komplexität des Auftrages der BAM für die Kommunikation an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Die Themenfelder sind Strukturen für abteilungsübergreifende interdisziplinäre Projekte und organisieren einen wissenschaftlichen Diskurs zu übergreifenden Themen. In zentral geförderten Projekten wollen wir uns komplexen

Herausforderungen für Sicherheit in Technik und Chemie stellen, dabei reichen die Themen von Rheologie über Mikroplastik und Biokorrosion zur additiven Fertigung und der Betriebsfestigkeit von Windenergieanlagen.

Ich selbst habe in den vergangenen 12 Monaten in meiner Funktion als neuer Präsident fast alle Fachbereiche besucht und durfte ihre enorme fachliche Diversität erfahren. Was bleibt als Resümee so vieler Eindrücke? Die Wahrnehmung, dass die BAM von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern lebt, die sich für ihre Arbeit begeistern. Alltägliche Arbeit, die manchmal wenig wissenschaftlich-heroisch, sondern detailliert, vielleicht sogar mühsam ist. Trotzdem bin ich vielen Menschen begegnet, die sich dafür begeistern. Eine Begeisterung, die Herzblutenergie ist, Wetteifer selbst herausragen zu wollen, großen Ideenentwürfen und Vorbildern zu folgen: „Das Beste zu tun, was von mir getan werden kann“. Ein freudiger Tatendrang, der auch Mühsal auf sich nimmt, weil am Ende auch Erfolg lebt.

Eine Begeisterung, die schon in der Festschrift von Adolf Martens auch 100 Jahre nach seinem Tod zwischen den Zeilen zu erspüren ist. Begeisterung für Wissenschaft und Technik, für unseren Auftrag.



DEAR READER,

We are pleased to present to you an interesting and colourful selection of our work on safety in technology and chemistry in another BAM Annual Report.

Technical safety is not an individual discipline, but develops from interdisciplinary insights and excellent cooperation between different disciplines towards a common study objective. The presentations at the 100th anniversary of Adolf Martens' death, the BAM pioneer of failure analysis, demonstrated BAM's long tradition in this expertise, i.e.

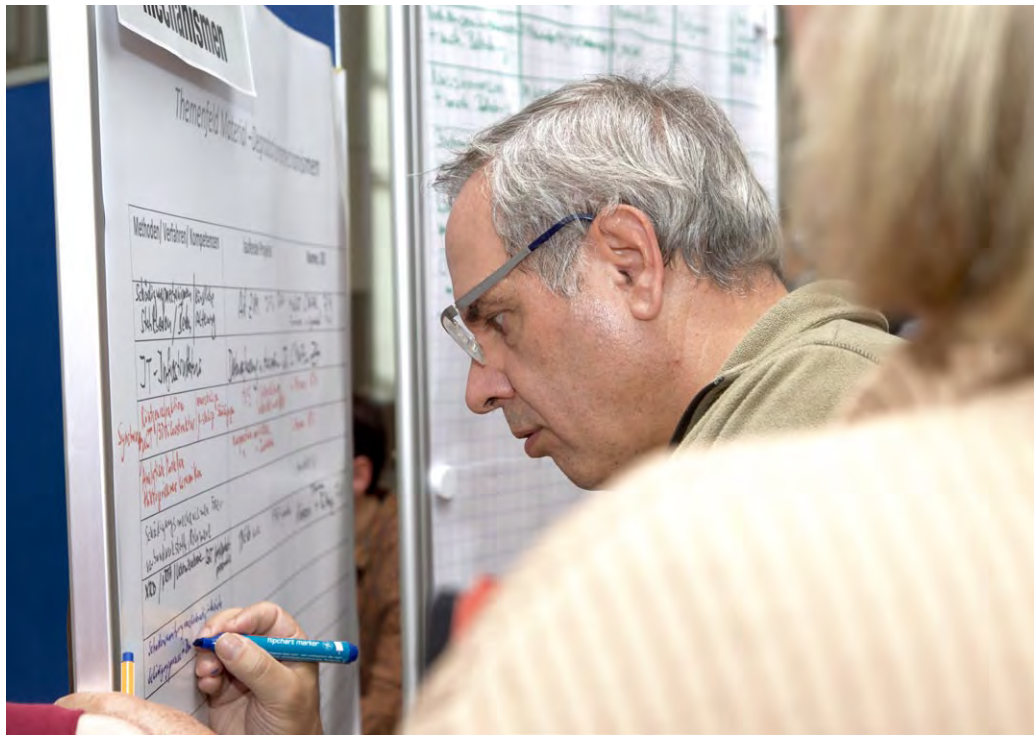
deeper the senior officials penetrate in the nature and needs of technical circles, which they are called to serve, the greater the benefits will be that the Office can provide". We follow this guiding principle even today with our mission statement and our motto "Safety creates markets". BAM sets and represents high safety standards in technology and chemistry for Germany and its global markets in order to further develop the successful "Made in Germany" quality culture. Safety pays off and provides a substantial competitive advantage for many products and processes.



knowledge of interactions between material, its production, its processing and its products. A century after Martens we can link atomic and molecular findings with microscopic and macroscopic insights to establish an holistic damage assessment encompassing all scales.

In his Festschrift on the opening of the Royal Materials Testing Office in Lichterfelde in 1904, Martens specified his goals for the future: "The

But Martens' vision goes further: in his Festschrift he speaks of "... creating wider basis for scientific tasks ..." and counteracting "the fragmentation of the field ...". "Establishing an efficient strain of independent scientific officials ..." is as important to Martens as the "... close contact with practice ..." being "... the Office's most important task ...". If we compare BAM's four strategic objectives of today "visibility, interdisciplinarity, networks and a fair and appealing employer", with Marten's view, then



the century-plus trends can still be recognised in an impressive way. Visibility means that BAM is perceived as a centre of excellence with its unique measuring and process technologies in an interdisciplinary context. Interdisciplinarity allows us to collectively negotiate the issues and integrate disciplined knowledge into safety solutions. Networks enable us to identify research needs at an early stage, to share knowledge and resources for the common good and to further develop the professional skills. As an appealing employer we always can find competent and efficient employees and provide appropriate career and development opportunities for existing staff. Technological change was then, and is now, a guarantor for our society's prosperity. BAM is working towards a strong culture of safety and standards in Germany, which will meet the highest standards in the future.

This year BAM organised its work in the five focus areas of energy, environment, infrastructure, material and analytical sciences to generate the right topics for assignments with legal and societal aspects. The topics identify BAM's diversity and reduce thematic and organisational complexity of BAM's mission for communication at the interface between science, business, politics and society. The topics are structures for interdepartmental interdisciplinary projects and organise a scientific dialogue on cross-cutting issues. Centrally funded projects provide us with complex challenges for safety in

technology and chemistry, the topics ranging from rheology over microplastics and biocorrosion to additive manufacturing and service loading fatigue of wind turbines.

In my role as the new president, I have visited almost all of BAM's divisions in the past 12 months and seen for myself their enormous technical diversity. So, what is the summary of my impressions? It is clear to me that BAM exists because of its employees who are highly enthusiastic about their work. Their everyday work is perhaps a little less scientific and noble, as it is vital that they delve into detail, which may be tedious. Nevertheless, I met many people who are passionate about their work. Their zeal is our lifeblood energy, which stimulates rivalry and follows great ideas and role models: "Doing the best I can do." A joyful zest that also means hard work since success comes at the end.

An eagerness that can be felt between the lines in Adolf Martens' Festschrift even 100 years after his death. An enthusiasm for science and technology and for our mission.

*Ulrich Saune*



## AUSGRÜNDUNGEN

DIE BAM ALS SPRUNGBRETT –  
VOM DOKTORANDEN ZUM JUNGUNTERNEHMER

---

## SPIN-OFFS

BAM AS A SPRINGBOARD –  
FROM GRADUATE STUDENTS TO YOUNG ENTREPRENEURS

2011: Gründung der Grasse Zur Ingenieurgeellschaft mbH, April 2014: DIN-Innovationspreis, Dezember 2014: Innovationspreis Berlin Brandenburg. Eine tolle Erfolgsgeschichte für Dr. Fabian Grasse und

Dr. Malte Zur, zwei ehemaligen Doktoranden der BAM.

Faserverbundwerkstoffe sind für viele Konstruktionen ideal: Sie sind gleichermaßen fest und steif und zudem noch leicht. Obwohl sie immer häufi-

ger zur Anwendung kommen, fehlen teilweise präzise Werkstoffkennwerte. Prüfverfahren, mit denen Kennwerte von metallischen Werkstoffen ermittelt werden, lassen sich nicht direkt auf Faserverbundwerkstoffe übertragen. Und wegen ihrer anisotropen Eigen-



schaften können sich die Festigkeiten und Steifigkeiten dieser Werkstoffe in den verschiedenen Faserrichtungen bis zu mehreren Größenordnungen unterscheiden. Eine Marktlücke, die die beiden Jungunternehmer nun mit ihrer im Rahmen eines Technologietransfers weiterentwickelten Prüfvorrichtung schließen.

Marktlücke? Ja, denn mit den Prüfverfahren nach den bislang hierfür relevanten ASTM und DIN EN ISO Normen lässt sich nur die Steifigkeit gut ermitteln. „Das Besondere an unserem Prüfsystem ist, dass wir sowohl die Schubfestigkeit als auch die Schubsteifigkeit von Faserverbundwerkstoffen zuverlässig, also mit sehr geringen Streuungen und schnell bestimmen können“, so Grasse.

Genau Werkstoffkennwerte braucht die Industrie, um Simulationen zu validieren und spätere Konstruktionsfehler, die viel Geld kosten können, zu vermeiden. Hier bietet die Grasse Zur Ingenieurgesellschaft ihren Kunden das Schubprüfsystem GZ S-80 / S-100 / S-100 HT zum Kauf oder Messungen mit diesem System in ihrem Materialprüflabor in Berlin-Zehlendorf an. Das Produktprogramm wird mit weiteren Vorrichtungen zur Prüfung von faserverstärkten Kunststoffen kontinuierlich erweitert.

Und da Prüfverfahren für die industrielle Nutzung genormt sein sollten, haben die beiden Ingenieure es gemeinsam mit dem Deutschen Institut für Normung (DIN) standardisiert. Als DIN SPEC 4885:2014-01 ist diese Norm in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht worden und nun frei verfügbar. DIN SPEC steht für DIN Spezifikation. Die Erarbeitung solcher Normen erfolgt im kleinen Kreise der Interessierten und ist damit wesentlich schneller als im herkömmlichen Normungsprozess auf dem Markt.

„Der Anwender erhält ein gutes Verfahren – mit Prüfung durch das DIN und dem Wissen der BAM.

Denn, Grundlage für unseren Erfolg ist die BAM: Ihre sehr gute Doktoranden-Ausbildung, ihre hervorragenden experimentellen Möglichkeiten und das breite Wissen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von denen wir gelernt haben“, sagt Zur.

Immerhin ist das Verfahren so gut, dass der Weltmarktführer für Prüfmaschinen seine Kunden nun an die Grasse Zur Ingenieurgesellschaft verweist.

---

2011: Founding of the Grasse Zur Ingenieurgesellschaft Ltd., in April 2014: DIN Prize for Innovation, December 2014: Berlin Brandenburg Prize for Innovation. A great success story for Dr. Fabian Grasse and Dr. Malte Zur, two former Ph.D. students of BAM.

Fibre composites are ideal for many structures: they are equally strong and stiff and also light. Although they are being increasingly used, precise material properties are partially missing. Test procedures, which enable the determination of the characteristics of metallic materials, cannot be applied directly to fibre composites. And because of their anisotropic properties, the strength and stiffness of these materials in different fibre directions can vary by up to several orders of magnitude. The two young entrepreneurs have now closed this gap in the market with their more advanced test device developed within the framework of technology transfer.

A gap in the market? Indeed, because the test procedures in accordance with the currently relevant ASTM and DIN EN ISO standards can only determine stiffness properly. “What makes our test system special is that we can determine both the shear strength and the shear stiffness of fibre composites quickly, reliably and with low standard deviation”, says Grasse.

The industry needs precise material properties in order to validate simula-

tions and to avoid subsequent design flaws that could cost a lot of money. For this purpose, the Grasse Zur Ingenieurgesellschaft now market their Shear Stress Testing Frame GZ



S-80 / S-100 / S-100 HT, or measurements using this system, in their Berlin-Zehlendorf material testing laboratory. The product range is constantly expanding with additional devices for testing fibre reinforced plastics.

And since test methods for industrial use should be standardised, the two engineers, in collaboration with the German Institute for Standardization (DIN) have standardised them. The standard has been published in German and English as DIN SPEC 4885: 2014-01 and is now available for free. DIN SPEC stands for DIN specification. Such standards are drafted by small groups of interested parties and are therefore significantly faster than the conventional process of standardisation on the market.

“The user receives a highly suitable procedure – through testing by DIN and the knowledge of BAM. And of course, the foundation of our success is BAM: Its excellent graduate programme, its top experimental possibilities and the broad knowledge of its employees from whom we have learned much”, says Zur.

In fact, the method is so good that the world market leader for testing equipment now refers its customers to the Grasse Zur Ingenieurgesellschaft.

# ALUMNI

## MIRKO HALLMANN

**BAULEITER BEI DER FIRMA WOLFGANG BAUER  
INGENIEURBAU GMBH**

**CONSTRUCTION MANAGER AT WOLFGANG BAUER ING-  
ENIEURBAU GMBH (CONSTRUCTION ENGINEERING LTD.)**

„Ich habe in der BAM viel über Baustoffe gelernt. Wissen, von dem ich heute profitiere.“

2006 bin ich an die BAM in den Fachbereich 7.1 Baustoffe gekommen. Dort war ich als Baustoffprüfer für Beton und Mörtel zuständig. Ich untersuchte frischen und abgebundenen Beton und Mörtel, auch für die Studierenden, die ihre Diplom-, Master- oder Doktorarbeiten in unserem Fachbereich anfertigten. So war ich in die Forschung eingebunden und habe dadurch viel gelernt, dass mir bei meinem berufsbegleitenden Abendstudium zum staatlich geprüften Techniker Fachrichtung Bautechnik zu Gute kam. Ich bin seit 2011 bei der Wolfgang Bauer Ingenieurbau GmbH tätig. Angefangen habe ich als Assistenz der Bauleitung. Aber bereits nach einem dreiviertel Jahr hatte ich einen Vertrag als Bauleiter und bin nun für fünf, sechs



Bauprojekte zeitgleich zuständig. Unsere Firma ist deutschlandweit tätig. Wir sind auch anerkannter Fachbetrieb für Denkmalpflege. So leite ich zurzeit den Umbau des ehemaligen Bühnenlagers der Staatsoper in Berlin Mitte. Hier soll im Herbst 2016 die Barenboim-Said-Akademie für junge Musiker aus dem Nahen Osten ihre Tore öffnen. 6.500 Quadratmeter Probenräume und ein Konzertsaal mit 622 Plätzen bauen wir hier. Meine Firma lässt mir großen Gestaltungs- und Entscheidungsfreiraum. Grundlage dafür ist mein Wissen und somit auch ein „Stück“ BAM.

“I’ve learned a lot about building materials in BAM. Today, I benefit from this knowledge.”

I came to BAM, Division 7.1 Building Materials in 2006, where, as a building material analyst I was responsible for testing concrete and mortar. I tested fresh and hardened concrete and mortar, even for students who wrote their Bachelor’s, Master’s or PhD theses in our division. Therefore, I was thoroughly involved in the research and have learned a lot that helped me during my part-time evening courses to become a state-certified construction engineer. Since 2011, I have been working at the Wolfgang Bauer Ingenieurbau GmbH. I started as a management assistant, but after only nine months I became construction manager and am now simultaneously responsible for five or six projects. Our company is active throughout Germany and is an accredited specialist for historical monument preservation. I am currently in charge of rebuilding the former stage storage of the Staatsoper in Berlin Mitte. The Barenboim-Said Academy for young musicians from the Middle East will give the opening performance here in the autumn of 2016. We are building 6,500 square metres of rehearsal rooms and a concert hall with 622 seats. My company gives me ample freedom to design and decision-making. My knowledge – and therefore a “piece” of BAM – is fundamental to my decisions.

## DR.-ING. BERND KOCH

**WERKSTOFFENTWICKLER BEI DER OTTO FUCHS KG**

**MATERIAL DEVELOPER AT OTTO FUCHS KG**

„Leichtmetalle sind faszinierende Werkstoffe.“

Ich forsche heute bei der OTTO FUCHS KG in der Werkstoffentwicklung hauptsächlich im Bereich Aluminium. Wir sind ein international tätiges Unternehmen und fertigen hochwertige und metallurgisch anspruchsvolle Halbzeuge aus Aluminium-, Magnesium-, Kupfer-, Titan- und Nickellegierungen für Unternehmen der Luft- und Raumfahrt-, Automobil- sowie Bauindustrie, als auch des Maschinen- und Anlagenbaus.

Dass ich diese vielseitige und verantwortungsvolle Tätigkeit ausüben kann, ist auch durch meine Promotion an der



BAM begründet. Nach meinem Studium folgte ich Frau Prof. Skrotzki an die BAM. Von 2004 bis 2007 untersuchte ich in ihrer Gruppe das Ermüdungsverhalten einer metastabilen  $\beta$ -Titanlegierung. Der hervorragende Maschinenpark und die fachliche Unterstützung durch die Kollegen machten es möglich, dass ich die Proben mit verschiedenen mechanischen und mikrostrukturellen Methoden untersuchen konnte. Und durch das Doktorandenprogramm bot mir die BAM zusätzlich eine große wissenschaftliche Freiheit. Ein lockerer fachlicher und privater Austausch verbindet mich weiterhin mit den ehemaligen Kollegen an der BAM.

---

“Light metals are fascinating materials.”

I am currently doing research regarding material development at OTTO FUCHS KG, predominantly in the aluminium domain. We are an international company and manufacture high-quality and metallurgically advanced semi-finished products from aluminium, magnesium, copper, titanium and nickel alloys for companies in the aerospace, automotive and construction industries, as well as mechanical engineering and plant construction.

My doctorate at BAM has made a major contribution to my being able to exercise this versatile and responsible activity. After my studies I followed Prof. Skrotzki and joined her group at BAM. From 2004 to 2007 I examined the fatigue behaviour of a metastable beta-titanium alloy. The excellent machinery and my colleagues' technical support helped me examine the samples using different mechanical and microstructural methods. Through the doctoral programme, BAM also offered me ample scientific freedom. A casual professional and private interaction still keeps me in contact with my former colleagues at BAM.

## JUNIOR-PROFESSORIN DR. RER. NAT. NORA KULAK

**FREIE UNIVERSITÄT BERLIN, FACHBEREICH BIOLOGIE,  
CHEMIE, PHARMAZIE**

**FREIE UNIVERSITÄT BERLIN, DEPARTMENT OF BIOLOGY,  
CHEMISTRY, PHARMACY**

„Die Oberflächenanalytik hat mich nicht mehr losgelassen!“

Mit Fertigstellung meiner Promotion an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg wechselte ich im Jahr 2006 als Postdoc nach Berlin an die BAM. Mein Forschungsthema in der Gruppe von Dr. Wolfgang Unger: Schicht- und Oberflächenanalytik. Uns interessierten besonders



amino-terminierte Oberflächen und darauf basierende DNA-Microarrays. Ziel ist es, solche Microarrays in der medizinischen Diagnostik einzusetzen. Für die Zulassung dieser Produkte ist deren zuverlässige Funktion unabdingbar. Dazu sind detaillierte Kenntnisse über deren Aufbau erforderlich. Durch den Schichtaufbau ist die Grenzflächenchemie hier von großer Bedeutung. Ist der Aufbau fehlerhaft, funktioniert das Microarray nicht. Ich untersuchte die Oberflächen dieser Schichten mit der Photoelektronenspektroskopie, Röntgenabsorption bei BESSY und der Time-of-Flight Sekundärionenmassenspektroskopie – hervorragende gerätetechnische Voraussetzung für meine Forschung.

Die Zeit in der BAM war für mich persönlich und meine Karriere sehr wichtig. Zum Thema Oberflächenanalytik arbeite ich auch heute noch eng mit der Gruppe von Wolfgang Unger zusammen.

---

“Surface analysis got a strong hold on me!”

After completing my doctorate at the Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, I moved to Berlin in 2006 to be a postdoc at BAM. In Dr. Wolfgang Unger's group I worked on projects in the field of thin film and surface analysis. We were particularly interested in amino-terminated surfaces and the DNA microarrays based on them. The aim is to use such microarrays in medical diagnostics. The reliable operation of these products is essential for their authorisation and requires detailed knowledge about their structure. Due to the layered structure the surface chemistry is of great importance; the microarray will not work if the structure is defective. I examined the surfaces of these thin films with photoelectron spectroscopy, X-ray absorption at BESSY and time-of-flight secondary ion mass spectrometry, with excellent equipment which provided a first-rate technical basis for my research.

The time I spent at BAM was very important for my career as well as for me personally. I still work closely with Wolfgang Unger's group on the subject of surface analysis.



## AUS DEM AUSLAND IN DIE BAM

SIE SIND FÜR INGENIEUR- UND TECHNIKSTUDIERENDE EBENSO ATTRAKTIV WIE FÜR IHRE KOMMILITONINNEN UND KOMMILITONEN AUS DEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN BEREICHEN: DIE VIELFÄLTIGEN F & E-AKTIVITÄTEN DER BAM UND DAS ZUNEHMEND AUCH FÜR STUDIERENDE AUS DEM AUSLAND.

---

## FROM ABROAD TO BAM

BAM'S DIVERSE R & D ACTIVITIES ARE JUST AS ATTRACTIVE FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY STUDENTS AS FOR THEIR FELLOW STUDENTS FROM THE FIELD OF SCIENCE, AND INCREASINGLY SO FOR STUDENTS FROM ABROAD.

Dazu ist die BAM in die internationale Forschungslandschaft bestens eingebunden. Die Anzahl der Kooperationen mit ausländischen Universitäten, Fachhochschulen und Außeruniversitären Forschungseinrichtungen wächst stetig. Auch gemeinsame Forschungsprojekte mit ausländischen Unternehmen auf dem Gebiet der Sicherheit in Technik und Chemie sind keine Seltenheit und immer mehr Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener interna-

tionaler Förderprogramme forschen an der BAM. So auch Isabela Fiorese und Diego Santarosa Coradini. Beide nehmen derzeit Teil im Austauschprogramm „Ciência sem Fronteiras“ (Wissenschaft ohne Grenzen) der brasilianischen Regierung. Die jungen brasilianischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen für ein Jahr an der BAM: In diesem Jahr sind es mehr als 25 Stipendiaten.

Globales Lernen funktioniert am besten im gegenseitigen Austausch. Die BAM bietet ausländischen Studierenden die Möglichkeit, ihre Forschung hier weiterzuführen. Energie, Infrastruktur, Umwelt, Material und Analytical Sciences sind die Themenfelder der BAM – vielfältige Forschungsthemen am Puls der Zeit. Und auch die moderne Infrastruktur der BAM ist für den wissenschaftlichen Nachwuchs aus dem Ausland von Interesse. Falls es notwendig ist, steht hinter

jedem Fachbereich die gesamte BAM. Ihr ganzes Expertenwissen und die daraus erwachsenden Synergieeffekte können für ein gemeinsames Forschen genutzt werden.

---

For this, BAM is well integrated into the international research community. The number of partnerships with foreign universities, polytechnics and non-university research institutions is growing steadily. Joint research projects with foreign companies in the

field of safety in technology and chemistry are not uncommon either, and scientists of various international research programmes increasingly pursue research at BAM. Isabela Fiorese and Diego Santarosa Coradini are just two of them: they both are currently taking part in the Brazilian government's exchange programme „Ciência sem Fronteiras“ (Science without Borders). The young scientists are conducting research for a year – they belong to a group of 25 research fellows at BAM this year.

Global learning works best through mutual exchange. BAM offers foreign students the opportunity to further develop their research. Energy, infrastructure, environment, materials and analytical sciences are BAM's themes – they are all cutting-edge research topics. BAM's modern infrastructure is also of interest for young scientists from abroad. If it is necessary, the entire BAM can support a division and its full expertise and the resulting synergistic effects can be used in joint research.



**ISABELA FIORESE**

*Ich bin Studentin der Ingenieurwissenschaften und habe im März mein einjähriges Praktikum an der BAM begonnen. Die BAM ist eine weltweit wichtige Institution im Bereich der Materialwissenschaften. Daher habe ich mich für die BAM entschieden.*

---

*I am a student in engineering and started my one-year internship at BAM in March. BAM is an important global institution in the field of materials science. That is why I have decided to work in BAM.*

**DIEGO SANTAROSA CORADINI**

*In meinem Studium der Werkstoffwissenschaften habe ich schon viel über die Forschung und Normung der BAM erfahren. Entscheidende Argumente, weswegen ich mich um einen Praktikumsplatz im Brasilianischen Austauschprogramm beworben habe, um an der BAM forschen zu können.*



*I have learnt a lot about BAM's research and standardisation in my studies of materials science. This was my decisive argument why I applied for an internship within the Brazilian exchange program to do research at BAM.*

Die Chemikerin Estela Climent Terol kommt aus Spanien. Sie ist „Humboldtianer“, wie sich die Fellows von der Alexander-von-Humboldt Stiftung nennen.

The chemist Estela Climent Terol comes from Spain. She is a "Humboldtian", which is what the fellows of the Alexander von Humboldt Foundation are called.



#### ESTELA CLIMENT TEROL

*Ich habe mich für die BAM entschieden, weil ich hier an Themen forschen kann, die zur Lösung realer Probleme beitragen. Ich entwickle Verfahren, mit denen chemische Stoffe, beispielsweise im Bereich Sicherheit und Umweltschutz, mit einem chemischen Sensor aufgespürt werden können.*

---

*I have chosen BAM because here I can do research on topics which contribute to the solution of real problems. I am developing methods by which chemical substances can be tracked using a chemical sensor in the field of safety and environmental protection.*



## **ADOLF MARTENS – PIONIER DER SCHADENSANALYSE**

MEHR ALS 100 JAHRE SCHADENSANALYSE AN DER BAM UND IHREN  
VORGÄNGERINSTITUTIONEN

---

## **ADOLF MARTENS – PIONEER OF FAILURE ANALYSIS**

MORE THAN 100 YEARS OF FAILURE ANALYSIS AT BAM AND ITS  
PREDECESSOR INSTITUTIONS



Mit der Erinnerung an den 100. Todestag von Professor Dr. Adolf Martens möchte die BAM nicht nur den Gründer der Königlichen Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt, aus der später die heutige BAM hervorging, sondern auch den Pionier der Schadensanalyse würdigen. Die nachfolgenden Beiträge zeigen Entwicklungslinien aus der wissenschaftlichen Arbeit von Martens auf.

Aber was bleibt heute bemerkenswert von dem Menschen, Wissenschaftler und Wissenschaftsmanager Adolf Martens? Lesen wir heute zwischen den Zeilen der biographischen Hinweise auf Martens, so erkennen wir einen leidenschaftlichen Wissenschaftler, der hartnäckig seiner Vision von Sicherheit und Technik über Jahrzehnte hinweg treu blieb. Einen Wissenschaftsmanager, der alle Aspekte der Entwicklung einer modernen Ressortforschung schon 1904 von Personalgewinnung bis zur Positionierung an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik erkannte und systemisch versuchte zu entwickeln. Einen Menschen, der Zeit seines Lebens neugierig blieb und neue Gebiete betrat, die er als relevant für die technologische Entwicklung seiner Zeit betrachtete.

#### **1894 - EXPLOSION VON DRUCKGASBEHÄLTERN: DER BEGINN DER MODERNEN SCHADENSANALYSE**

Es waren über 70 von 1000 Druckgaszylinder, jeweils gefüllt mit 7,5 m<sup>3</sup> Wasserstoff, die am 25. Mai 1894 auf dem Tempelhofer Feld in Berlin explodierten. Sie befanden sich am Landeplatz für Luftschiffe, um diese mit Wasserstoff als Traggas zu befüllen. Die Explosion war sehr heftig, schwere Bruchstücke fand man in über 1.500 Meter Entfernung. Das preußische Militär forderte die Preußische Königliche Mechanisch-Technische Versuchsanstalt auf, die Schadensursache zu ermitteln und ein Gutachten darüber anzufertigen. Die Untersuchungen hierzu leitete Martens persönlich: Beginn einer langen Tradition systematischer Schadensanalysen in der späteren BAM.

Bemerkenswert ist die Art, wie Martens die Untersuchungen durchführte. So setzte er neue Technologien und verschiedene Maschinen zur Materialprüfung ein und entwickelte ein detailliertes Prüfverfahren. Er untersuchte nicht nur die Originalproben, sondern ließ zusätzlich Stahlproben mit unterschiedlicher Wärmebehandlung anfertigen und deren mechanische Eigenschaften prüfen. Durch die Vielzahl der Vergleichsmessungen und die systematische Auswertung der Versuchsergebnisse konnte er die Versagensursachen eingrenzen. Martens berichtete über Korrosion und Phosphorwasserstoff auf der Zylinderinnenfläche der unter Druck stehenden

Behälter, was die Wasserstoffaufnahme begünstigt – mögliche Ursachen, die die Materialeigenschaften so veränderten, dass Wasserstoff entweichen und sich ein explosives Gasgemisch ausbilden konnte.

#### **1980 - EINSTURZ DES DACHS DER BERLINER KONGRESSHALLE: GANZHEITLICHE SCHADENS- ANALYSE**

Die Berliner Kongresshalle ist ein Geschenk der Vereinigten Staaten an das damalige West-Berlin. Der amerikanische Architekt Hugh Stubbins ließ eine elegant geschwungene und auskragende Dachkonstruktion aus sehr schlanken Spannbetonstrukturen fertigen. Dadurch wurde die Kongresshalle zu einem der berühmtesten internationalen Gebäude der Nachkriegsmoderne. Am Morgen des 21. Mai 1980 stürzte die freitragende Dachkonstruktion ohne Vorwarnung auf den Eingangsbereich des Gebäudes. Eine Person kam dabei ums Leben. Die Staatsanwaltschaft beim Landgericht Berlin beauftragte damals die BAM, ein Schadensgutachten zu erstellen.

Die BAM-Experten fanden heraus, dass es mehrere Einzel-Ursachen für den Einsturz gab, deren gleichzeitiges Auftreten dann zur Katastrophe führte: Planungsfehler, schlechte Bauausführung, unzureichende Baustoffqualitäten, ständig feuchte Umgebung aufgrund eines nahegelegenen Brunnens und der extrem komplizierte Kraftfluss auf das äußere Dach führten schließlich zur wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion in den Spannstählen der Tragstützen des äußeren Daches.

Die Ingenieure haben aus dem tragischen Vorfall gelernt. Das heutige Dach ist bautechnisch modifi-



*Am Morgen des 21. Mai 1980 stürzte ein Teil des Daches der Berliner Kongresshalle ein.*

*On the morning of 21 May 1980 the roof structure of the Berlin Congress Hall collapsed.*

ziert, ohne dass dies optisch erkennbar ist. Am 9. Mai 1987 wurde das Gebäude zur 750-Jahr-Feier der Stadt Berlin feierlich wieder eröffnet und ist heute als Haus der Kulturen der Welt bekannt.

### **2000 – BEINAHE DURCHRISS VON BRÜCKENHÄNGER: SCHADENSANALYSE, LEBENSDAUERANALYSE UND VERBESSERUNG EINER BRÜCKENKONSTRUKTION**

Nahe der Lutherstadt Wittenberg überspannen nebeneinander eine Straßen- und eine Eisenbahnbrücke die Elbe. Die Fahrwege der Brücken werden von Bogenkonstruktionen gehalten, die die Lasten mittels stählerner Hänger übertragen. Nur ein Jahr nach der Brückeneröffnung wurden bei einer Inspektion in einigen der Hänger der Eisenbahnbrücke Anrisse gefunden mit einer Länge von bis zu 24 Zentimetern, also kurz vor dem Durchriss. Gerade noch rechtzeitig wurden die betroffenen Hänger gesichert, später ersetzt und den Experten der Schadensanalyse an der BAM zugeführt.

Ursache für die Risse waren unerwartet starke windangeregte Resonanz-Schwingungen der Hänger, die zu hohen zyklischen Belastungen führten. Diesen Belastungen konnte das Material auf Dauer nicht Stand halten. In mechanischen Versuchen an Proben aus den originalen Brückenhängern ermittelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler deren reale Beanspruchbarkeit. Die kritischen Schwingungen an der Brücke konnten sie mit Hilfe einer schwingungsdämpfenden Seilkonstruktion unterbinden. Und schließlich entwickelten sie ein mathematisches Modell, um die Restlebensdauer der Konstruktion und ihrer Komponenten abschätzen zu können. Die Brücke ist mit den genannten Veränderungen weiter im Betrieb und wird regelmäßig überwacht.

---

Commemorating the 100th anniversary of Professor Dr. Adolf Martens' death, BAM would like to pay tribute to not only the founder of the Royal Mechanical Testing Institute, from which today's BAM later emerged, but also the pioneer of failure analysis. The following papers demonstrate the lines of development from Martens' scientific work.

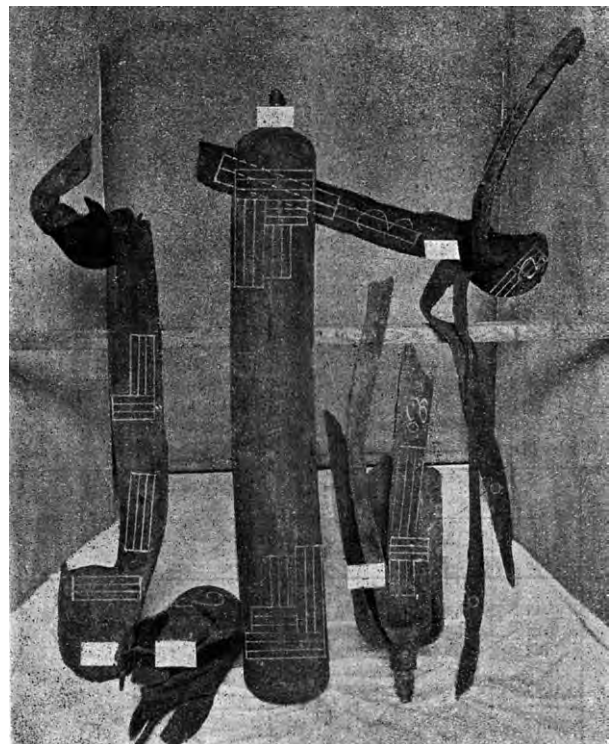
What remains notable about Adolf Martens' work to scientists and science managers today? If we read between the lines of Martens' biographical notes, we discover a passionate scientist who remained stubbornly faithful to his vision of safety and technology for decades. He was a science manager who in 1904, recognised and tried systemically to develop all aspects of modern departmental re-

search from recruiting personnel to concentrating on the interface between science, industry and politics. Throughout his life he remained curious and entered new areas, which he considered relevant to the technological development of his time.

### **1894 – EXPLOSION OF GAS CYLINDERS: THE BEGINNING OF MODERN FAILURE ANALYSIS**

More than 70 out of 1,000 compressed gas cylinders, each filled with 7.5 m<sup>3</sup> hydrogen, exploded on the Tempelhof field in Berlin on 25 May 1894. They were present on the landing site to fill airships with the carrier gas hydrogen. The explosion was so violent that heavy fragments were found more than 1,500 metres away. The Prussian military called on the Prussian Royal Mechanical and Technical Research Institute to determine the cause of the accident and prepare an expert report on it. Martens directed the investigation personally and this was the beginning of a long tradition of systematic failure analysis at what became BAM later.

It is noteworthy how Martens carried out his tests. He used new technologies and equipment for materials testing and developed a detailed test procedure. He examined not only the original sample but also had customised steel samples



*Fragmente der Flaschen des Wasserstofflagers auf dem späteren Flughafen Berlin-Tempelhof  
Bottle fragments of the exploded hydrogen storage on the later airport Berlin-Tempelhof*

prepared with different heat treatments and their mechanical properties tested. He performed a large number of comparative measurements and systematically evaluated the test results to narrow down the causes of failure. Martens described the corrosion and creation of phosphorus hydride on the inner cylinder surface of the pressurised containers. These were the possible causes of the accident because they promote hydrogen uptake and alter the materials' properties leading to an escape of hydrogen and the formation of an explosive gas mixture.

#### 1980 - COLLAPSE OF THE ROOF OF THE BERLIN CONGRESS HALL: HOLISTIC FAILURE ANALYSIS

The Berlin Congress Hall is a gift from the United States to the former West Berlin. The American architect Hugh Stubbins designed an elegantly curved and cantilevered roof structure with very slender pre-stressed concrete elements. Thus, the Congress Hall became one of the most famous international buildings of postwar modernism. On the morning of 21 May 1980, the self-supporting roof structure collapsed at the entrance of the building without any warning, killing one person. The Public Prosecutor at the Berlin Land Court then commissioned BAM to prepare an expert report about the damage.



*Beschädigte Spannstähle aus der Berliner Kongresshalle*  
*Damaged steel tension members from the Berlin Congress Hall*

*Die Sonderausgabe von Engineering Failure Analysis zu Ehren von Professor Adolf Martens gibt mit den ausgewählten 15 Schadensanalysen einen Überblick über mehr als 100 Jahre Schadensanalyse an der BAM und ihrer Vorgängerinstitutionen.*  
*The special issue of Engineering Failure Analysis in honor of Professor Adolf Martens presents with the selected 15 failure analyses an overview of more than 100 years of failure analysis at BAM and its predecessor institutions.*

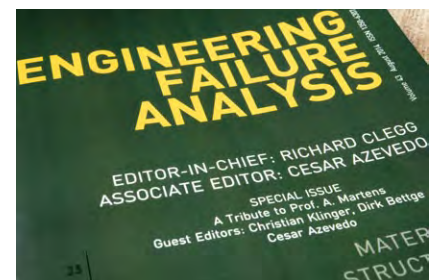
BAM experts found that there were several individual causes of the collapse, the simultaneous occurrence of which then led to the disaster: planning errors, poor construction, inadequate building material quality, the constantly moist environment due to a nearby fountain and the extremely complex force distribution on the outer roof eventually led to hydrogen-induced stress corrosion cracking in the steel tension members of the supporting pillars of the outer roof.

The engineers have learned from the tragic incident. Today's roof is structurally modified, without being visually noticeable. On 9 May 1987, the building was re-opened for the 750th anniversary of the city of Berlin and is now known as the House of World Cultures.

#### 2000 - A NEARLY COMPLETE CRACK OF A BRIDGE HANGER: FAILURE ANALYSIS, LIFETIME ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF A BRIDGE STRUCTURE

An adjacent road and railway bridge span the River Elbe near Luther City Wittenberg. The bridges' roadways are supported by arched structures that transmit loads by means of steel hangers. Just one year after the opening of the railway bridge an inspection found cracks up to 24 centimetres long in some of the hangers, i.e. shortly before a complete failure. The affected hangers were reinforced just in time, then later replaced and sent to BAM's failure analysis experts.

The cracks were caused by unpredictably strong wind-excited resonance vibrations of the hanger that led to strong cyclic loads which the material was not able to withstand over the long term. The scientists determined the real strength in mechanical tests on samples from the original bridge hangers. They then used a vibration-damping rope structure to stop the bridge's critical vibrations. Finally, they developed a mathematical model for estimating the residual lifetime of the structure and its components. The bridge is now in operation after the said changes were made and is regularly monitored.





## INDUSTRIE 4.0

INDUSTRIE 4.0, KÜRZEL FÜR DIE 4. INDUSTRIELLE REVOLUTION, VERLANGT AUF EINE VÖLLIG NEUE ART UND WEISE DIE WERTSCHÖPFUNGSKETTE ÜBER DEN LEBENSZYKLUS VON PRODUKTEN, VON IHRER ENTSTEHUNG BIS ZUM RECYCLING, NEU ZU ORGANISIEREN UND ZU VERNETZEN. DAMIT SOLLEN KUNDENANFORDERUNGEN SCHNELL, KOSTENGÜNSTIG UND VOR ALLEM INDIVIDUELL BEDIENT WERDEN. TREIBENDE FAKTOREN SIND DIE HEUTIGEN MÖGLICHKEITEN IN DER IT, DIE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, DIE IHRE WURZELN IN DEUTSCHLAND HAT UND DIE HIGH-TECH-STRATEGIE DER BUNDESREGIERUNG. GRÜNDE, WESWEGEN DEUTSCHLAND IM MOMENT DIE SPRECHERROLLE ÜBERNOMMEN HAT.

---

## INDUSTRY 4.0

INDUSTRY 4.0, SHORT FOR THE 4TH INDUSTRIAL REVOLUTION, REQUIRES THE RE-ORGANISATION AND NETWORKING OF THE VALUE ADDED CHAIN OF THE LIFE CYCLE OF PRODUCTS FROM THEIR CREATION TO RECYCLING IN A COMPLETELY NEW WAY. THIS SHOULD HELP SERVE CUSTOMER NEEDS QUICKLY, COST-EFFECTIVELY AND ESPECIALLY INDIVIDUALLY. TODAY'S IT OPPORTUNITIES, AUTOMATION TECHNOLOGY, WHICH HAS ITS ROOTS IN GERMANY, AND THE FEDERAL GOVERNMENT'S HIGH-TECH STRATEGY ARE THE MAIN DRIVERS. THESE ARE THE REASONS WHY GERMANY HAS CURRENTLY TAKEN OVER THE SPEAKER'S ROLE.

Für Dr. Birte Schmitz, Leiterin der IT, Dr. Werner Daum, Leiter des Fachbereiches Sensorik, mess- und prüftechnische Verfahren und Dr. Michael Maiwald, Leiter des Fachbereiches Prozessanalytik ist Industrie 4.0 ein Thema, das für die BAM eine spannende und große Herausforderung ist.

**DAUM:** Industrie 4.0 ist eigentlich in unserer Facharbeit schon längst angekommen. Industrie 4.0 ist bereits Bestandteil eines intelligenten IBC (intermediate bulk container) mit dem Gefahrgüter transportiert werden. Schon bei seiner Herstellung erhält der IBC eine elektronische Identifikationsnummer, einen Speicher, der Auskunft geben wird darüber, was mit ihm während seiner gesamten Nutzungsdauer passiert: Befüllung, Entnahme,

Reinigung, Wiederbefüllung, Reparatur bis hin zur Verschrottung. Darüber hinaus ist es möglich, den Zustand des IBC und des Gefahrguts während der gesamten Transportkette zu überwachen. Im Falle eines Unfalls können Hilfskräfte sofort und gezielt per Mobilfunk- oder Satellitenverbindung alarmiert werden.

**SCHMITZ:** Der IBC ist ein schönes Beispiel, das zeigt, was alles mit intelligenter Vernetzung möglich ist. In der Industrie 4.0 werden ja auch „Big Data“ analysiert, um ganz neue Erkenntnisse zu gewinnen. Dieser Ansatz kann auch für die BAM interessant sein, wenn zum Beispiel im Falle des IBC große Datenmengen aus Werkstoffdatenbanken, Unfallanalysen, Gutachten, aber auch Daten aus der Materialforschung miteinander verknüpft werden. Die Rolle der Informationstechnik ändert sich, sie wird zum entscheidenden Treiber für Innovation. Hier müssen wir unsere Kernprozesse überdenken, neu vernetzen und bündeln. Unkonventionelles Denken ist notwendig, um neue Ideen und Entwicklungen in der Materialforschung- und -prüfung auf der Grundlage von IT hervorzubringen.

**DAUM:** Trotz der Euphorie müssen wir die Risiken im Blick behalten. Die Fragen zu Datensicherheit, Datenmanipulation oder Echtzeitverhalten müssen beachtet werden und geklärt sein. Wo sind die jeweiligen Grenzen von Industrie 4.0 und wie hoch ist die damit verbundene technische Zuverlässigkeit? Mit jeweilig möchte ich den zeitlichen Aspekt berücksichtigt wissen, denn Industrie 4.0 entwickelt sich rasant weiter. Ich denke, das ist auch Auftrag der BAM, mit unserer Forschung Risiken zu erkennen und zu minimieren und dadurch auch Vertrauen in Industrie 4.0 zu schaffen.

Sicherheitsrelevante Bauteile oder auch ganze Konstruktionen mit integrierter Sensorik zu überwachen, ist bereits seit langem ein Forschungsthema in der BAM. Neu hinzu kommt, dass wir diesen mit „structural health monitoring“ bezeichneten Ansatz nun mit der Philosophie und Technologie von Industrie 4.0 verbinden müssen. Aus dieser Verbindung ergeben sich völlig neue Möglichkeiten beispielsweise im Bereich der Brückenüberwachung und -wartung. Anstelle einer turnusmäßigen Brückenprüfung kann beispielsweise in Zukunft die ereignisbezogene Prüfung stehen. Ähnliches gilt auch für andere technische Anlagen mit turnusmäßigem Überprüfungsbedarf wie bei Windenergieanlagen.

Allerdings gilt es zu beachten, dass Aufgrund ihrer Komplexität und der daraus resultierenden geringen

Statistik automatische Überwachungssysteme den Zustand des beobachteten Bauteils nicht genügend scharf vorhersagen können. Hier ist noch der Mensch als Experte gefordert, Entscheidungen über die nächsten Schritte zur Behebung eines möglichen Schadens zu treffen. Datenmanipulation ist ein weiteres Risiko, dem mit Verschlüsselungsverfahren begegnet werden muss. Kaum vorstellbar, was passieren würde, wenn die Zustandsdaten einer Brücke durch Angriffe von außen manipuliert werden.

**MAIWALD:** Wir diskutieren gerade mit Experten aus der chemischen Industrie über die Sicherheitsanforderungen von Chemieanlagen. Die klassische Prozessleittechnik, wie sie heute eingesetzt wird, verläuft pyramidal: Unten sind die Sensoren. In großchemischen Betrieben sind 50.000 Sensoren keine Seltenheit. Sie einzeln zu koordinieren und sicher zu schützen ist heute schon aufgrund ihrer hohen Anzahl eine große Herausforderung. Der demographische Wandel wird dieses zukünftig noch schwieriger machen. Daher überlegen die Experten, dieses Prozessleitsystem aufzulösen. Die Steuerung von Teilen von Produktionsanlagen, wie Kälteanlagen oder Destillationskolonnen, könnte dezentralisiert werden. Dazu müssen die Anlagenteile intelligent und modular aufgebaut werden. Die Prozessanalytik unterstützt die Steuerung des Gesamtprozesses. In Punkto Datensicherheit könnte man sich vorstellen, alle Informationen, die die Sensoren von den einzelnen Produktionsanlagen liefern, unkoordiniert öffentlich zu machen, beispielsweise in einer Cloud. Schützenswert ist dann nur das Wissen, wie sie zusammengehören. Hier ist in erster Linie die IT gefragt. Aufgabe der BAM ist es, zuverlässige Messverfahren für die Prozessanalytik zu entwickeln.

Die US Food and Drug Administration (FDA) hatte bereits vor über 10 Jahren eine Initiative über die Notwendigkeit und Herausforderung von Prozessanalytik gestartet. In ihrem Papier hatte die FDA die Prozessanalytik als einen wichtigen Impuls auf dem streng geregelten Gebiet der Arzneimittelherstellung erkannt. Individualisierte Medizin ist ein Stichwort. Doch bis heute sind die Konzepte praktisch kaum umgesetzt. Hier ist die BAM gefragt, weil sie die prozessanalytischen Methoden beforscht und weiter voranbringt, um das Vertrauen zu erhöhen. Mit der Dynamik, die Industrie 4.0 derzeit entfacht, werden die Arbeiten der BAM von Experten zunehmend stärker gehört werden.

---

Dr. Birte Schmitz, Head of IT, Dr. Werner Daum, Head of the Division of Sensors, Measurement and

Testing Methods and Dr. Michael Maiwald, Head of the Division of Process Analytical Technology consider Industry 4.0 as an exciting and challenging issue for BAM.

**DAUM:** Industry 4.0 actually arrived in our technical workload a long time ago and became part of an intelligent IBC (Intermediate Bulk Container) used to transport dangerous goods. Even while it is being manufactured, an IBC receives an electronic identification number and a memory unit that will provide information about what happens to it throughout its life, i.e. filling, removal, cleaning, refilling, repair, right up to the point where it is scrapped. In addition, it is possible to monitor the state of the IBC and the dangerous goods during the entire transport chain. In the case of an accident, emergency services can immediately be alerted by mobile phone or satellite link.

developments in materials research and testing based on IT.

**DAUM:** Despite the euphoria, we must keep the risks in mind. The questions about data safety, data manipulation or real-time behaviour must be considered and clarified. Where are Industry 4.0's relevant boundaries and how strong is the associated technical reliability? I would also like to see consideration of the temporal aspect because Industry 4.0 is evolving rapidly. I think BAM's task is to ensure that their research identifies and minimises risks and thus creates confidence in Industry 4.0.

Monitoring safety-related components or entire structures using integrated sensors has already been one of BAM's long-running research topics. A new feature is that we now need to combine this ap-

*Die Leistungsfähigkeit der Informationstechnik entwickelt sich nicht linear, sondern exponentiell. Durch die rasante Entwicklung verschieben sich die bisher angenommenen Grenzen der Machbarkeit und es ergeben sich auch für die BAM und ihre Kernprozesse ganz neue Potenziale.*

---

*Performance of information technology does not develop linearly but exponentially. The rapid development pushes feasibility's boundaries as so far known and opens up entirely new potentials for BAM and their core processes.*

Dr. Birte Schmitz



**SCHMITZ:** The IBC is a fine example that shows what intelligent networks can achieve. Indeed "big data" are also analysed in Industry 4.0 to gain entirely new insights. This approach may be of interest to BAM, if for example, in the case of IBC where large amounts of data from material databases, accident analyses, expert opinions, as well as data from materials research are linked together. Information technology's role is changing; it is becoming a key driver for innovation.

Here we need to rethink our core processes, new networking and pooling of information. Unconventional thinking is needed to generate new ideas and

proach called "structural health monitoring" with Industry 4.0's philosophy and technology. This connection generates completely new options in the field of bridge monitoring and maintenance for example. Periodic bridge inspections may be replaced with event-related tests in the future. The same applies to other technical systems such as wind turbines, which need regular checks.

However, it should be noted that automatic monitoring systems cannot predict the state of the observed component sufficiently precisely because of their complexity and the resulting limited statistics. Here man is still the expert, needed to

*Industrie 4.0 wird unsere Lebens- und Arbeitswelt stark verändern. Industrie 4.0 bietet aber auch eine Antwort auf den demographischen Wandel.*

---

*Industry 4.0 will strongly change our living and working environment. But Industry 4.0 also offers a response to demographic change.*

Dr. Michael Maiwald



make decisions on the next steps to remedy possible damage. Data manipulation is another risk that must be addressed by encryption procedures. It is hard to imagine what would happen if data on the status of a bridge were manipulated in external attacks.

**MAIWALD:** We are currently discussing the safety requirements of chemical plants with chemical industry experts. Traditional process controlling technology, as is used today, has a pyramidal scheme: the sensors are at the bottom. 50,000 sensors are not uncommon in large chemical plants. It is a huge challenge to coordinate and protect them individually and safely due to their large number. Demographic change will make this even more difficult in the future. Therefore, experts are considering the dissolution of this process control system. The control of certain parts of production facilities such as refrigeration units or distillation columns could be decentralised. For this, facilities must be built in an intelligent and modular way. Process analysis supports the control of the overall

process. In terms of data safety it is possible to publish all information provided by the sensors of individual production facilities in an uncoordinated way, for example in the cloud. It is the knowledge of how they fit together that needs only to be protected. In this case, IT is the first point of call. BAM's task is to develop reliable measurement methods for process analysis.

The US Food and Drug Administration (FDA) launched an initiative about the need and challenge of process analysis more than 10 years ago. In their paper, FDA had recognised process analysis as an important stimulus to the highly regulated field of manufacturing pharmaceuticals. Individualised medicine is a keyword. However, the concepts have infrequently been implemented to date. BAM was asked because they have research and advanced process analytical methods in order to increase trust. The momentum currently kindled by Industry 4.0 will make BAM's work increasingly noticed by experts.

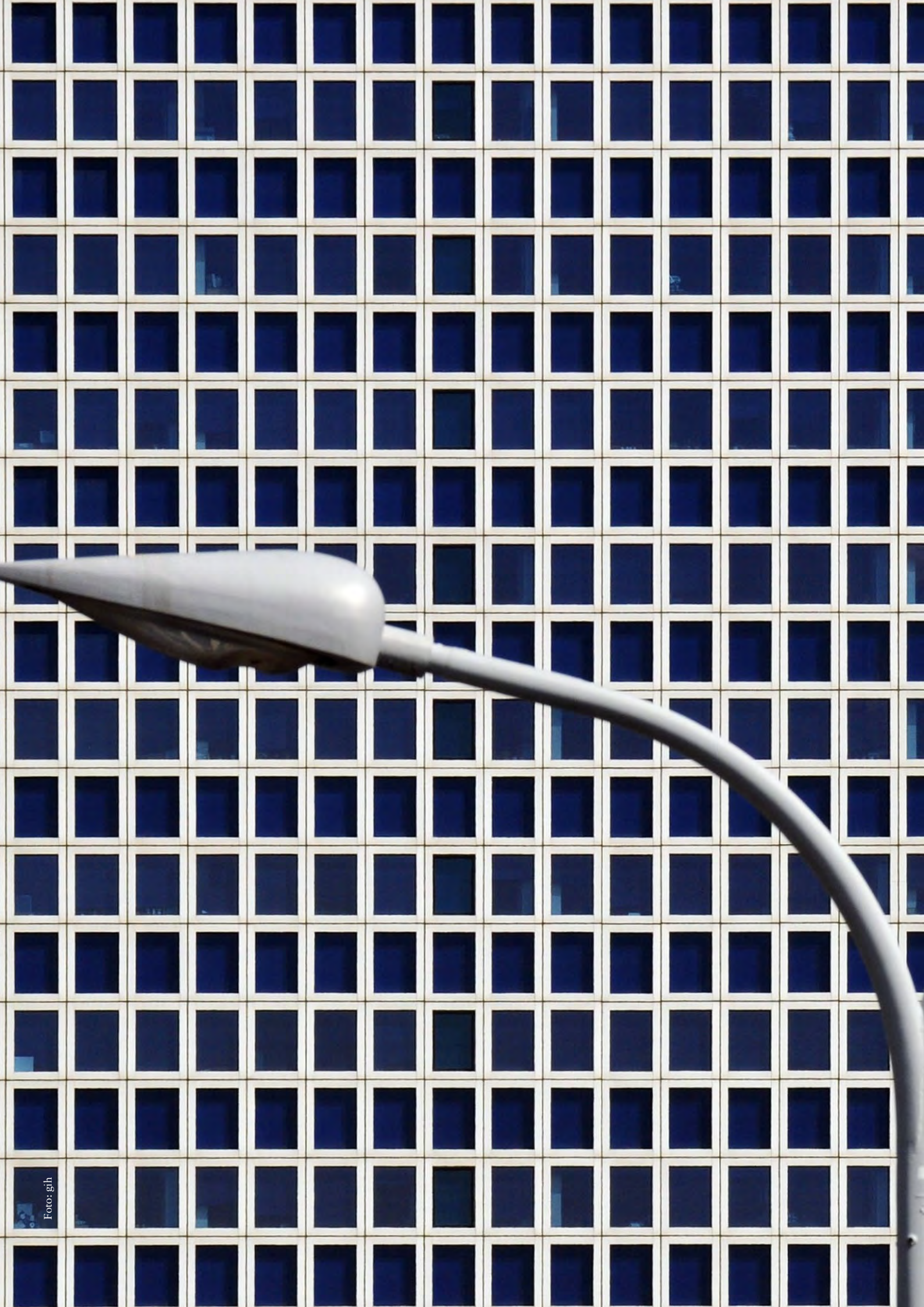


*Die Vernetzung von Materialforschung und Industrie-4.0-Technologie wird zukunftsweisende Impulse für die Sicherheit in Technik und Chemie geben.*

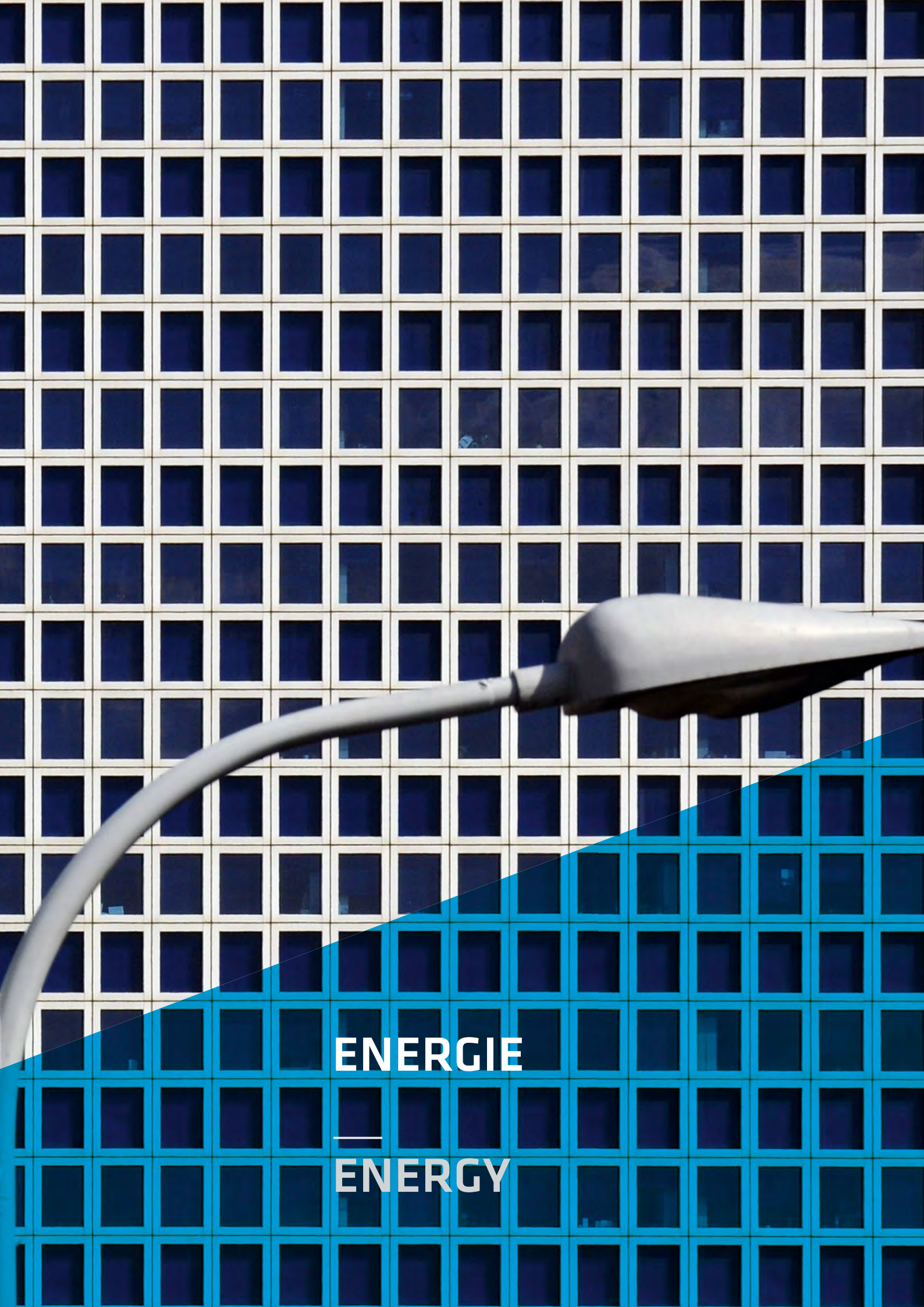
---

*Networking materials research and Industry 4.0 technology will provide trendsetting impulses for safety in technology and chemistry.*

Dr. Werner Daum







**ENERGIE**

—  
**ENERGY**



Energie steht im Vordergrund – im Hintergrund das  
Azrieli Center in Tel Aviv

*Energy is at the forefront – the Azrieli Center in Tel Aviv  
in the background*

# THEMENFELD ENERGIE

---

## FOCUS AREA ENERGY

Deutschland steckt voller Energie – und die wird auch benötigt, im kleinen Haushalt ebenso wie im großen Industrieunternehmen. Doch woher kommt sie, wie wird sie in Zukunft beschafft, wie wird sie zum Verbraucher transportiert? Fragen, deren Bedeutung gar nicht hoch genug einzuschätzen ist. Denn die globale Erwärmung zwingt uns dazu, die Nutzung fossiler Brennstoffe zu verringern, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu senken. Die Politik ist dem Problem mit dem Beschluss der Energiewende in Deutschland entgegengetreten, sie hat die Zielrichtung beschrieben. Aber was geschieht dabei mit dem Wirtschaftsstandort Deutschland? Wie wird er sich in den nächsten zehn Jahren entwickeln, wenn sich die Vorgaben der Energieversorgung so stark wandeln? Wie kann man den Umstieg auf erneuerbare Quellen beschleunigen und gleichzeitig die hervorragende Versorgungssicherheit erhalten? Schließlich werden alle Veränderungen nur dann akzeptiert, wenn diese Sicherheit gewährleistet bleibt. Mehr noch: Welche Möglichkeiten gibt es, den Energieverbrauch ohne Komfortverzicht zu senken? Ein weites Themenspektrum also, das bei Verbesserungen bekannter Techniken beginnt, über die grundlegende Forschung an alternativen Energiequellen bis hin zur Entwicklung einer angepassten Energieinfrastruktur reicht.

#### **SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG**

Dieser Fächer an Fragestellungen bestimmt die Forschungsaktivitäten der BAM: Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler befassen sich mit technischen Verbesserungen bei der Nutzung regenerativer Quellen wie Wind, Sonne und Biogas ebenso wie mit Weiterentwicklungen, die der Effizienz beim Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas, Kohle sowie Öl dienen. Betrachtet wird dabei die gesamte Wirkungskette von Erzeugung und Gewinnung an, über die notwendigen Umwandlungsprozesse hin bis zum Transport und zur Speicherung. Doch auch Fragen des Einsatzes und des Verbrauchs sowie der sachgemäßen Entsorgung und des umweltverträglichen Recyclings von Reststoffen stehen im Fokus der Forscher.

Germany is full of energy – and it is also needed both in small households and in large industrial enterprises. But where does energy come from, how will it be acquired in the future and how will it be transported to the consumers? These are questions whose importance cannot be estimated high enough because global warming is forcing us to reduce the use of fossil fuels in order to reduce CO<sub>2</sub> emissions. Politics has tackled the problem with the introduction of the energy transition in Germany, and described the target direction. But what happens to the German market place? How will it develop over the next ten years, when power supply specifications change so much? How can we speed up the switchover to renewable sources while maintaining the excellent security of supply? Finally, all changes will only be accepted if safety is ensured. Even more: what are the options to reduce energy consumption without sacrificing comfort? This is a wide range of topics that begins with improvements to known techniques and extends through basic research on alternative energy sources to the development of an adapted energy infrastructure.

#### **MAIN FOCUS OF CURRENT RESEARCH AND DEVELOPMENT**

This range of issues determines BAM's research activities: scientists deal with technical improvements in the use of renewable sources such as wind, solar and biogas as well as with developments to increase the efficiency in the use of fossil fuels such as natural gas, coal and oil. The entire functional chain, from production and extraction, through the necessary conversion processes up to transport and storage, is being considered. But the researchers also concentrate on questions of the use and consumption as well as proper disposal and environmentally friendly recycling of residues.

# POWER-TO-GAS: ABER TECHNISCH SICHER!

---

## POWER-TO-GAS: BUT TECHNICALLY SAFE!

Sonnen- und Windenergie stehen zeitweise im Überfluss zur Verfügung. Oftmals jedoch, wenn in den Abendstunden besonders viel Strom benötigt wird, ist die Sonne bereits untergegangen und der Wind weht nicht. Für solche Fälle müssen Speichermöglichkeiten für die Energie zur Verfügung stehen. Eine dieser Speichertechniken, die zudem eine sehr hohe Speicherkapazität besitzt, ist die Power-to-Gas-Technologie, kurz P2G.

Durch Elektrolyse wird mit Hilfe von überschüssigem Strom aus Wasser Wasserstoff erzeugt, der als „chemisches Speichermedium“ dient. Der Wasserstoff kann bei Bedarf über Brennstoffzellen direkt wieder verstromt oder aber als Brenngas in das vorhandene Erdgasnetz eingespeist werden. P2G mit Einspeisung in das vorhandene Gasverteilnetz hat eine besonders hohe Speicherkapazität im Terawattstunden-Bereich. Damit könnte der mit-



Foto: cl

telfristige Speicherbedarf – auch nach Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland – komplett abgedeckt werden. Das Verfahren ist technisch realisierbar und benötigt keine speziellen geologischen Voraussetzungen, wie etwa Pumpspeicherwerke. Mehrere Pilotprojekte im Technikumsmaßstab laufen bereits in Deutschland, wie bei der ENERTRAG AG in Prenzlau-Dauerthal.

### **DIE NEUE TECHNIK UND IHRE FOLGEN**

Man denke nur an eine korrekte Brennwertbestimmung oder eine eichfähige Durchflussmessung bei schwankenden Zusammensetzungen von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen. Auch ist die Änderung der Verteilung des Wasserstoffs nach Einspeisung in die Netze und dessen Transport über längere Strecken nicht vollständig geklärt. Dies ist ein wichtiger Aspekt, folgt daraus doch die Energieabrechnung beim Kunden. Aber auch die technische Sicherheit

der Anlagen und Leitungen sowie Explosionschutzmaßnahmen im Umgang mit den Gasgemischen eindeutig bekannt und festgelegt sein. Themen, die auch auf dem Seminar im Juni 2014 von Experten der Physikalisch Technischen Bundesanstalt und der BAM mit Vertretern aus Politik und Wirtschaft intensiv diskutiert wurden.

Bis zu 10 Prozent Wasserstoff soll in Zukunft dem Erdgas beigemischt werden. Die daraus entstehenden technischen Probleme müssen freilich zuvor gelöst werden. Technisch sichere Wasserelektrolyseure und Wasserstoffverdichter mit möglichst hohem Wirkungsgrad im industriellen Maßstab fehlen bislang noch. Weiterhin verändert die Zumischung von Wasserstoff die Stoffeigenschaften der Erdgase (Brennwert, Dichte, Wobbe-Index, Diffusionskoeffizient, Explosionskenngrößen, Flammgeschwindigkeit oder Flammentemperatur). Das wiederum führt zu verändertem Verhalten bei Kontakt mit Anlagenkomponenten, Rohrleitungen und Dichtmaterialien und hat Auswirkungen auf unterirdische Gasspeicher. Veränderte sicherheitstechnische Kenngrößen sind die Folge. Deren genaue Kenntnis ist für den Explosionsschutz der Anlagen unerlässlich.

#### **FORSCHEN FÜR DEN SICHEREN UMGANG MIT WASSERSTOFF**

P2G ist eine Technik mit Zukunft. So sehen das auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, die beide die Entwicklung dieser Technik durch das Energieforschungsprogramm finanziell fördern. Auf EU-Ebene ist die Forschungsnotwendigkeit ebenfalls erkannt worden. Hierzu läuft derzeit das EU-Forschungsprojekt mit dem Kürzel PHAEDRUS. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen an der Entwicklung eines elektrochemischen Kompressors, der mit hohem Wirkungsgrad ohne mechanisch bewegte Teile arbeitet. Das Kernstück ist eine Polymer-Membran-Elektrode, die Protonen durchlässt, Wasserstoffmolekülen allerdings den Weg versperrt. Mit Hilfe von elektrischem Strom werden nun den Wasserstoffatomen auf der Niederdruckseite die Elektronen entzogen, so dass diese als Protonen durch die Membran wandern können. Auf der Hochdruckseite der Membran werden die Protonen mit elektrischem Strom wieder zu Wasserstoffatomen reduziert. Natürlich steht beim Umgang mit hochverdichtetem Wasserstoff die technische Sicherheit und insbesondere der Brand- und Explosionsschutz im Mittelpunkt. „Unsere Aufgabe lag in der Begutachtung des Sicherheitskonzepts für die Prototypen“, sagt Dr. Volkmar Schröder, der den Fachbereich 2.1 Gase, Gasanlagen leitet. „Nach unserer

Auffassung erfüllt dieser neue Kompressor-Typ die strengen Anforderungen des Explosionsschutzes in Europa“, ergänzt der Sicherheitsexperte der BAM.

Für den Explosionsschutz bei der Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz sind genaue Kenntnisse der sicherheitstechnischen Kenngrößen von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen erforderlich. Mit ihrer Hilfe werden Explosionsschutz-Zonen bestimmt und festgelegt, welche Maschinen, Geräte und Werkzeuge in Gasanlagen verwendet werden dürfen. So sind etwa die Temperaturen, bei denen sich Erdgas-Wasserstoff-Gemische in Abhängigkeit vom Wasserstoffanteil selbst entzünden können, nicht genau bekannt. Auch Mindestzündenergien hängen stark vom Wasserstoffgehalt ab und sind entscheidend dafür, welche Materialien, beispielsweise für Werkzeuge bei der Reparatur von Gasleitungen, eingesetzt werden dürfen.

Das waren Gründe für die Berufsgenossenschaft Energie-Textil-Elektro-Medienerzeugnisse, ein Forschungsvorhaben zur systematischen Bestimmung der sicherheitstechnischen Kenngrößen solcher Wasserstoff-Methan-Gemische in die Wege zu leiten, mit dabei auch die Expertinnen und Experten der BAM. Auf dem International Symposium on Safety Science and Technology in Peking, China, im November 2014 stellte Schröder die ersten Ergebnisse vor: Steigt der Wasserstoffgehalt im Gemisch, verschieben sich die oberen Explosionsgrenzen, der Explosionsbereich weitet sich aus. Er zeigte auch, dass übliche Berechnungsmethoden für Explosionsgrenzen hier ungeeignet sind. Wichen doch in manchen Fällen die berechneten von den realen Explosionsgrenzen zur sicherheitstechnisch „bedenklichen“ Seite hin ab. Noch läuft das Vorhaben. Die Ergebnisse sollen später in einem Papier der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung den Mitgliedsbetrieben der Berufsgenossenschaft und Aufsichtsbehörden zur Verfügung gestellt werden.

Die Power-to-Gas-Technologie findet zukünftig auch stärker bei der europäischen Normung Berücksichtigung. So hat das CEN/CENELEC-Forum „Energiemanagement“ bei einem Kick-off-Meeting in Petten, Niederlande, die Bildung von Arbeitsgruppen initiiert, die sich mit Fragen zur technischen Sicherheit der Wasserstoff-Technologien im Energiebereich beschäftigen sollen. Die BAM ist daran unmittelbar beteiligt.

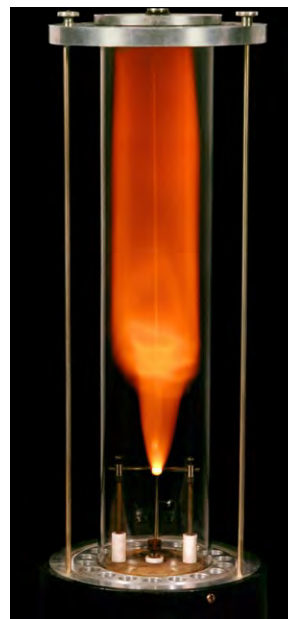
---

Solar and wind energy are temporarily available in abundance. However, particularly when a lot of power is needed in the evenings, the sun has already



*Bombenmethode zur Bestimmung von Explosionsgrenzen, Explosionsdrücken und zeitlichen Explosionsdruckanstiegen von Erdgas-Wasserstoffgemischen*

*Bomb method for the determination of explosion limits, explosion pressures and rate of explosion pressure rise of natural gas-hydrogen mixtures*



*Rohrmethode zur Bestimmung von Explosionsgrenzen von Erdgas-Wasserstoffgemischen*

*Tube method for the determination of explosion limits of natural gas-hydrogen mixtures*

set and the wind does not blow. In such cases, energy storage facilities must be available. One of these storage techniques, which has a very high storage capacity, is the power-to-gas technology, in short, P2G.

Excess electricity can be used to produce hydrogen from water through electrolysis, which then acts as a “chemical storage medium”. Hydrogen can be directly converted back into electricity in fuel cells if needed or fed as a fuel gas into existing gas grids. P2G fed into existing gas distribution grids has a particularly high storage capacity in the terawatt-hour range. This could completely cover the medium-term storage requirements – even after the development of renewable energies in Germany. The process is technically feasible and does not require special geological conditions such as pumped-storage power plants. Several pilot projects are already underway at a

small scale in Germany, e.g. at ENERTRAG AG in Prenzlau-Dauerthal.

#### **THE NEW TECHNOLOGY AND ITS CONSEQUENCES**

Just think of the precise determination of calorific values or a verifiable flow rate measurement of natural gas-hydrogen mixtures with fluctuating composition. Changes in the distribution of hydrogen after being fed into the grids and its transportation over long distances are not fully understood. This is an important aspect, because the energy bill for the customer follows from that. Also, the technical safety of equipment and pipes and explosion protection measures in dealing with gas mixtures must be clearly understood and established. Experts from the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) and BAM discussed these topics intensively with representatives from government and industry at the June 2014 seminar.

Up to 10 percent hydrogen is to be mixed with the natural gas in the future. The resulting technical problems of course must be solved beforehand. Technically safe water electrolyzers and hydrogen compressors with the highest possible efficiency are still not available on an industrial scale. Furthermore, the addition of hydrogen changes the material properties of natural gas (calorific value, density, Wobbe index, diffusion coefficient, explosion characteristics, flame velocity or flame temperature). This in turn leads to altered behaviour upon contact with plant components, pipes and sealing materials and has an impact on underground gas storage, resulting in changed safety characteristics. Precise knowledge of these issues is essential for explosion protection in installations.

#### **RESEARCH FOR THE SAFE HANDLING OF HYDROGEN**

P2G is a technology with a bright future. The Federal Ministry for the

Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety and the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy are also of this opinion and financially support the development of this technology within the Energy Research Programme. The need for research has also been recognised at EU level. To this end, the EU research project is currently underway with the short term PHAEDRUS. Scientists are researching the development of an electrochemical compressor that operates at high efficiency without mechanically moving parts. The centerpiece is a polymer membrane electrode, which lets protons pass through but blocks the way for hydrogen molecules. The electrons are removed from hydrogen atoms on the low pressure side with the help of electricity, so that they can migrate as protons through the membrane. On the high pressure side of the membrane, the protons are reduced back to hydrogen atoms using electrical power. Of course, when dealing with highly compressed hydrogen, technical safety and in particular fire and explosion protection are issues of key concern. “Our task was the evaluation of the safety concept for the prototypes”, says Dr. Volkmar Schröder, he leads the Division 2.1 Gases, Gasplants. “We believe this new compressor type meets the stringent requirements of explosion protection in Europe”, adds the BAM safety expert.

Precise knowledge of the safety characteristics of natural gas-hydrogen mixtures is required for explosion protection when hydrogen is introduced into gas grids. They help determine and specify explosion protection zones needed to decide which machines, equipment and tools can be used in gas facilities. Thus, temperatures at which natural

gas-hydrogen mixtures may spontaneously ignite depending on hydrogen content, are not known in detail. Even minimum ignition energies strongly depend on the hydrogen content and determine what materials, e. g., for gas pipe repair tools, may be used.

These were the reasons for the Employers Liability Insurance Association for Energy, Textile, Electronics and Media Products (BG ETEM) to initiate a research project for the systematic determination of safety characteristics of such hydrogen-methane mixtures, also involving BAM experts. Schröder presented the initial results at the International Symposium on Safety Science and Technology in Beijing, China, in November 2014: If the mixture’s hydrogen content increases, the upper explosion limits shift and the explosion range expands. He also showed that conventional methods are unsuitable for calculating explosion limits. In some cases the calculated explosion limits diverged from the real ones towards the “critical” side in terms of safety. The project is still running. The results will be provided later in a paper to the German Social Accident Insurance, the member companies of the Insurance Association and regulatory authorities.

The power-to-gas technology will also be more strongly taken into account in the European standardisation in the future. So at a kick-off meeting in Petten, Netherlands, the CEN/ CENELEC “Energy Management” Forum initiated the establishment of working groups to deal with questions of technical safety of hydrogen energy technologies. BAM is directly involved.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Volkmar Schröder

✉ [Volkmar.Schroeder@bam.de](mailto:Volkmar.Schroeder@bam.de)

2.1 Gase, Gasanlagen

2.1 Gases, Gas Plants





Foto: Seilpartner GmbH

# GEKRÜMMTE BAUTEILE UNTER LAST

DER NEUE PRÜFSTAND DER BAM

## CURVED COMPONENTS UNDER HEAVY LOAD

BAM'S NEW TEST RIG

Elektrischer Strom aus regenerativen Quellen, das ist schon längst kein windiges Versprechen mehr: Die aus bewegter Luft gewonnene Energiemenge steigt stetig in Deutschland. Und damit auch die Größe solcher Windkraftanlagen. Neue Anlagen werden von bis zu 85 Meter langen Rotorblättern angetrieben. Sie sind damit so lang wie die Spann-

weite des Großraum-Passagierflugzeugs Airbus A 380. Und noch längere Rotorblätter sind in der Entwicklung. Doch daraus erwachsen besondere Belastungen für die Bauteile.

Bereits bei den heute im Einsatz befindlichen Rotorblättern entdecken die Inspektoren immer



häufiger Risse in der Blattschale. Viel zu früh, lag die prognostizierte Lebensdauer doch bei rund 20 Jahren. Nach Meinung vieler Experten sind 70 bis 80 Prozent der Schäden auf ungewollte Fertigungs- und auf konstruktiv bedingte Abweichungen – so genannte Imperfektionen – zurückzuführen. Kein ganz ungefährlicher Arbeitsplatz, wenn die Schäden direkt am Blatt repariert werden sollen, müssen die Fachkräfte sich dazu in luftiger Höhe abseilen. Im Extremfall muss das gesamte Rotorblatt ausgetauscht werden. Das ist kostenintensiv. Und der zusätzliche Stillstand der Anlage führt zu weiteren erheblichen finanziellen Einbußen.

Kein Wunder also, dass die Forschung ihren Anteil zu einer hohen Betriebsfestigkeit leisten muss – der generelle Auftrag an „Bladetester“. Das ist ein Verbundprojekt mit der Technischen Universität Berlin, Steinbichler Optotechnik GmbH und der BAM sowie sechs weiteren Partnern, gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Die Fragen, die geklärt werden müssen: Lassen sich Fertigungsfehler, ihre Lokalisierung und Auswertung hinsichtlich der Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des Rotorblatts im Betrieb automatisiert erfassen? Können intelligente zerstörungsfreie Prüfverfahren (i-ZfP), kombiniert mit ausgewählten statischen und dynamischen Testeinwirkungen, Fertigungsfehler lokalisieren? Wird ein Computermodell mit den individuell erfassten Fertigungsfehlern in der Lage sein, deren Auswirkungen vorherzusagen und daraus die Zuverlässigkeit des Blattes bestätigen können?

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM untersuchen hierzu verschiedene Faserverbund-Schalensegmente unterschiedlicher Dicken, Größen und Krümmungen auf ihre Betriebsfestigkeit. Dazu haben sie einen Prüfstand konstruiert und aufgebaut, der in eine servohydraulische Prüfmaschine mit maximal 500 Kilonewton Last integriert wurde. „Wir können damit sowohl Volllaminat als auch Sandwich-Schalen unter Schwingbeanspruchung untersuchen. Die spezielle Konstruktion unseres Prüfstandes erlaubt eine sehr homogene Verformung des gesamten Schalenprüfkörpers. Das ist neu. Damit können wir den Einfluss von Fehlstellen, also Imperfektionen auf die Dauerfestigkeit von Rotorblättern untersuchen“, erklärt Professor Dr. Volker Trappe. Er hatte die Idee für diesen Prüfstand.

Die für die Untersuchungen benötigten Schalensegmente werden vom Rotorblatthersteller und



*Dustin Nielow am neuen Prüfstand zur Untersuchung der Betriebsfestigkeiten an Faserverbund-Schalensegmenten für Rotorblätter von Windkraftanlagen  
Dustin Nielow studies the fatigue resistance on fibre composites shell segments for rotor blades of wind turbines in the new test rig*

Industriepartner SINOI gefertigt. Sie stehen den realen Rotorblättern in nichts nach. Diese Sandwich-Konstruktionen bestehen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) mit einem eingebetteten Schaumkern. In diese Schalen bringen die Wissenschaftler nun definierte Fertigungsfehler ein, wie sie aus dem realen Rotorblattbau bekannt sind.

Rotorblätter mit einer Länge von 85 Metern und mehr haben an der Flügelwurzel, die direkt an der Maschinengondel angebracht ist, eine Tiefe bis zu sieben Metern. Die gewöhnliche Breite von GFK-Textilgeweben liegt allerdings nur bei 2,54 Meter (100 Zoll). Das Textilgewebe muss daher, wie beim Tapezieren, lagenweise auf Stoß geklebt werden. Doch wie genau müssen die Lagen aneinander stoßen oder welchen Einfluss hat eine Falte im Textilgewebe, damit die Konstruktion nicht vorzeitig versagt? Das Gleiche gilt für die Schaumplatten, die den Sandwich-Kern bilden. Auch hier müssen die

handelsüblichen handlichen Platten auf Stoß verarbeitet werden. Aber ab wann werden Toleranzen der Schaum- und Lagenstöße überschritten? Und wie groß dürfen unvermeidbare Fertigungsfehler sein?

Fragen, die das Team um Prof. Trappe mit ihrem neuen Prüfstand beantworten wollen. Ermüdungsversuche an den Schalensegmenten unter repräsentativen Lastkollektiven, wie sie an Rotorblättern herrschen, sollen deutlich machen, wie die eingebrachten unterschiedlichen Fehlstellen die Lebensdauer beeinflussen. Die Veränderungen der Probe während der Dauerversuche werden durch die zerstörungsfreie Zustandsüberwachung verfolgt.

„Wir kombinieren hier die Thermografie mit der 3D-Verformungsanalyse (ARAMIS). Die Thermografiekamera erkennt die Schadensentstehung und deren Fortschritt. Und mit Hilfe der 3D-Verformungsanalyse können wir große dreidimensionale Verformungen auswerten, wie beispielsweise das Beulen der Schalenprüfkörper“, so Dustin Nielow, der sich mit diesem Thema in seiner Doktorarbeit wissenschaftlich auseinandersetzt.

Also: Alle Fragen geklärt? Na längst nicht. Werden Schäden rechtzeitig erkannt, erfolgt eine Reparatur. Doch auch Reparaturkonzepte bezüglich der Dauerfestigkeit von Rotorblättern müssen untersucht und bewertet werden. Ein zukünftiges Thema für das Team um Prof. Trappe. Schließlich geht es um nicht zu unterschätzende Herausforderungen für die ansonsten sehr vielversprechende regenerative Energietechnik.

---

Electricity from renewable sources has long ceased to be a feeble promise: The amount of energy extracted from the wind is rising steadily in Germany, and with it the size of wind turbines. New facilities are powered by up to 85-metre-long rotor blades. They are therefore as long as the wingspan of the large-capacity Airbus A380. Even longer blades are in development, which can cause enormous strains on the components.

Inspectors are increasingly finding cracks in the blade shell of currently used rotor blades. This is much too soon, since the predicted durability was around 20 years. Many experts believe that 70 to 80 percent of the damage is caused by accidental production and design-related nonconformities – so-called imperfections. This is a dangerous working environment, if the damage to the blade must be repaired in-situ, specialists must abseil to a dizzying

height. In extreme cases the entire rotor blade must be replaced, which is expensive. And the additional suspension of the output from the facility will lead to further heavy financial losses.

No wonder that research must play its part in achieving a high operational strength – the general task of “blade testers”. This is an integrated project of the Technische Universität Berlin, Steinbichler Optotechnik GmbH, BAM and six other partners, supported by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.

The questions that need to be clarified are the following: Can manufacturing errors, their localisation and evaluation in terms of the impact on the reliability of the rotor blade be automatically detected during operation? Can intelligent non-destructive testing (i-NDT) combined with selected static and dynamic test controls localise production errors? Can a computer model individually record production errors and predict their impact and determine the reliability of the blade?

For this purpose, BAM scientists investigated different fibre composite shell segments of different thicknesses, sizes and curvatures regarding their operational strength. They designed and built a test rig that was integrated into a servo-hydraulic test machine with a maximum load of 500 kilonewton. “It allows us to investigate both whole-laminates and sandwich-shells under vibrating stress. The special design of our test rig allows a very consistent deformation of the entire shell sample. This is new. In this way we can investigate the impact of imperfections on the fatigue strength of blades“, explains Professor Dr. Volker Trappe, who came up with the idea of this test rig.

The shell segments required for the tests were made by the rotor blade manufacturer and industry partner SINOI. They are in no way inferior to real rotor blades. These sandwich structures are made of glass-fibre-reinforced plastic (GFRP) with an embedded foam core. The scientists introduce specific manufacturing defects into these shells, just as they occur in a real rotor blade.

Rotor blades of 85 metres or more have a wing chord of up to 7 metres at the wing root where it is directly attached to the nacelle. However, the ordinary wing chord of glass-fibre-fabrics is only 2.54 metres (100 inches) at most. The fabric must therefore be attached in layers from edge to edge, butting together as in wallpapering. But exactly

how close must the layers be or what impact does a fold in the fabric have so that the design does not fail prematurely? The same applies to the foam panels which form the sandwich core. Again, conventional manageable panels must be arranged edge to edge. But at what point is the tolerance of the foam and layer butts exceeded? And what is the limit of inevitable manufacturing errors?

The scientists wish to answer these questions with their new test rig. Fatigue tests on shell segments under representative load spectra, similar to those found on rotor blades should illustrate how the different defects introduced affect durability. Changes in the sample during the endurance tests are tracked by non-destructive condition monitoring.

”We are combining thermography with 3D deformation analysis (ARAMIS). The thermographic camera detects the damage formation and its propagation. With the help of the 3D deformation analysis, we can evaluate large, three-dimensional deformations such as the bumps on shell samples“, says Dustin Nielow, who scientifically addresses this subject in his doctoral thesis.

Have all questions been clarified? Not even close. If damage is detected in time, repairs can be made. But repair concepts regarding the fatigue strength of rotor blades need to be examined and evaluated, which is a future topic for the team led by Prof. Trappe. After all, this is about considerable challenges for the otherwise very promising renewable energy technology.

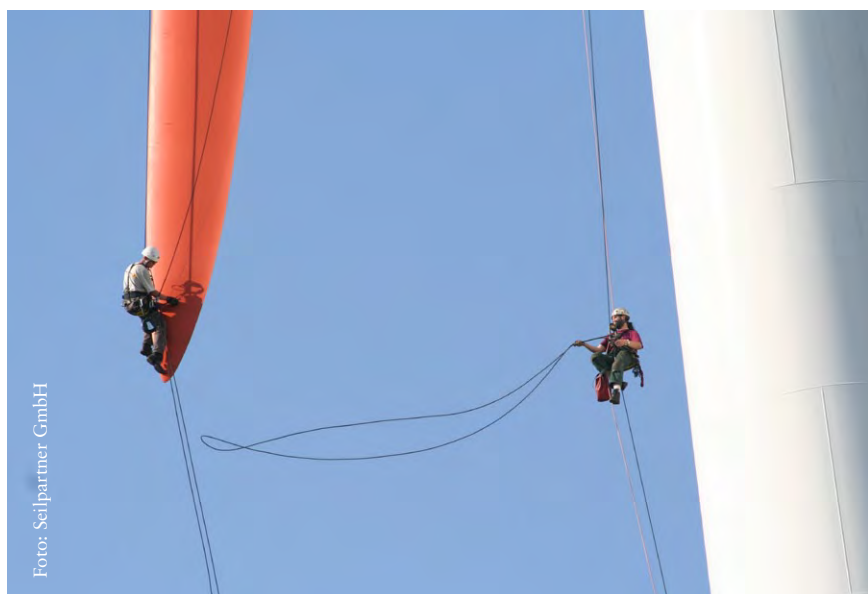


Foto: Seilpartner GmbH

#### KONTAKT/CONTACT

Prof. Dr. Volker Trappe

✉ Volker.Trappe@bam.de

5.3 Mechanik der Polymerwerkstoffe

5.3 Mechanics of Polymers





# MIT LICHT BERÜHRUNGSLOS DEFEKTE IN BAUTEILEN AUFSPÜREN

---

## CONTACTLESS DETECTION OF COMPONENT DEFECTS USING LIGHT

Der Überlapp der beiden hier vorgestellten Untersuchungsmethoden könnte nicht geringer sein. Das Vereinende ist Licht. Während Dr. Rainer Krankenhagen auf die Sonne als Wärmequelle setzt, nutzt Dr. Mathias Ziegler moderne LEDs für seine Untersuchungen. Beide Wissenschaftler forschen daran, mit Hilfe der Thermografie Herstellungsdefekte oder innere Fehler von Bauteilen zerstörungsfrei und berührungslos sichtbar zu machen. Denn:

Die Sicherheit eines technischen Systems beruht vor allem auf der einwandfreien Qualität seiner Bauteile. Defekte können die Funktionstüchtigkeit der gesamten Konstruktion bedrohen und Unfälle verursachen.

Zum Beispiel Rotorblätter von Offshore-Windkraftanlagen: Industriekletterer inspizieren sie alle zwei Jahre visuell und durch Klopftechniken. Doch

die Wartungs- und Instandhaltungskonzepte aus dem Landbereich geraten unter Offshore-Bedingungen an ihre Grenzen. Neue Ansätze müssen erprobt werden. Die Idee: Den Zustand der Rotorblätter über berührungslose thermografische Fernerkundung beim Vorbeiflug aus einem Hubschrauber zu überwachen. Doch hat dieses Verfahren genügend Potential für den technischen Alltag? Dieser Frage gehen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt IKARUS (Infrarot-Kameratechnik zur berührungslosen Analyse von Rotorblättern unter Hoch-See-Bedingungen) nach.

Thermografische Verfahren bilden die Oberflächentemperatur von Objekten ab. Die Intensität der Wärmestrahlung (Infrarot), die von einem Punkt ausgeht, wird als Maß für dessen Temperatur gedeutet. Eine Wärmebildkamera wandelt die für das menschliche Auge unsichtbare Infrarotstrahlung in elektrische Signale um und erzeugt daraus ein Falschfarbenbild. Weist das Objekt nun Unregelmäßigkeiten auf, wie Risse oder Hohlräume, so wird an diesen Stellen Wärme unterschiedlich aufgenommen und abgestrahlt. Risse und Hohlräume können so mit der Thermografie sichtbar gemacht werden. Thermische Signaturen nennen es die Experten.

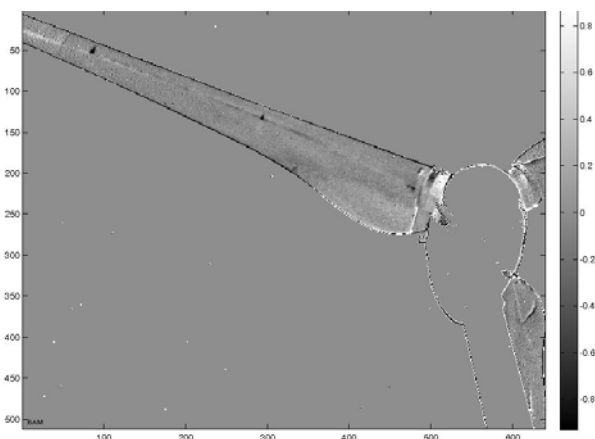
Klingt ganz einfach, doch die Probleme stecken in den Details: Die Sonne als Anregungsquelle für solch große Objekte wie Rotorblätter scheint zunächst ideal, doch lässt sie sich nicht beliebig ein- und ausschalten. Tag, Nacht, Regen, Wolken und Umwelteinflüsse, aber auch Verschmutzungen können den für das Verfahren erforderlichen

Temperaturgradienten am Rotorblatt beeinflussen. Auch Witterungsänderungen können dazu führen, dass bereits vorhandene thermische Signaturen wieder ausgelöscht werden. Daher ist es unbedingt notwendig, systematische Langzeitmessungen bei verschiedenen Umgebungsbedingungen durchzuführen, um deren Einfluss zu verstehen und Fehlinterpretationen zu vermeiden. Dazu hat das Team um Krankenhagen zunächst an präparierten und an aus Rotorblättern herausgeschnittenen Probekörpern im Labor umfangreiche Messreihen durchgeführt, bevor sie draußen Rotorblätter im Betrieb vermessen haben. Und ihr Fazit: Prinzipiell lässt sich die Thermografie dazu nutzen. Doch viele Störeinflüsse gilt es zu minimieren oder besser noch auszublenden. Ein Schritt in diese Richtung ist das von ihnen entwickelte Auswertungsverfahren, das sie inzwischen zum Patent angemeldet haben.

„Günstig für eine Messung ist es, wenn das Rotorblatt über eine gewisse Zeit durch die Sonne erwärmt wird. Im Thermogramm sehen wir dann deutliche Kontraste an Nabe, Turm und Rotorblatt. Ursache dieser Kontraste ist jedoch die direkte und diffuse Reflexion der Sonne an den gekrümmten Flächen. Mögliche innere Fehler, die mit geringen Temperaturkontrasten von unter 1 Kelvin verbunden sind, können wir so nicht nachweisen. Daher haben wir das Differenzverfahren entwickelt. Dazu subtrahieren wir die Thermogramme von zwei verschiedenen Rotorblättern in der gleichen Winkel-lage voneinander. Nach weiterer digitaler Bildverarbeitung können wir die störenden Reflexionen komplett unterdrücken und so eventuell vorhandene Defekte besser erkennen“, erklärt Krankenhagen.



Thermogramm eines sich drehenden Rotorblattes, aufgenommen bei Sonnenschein, die roten Bereiche sind auf die reflektierte Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Thermogram of a rotating rotor blade, photographed in sunshine, the red areas are due to reflected sunlight.



Differenz-Thermogramm von zwei verschiedenen Rotorblättern der gleichen Anlage, die Reflexionen wurden wirkungsvoll unterdrückt. Differential thermogram of two different rotor blades of the same facility, the reflections were effectively suppressed.

Diese Probleme kennt sein Kollege nicht. Da Ziegler seine Proben optisch mit LEDs erwärmt, kann er seine Lichtquelle genau steuern: 1 bis 100 Mal in der Sekunde kann er sie bei definierter Wellenlänge ein- und ausschalten mit dem Ergebnis, dass die zeitliche Auflösung hoch genug ist, um in Werkstoffen Defekte bis zu einer Tiefe von 1 Millimeter präzise zu lokalisieren. Und noch einen Vorteil haben die LEDs: Der übliche spektrale Überlapp von thermischer Lichtquelle und Infrarot-Kamera entfällt.

„Üblicherweise werden für die optische Erwärmung von Prüfteiloberflächen Blitz- oder Halogenlampen genutzt. Ihr Nachteil ist, dass ein erheblicher spektraler Anteil dieser Lichtquellen sich im mittleren Infrarot befindet. Und genau in diesem Bereich sind auch die Wärmebildkameras empfindlich. Auch wenn spezielle Filter verwendet werden, gehen Messinformationen verloren und Defekte werden folglich nicht erkannt. LEDs könnten eine Alternative sein“, sagt Ziegler.

Zusammen mit weiteren Kolleginnen und Kollegen der BAM entwickelte und patentierte er eine OctoLED genannte Strahlungsquelle. Das für den Laboreinsatz bestimmte Tischge-

rät besteht aus acht, um die Wärmebildkamera ringförmig angeordneten LED-Arrays. Dieses System weist eine Gesamtleistung von 1,2 Kilowatt bei einer Wellenlänge von 850 Nanometern auf, also weit weg vom störenden Infrarotbereich. Zwar sind LEDs heute noch recht teuer, doch aufgrund ihrer Langlebigkeit sind sie ressourceneffizient: 10.000 Stunden ohne Lampenwechsel sind garantiert.

Die beiden Wissenschaftler sind sich einig, die Thermografie besitzt hohes Potential, Materialschäden aufzudecken. Doch ist hierfür noch viel Forschungsarbeit erforderlich.

---

The overlap of the two test methods presented here could not be less. The unifying component is light. While Dr. Rainer Krankenhagen is banking on the sun as a heat source, Dr. Mathias Ziegler uses modern LEDs in his investigations. Both scientists carry out research into visualising manufacturing defects or internal flaws in components in a non-destructive and contactless way with the help of thermography. After all, the safety of a technical system mainly depends on the impeccable quality of its components. Defects can threaten the

functionality of an entire structure and cause accidents.

For example, industrial climbers inspect the rotor blades of offshore wind turbines biennially both visually and by using tapping techniques. However, maintenance and repair concepts used on land reach their limits under offshore conditions. New approaches need to be tested. The idea is to monitor the condition of rotor blades via contactless thermographic remote sensing during a flyby from a helicopter. But does this method have enough potential for every-day use? BAM scientists are dealing with these issues within the project IKARUS (Infrared camera technology for non-contact analysis of rotor blades under offshore conditions) funded by the Federal Ministry of Education and Research.

Thermographic processes can map the surface temperature of objects. The intensity of (infrared) heat radiation that emanates from a point is interpreted as a measure of its temperature. A thermal imaging camera converts the infrared radiation, invisible to the human eye, into electrical signals and generates a false colour image. Now, if the object has irregularities such as cracks or voids,

*OctoLED – Strahlungsquelle für den Laboreinsatz*  
*OctoLED – radiation source for laboratory use*



## KONTAKT/CONTACT

Dr. Mathias Ziegler

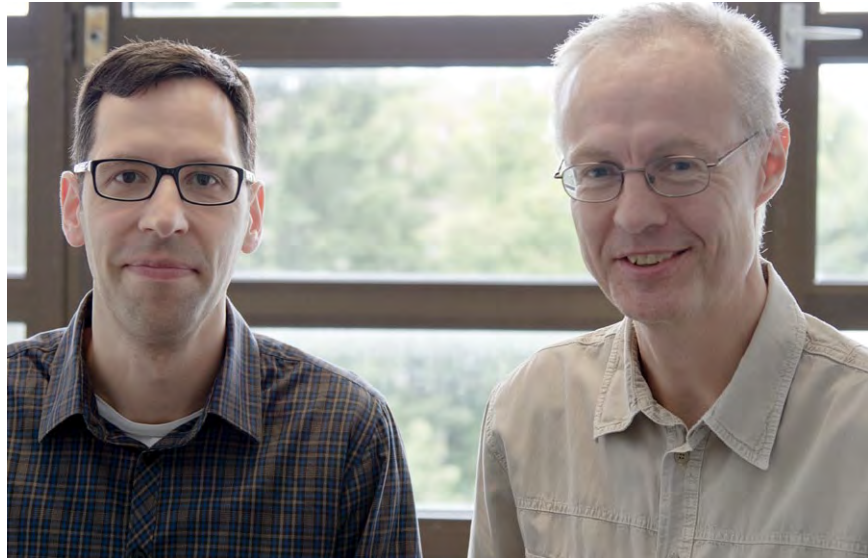
✉ Mathias.Ziegler@bam.de

Dr. Rainer Krankenhagen

✉ Rainer.Krankenhagen@bam.de

8.7 Thermografische Verfahren

8.7 Thermographic Methods



heat is absorbed and radiated differently at these points, therefore cracks and cavities can be visualised using thermography. Experts call it thermal signatures.

It sounds simple, but the problem is in the detail: the sun seems ideal at first as an excitation source for such large objects like blades but it cannot be arbitrarily switched on and off. Day, night, rain, clouds and environmental influences as well as contamination may affect the temperature gradient on the rotor blades required by the process. Even weather changes can wipe out existing thermal signatures. Systematic long-term measurements at different ambient conditions are a pre-requisite for understanding their impact and to avoid any misinterpretation. Therefore BAM scientists first carried out extensive measurements on prepared samples cut out from rotor blades in the laboratory before they measured operating rotor blades on site. They have concluded that thermography, in principle, can be used for this purpose. But a number of disturbances have to be minimised or better eliminated. One step in this direction is the assessment method developed by the team, for which they have now submitted a patent application.

”A pre-heating by the sun over some time is favourable for a measurement on the rotor blades. The thermogram shows clear contrasts on the hub, tower and rotor blade. These contrasts however, are caused by the direct and diffuse reflection of the sun by the curved surfaces. Potential internal errors associated with low temperature contrasts of less than 1 Kelvin cannot be detected in this way. Therefore, we have developed the differential method, where we subtract the thermograms of two different blades in the same angle position from one another. After further digital image processing, we can completely suppress the disturbing reflections and so better detect potential defects“, explains Krankenhagen.

His colleague has not encountered these problems. Since Ziegler heats his samples optically by LEDs, he can precisely control his light source: he can turn them on and off at a specific wavelength 1 to 100 times per second. The result is that time resolution is high enough in order to precisely localise material defects to a depth of 1 millimetre. LEDs also have another advantage: the usual spectral overlap of a thermal light source and an infrared camera does not occur.

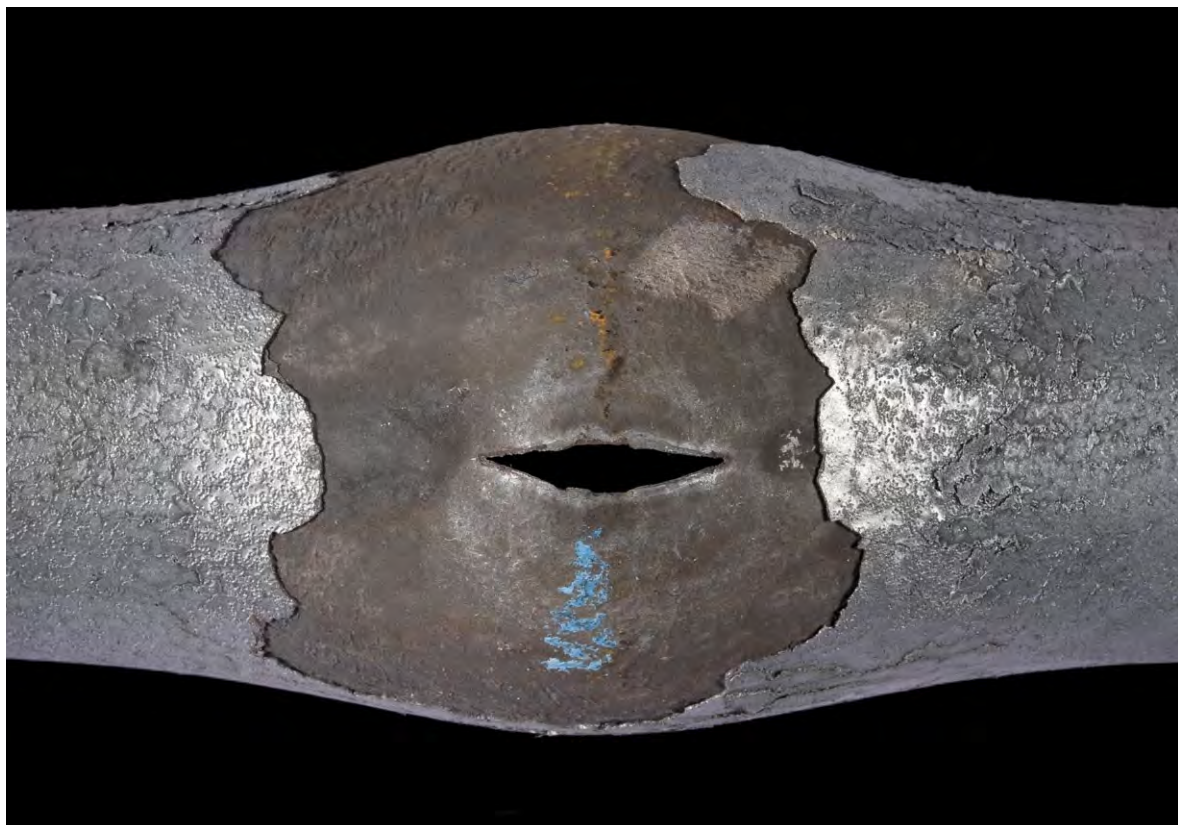
”Typically, flash or halogen lamps are used for optical heating of the sample surfaces. Their disadvantage is that a significant part of the spectrum of these light sources is in the mid-infrared range. And thermal imaging cameras are sensitive exactly in this range. Although special filters are used, measurement information will be lost and some defects may not be detected. LEDs may be an alternative“, says Ziegler.

He and other BAM colleagues developed and patented a radiation source called OctoLED. The desk-top unit intended for laboratory use consists of eight LED arrays arranged annularly around the thermal imaging camera. This system has an electrical power consumption of 1.2 kilowatts at a wavelength of 850 nanometres, i.e. far away from the disturbing infrared range. Although LEDs are quite expensive today, they are resource-efficient due to their longevity: 10,000 hours without replacing a lamp is guaranteed.

The two scientists agree that thermography has a high potential to detect material damage, but extensive research is needed to achieve this purpose.

Schaden an einem Überhitzerrohr für Dampfkraftwerke im Laborversuch. Örtliche Schädigung des Rohrs durch Kriechen nach lokaler Korrosion mit Wanddickenverlust und Aufweitung der Rohrleitung aufgrund des Dampf-Innendruckes von 270 bar. Das Material ist gerissen.

A superheater tube for steam power plants after failure in a laboratory test. Local damage to the pipe by creep, after local corrosion with a wall thickness loss and pipe bulging due to internal vapour pressure of 270 bar. The material is cracked.



## SCHÄDIGUNGSPROZESSE IM STAHL

VON HERKÖMMLICHEN VERBRENNUNGSKRAFTWERKEN IM  
VERBUND MIT REGENERATIVEN ANLAGEN

---

## DAMAGE PROCESSES IN STEEL

OF CONVENTIONAL COMBUSTION POWER PLANTS IN COMBINED  
OPERATION WITH RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

Regenerative und konventionelle Strom- und Wärmeerzeugung wachsen zu einem Versorgungssystem zusammen – und Goliath hilft dem wachsenden David dabei, der zukünftige Goliath zu werden. Die Aufgabe der konventionellen Verbrennungskraftwerke besteht in der Sicherung der Versorgung in Zeiten der Unterversorgung durch regenerative Erzeugung. Bisher sind nur konventionelle Großkraft-

werke in der Lage, eine Wechsellast stabil mit 50 Hertz zu liefern und die zusätzlich anliegende Blindleistung zu beherrschen. Blindleistung tritt bei vielen elektrisch betriebenen Geräten auf. Sie steckt zum Beispiel im Magnetfeld jedes Elektromotors, von Industrieanlagen, Staubsaugern, Kühlschränken und Wärmepumpen. Gibt es viel Wind und Sonne, machen die konventionellen Anlagen Pause und es



wird der Atmosphäre CO<sub>2</sub> erspart. Schwankt der Wind, so gleichen die Konventionellen dies aus, gibt es keine regenerative Erzeugung so sind die Konventionellen voll da. Für diese Aufgabe wurden die Großkraftwerke aber nicht entworfen oder gebaut. Die vielen zusätzlichen Lastwechsel beschleunigen die Werkstoffschädigung und können frühzeitige und unerwartete Schäden an Bauteilen oder Anlagenteilen verursachen.

Diesen Effekten geht die Nachwuchsforscherguppe FLEXIKON der BAM nach. Die Wissenschaftler untersuchen, inwieweit die Erfahrungen zum Verhalten hochwarmfester Stähle sowie die Einflüsse auf die Lebensdauer von Komponenten unter stationären Kraftwerksbedingungen auf einen zyklischen Anlagenbetrieb übertragbar sind.

Hohe Temperaturen und Drücke sowie aggressive Rauchgas- und Wasserdampfatamosphären sind extrem widrige Einsatzbedingungen, denen der Stahl der Bauteile in konventionellen Kraftwerken über Jahrzehnte ausgesetzt ist. Diese Stähle enthalten bis zu 12 Prozent Chrom. Dadurch bildet sich eine dichte Passivschicht aus Chromoxid auf der Werkstoffoberfläche aus, die die Bauteile vor Korrosion schützt. Und auch den dauerhaften mechanischen Spannungen müssen die Stähle widerstehen; sie verformen sich unter Last nur im geringen Maße pro Zeit.

Aber die Experten vermuten, dass der Stahl sein Verhalten unter zyklischen Belastungen verändert. Doch wie genau? Die experimentelle Simulation – also die Simulation realer Beanspruchungen – soll hier weiterhelfen. Als reales Bauteil wählten die BAM-Wissenschaftler Wärmetauscherrohre.

Zur Untersuchung der Korrosionsvorgänge werden die Rohre innen von Dampf mit einem Druck von bis zu 300 bar durchströmt. Die äußere Belastung

erfolgt durch Rauchgas verschiedener Zusammensetzung und unterschiedlicher Temperaturen.

Unter diesen Bedingungen will, die Forschergruppe herausfinden, ob und wie regelmäßige Temperaturveränderungen, mechanische Belastungen und bestimmte Rauchgaszusammensetzungen die Bildung von Rissen, Verformungen oder anderen Schädigungen am Werkstoff beeinflussen. Dies veraten die chemischen und mechanischen Reaktionen des Werkstoffs, die an der Oberfläche sowie in dessen Inneren Spuren hinterlassen. Diese gilt es nun systematisch und detailliert zu erfassen, schließlich hängt davon die Lebensdauer des Werkstoffs ab.

Parallel zur experimentellen Simulation entwickeln die Wissenschaftler theoretische Modelle, die die Kinetik, Thermodynamik, Verformung und Lebensdauer beschreiben, um die Ursachen dieser beobachteten Materialveränderungen sowie die Auswirkungen auf das Langzeitverhalten der Werkstoffe abschätzen zu können.

„Wir forschen daran, dass konventionelle Verbrennungskraftwerke im Verbund mit regenerativen Anlagen sicher und zuverlässig betrieben werden können. Auch fließen unsere Ergebnisse in die Entwicklung der Reinigungstechnik für Rauch- und Prozessgase ein. Ein kleiner Schritt zum Klimaschutz“, so Dr. Jürgen Olbricht. Er leitet die Nachwuchsgruppe FLEXIKON, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Materialforschung für die Energiewende“ mit einer Million Euro bis August 2017 fördert.

---

Renewable and conventional power and heat generation are merging into a single supply system – and Goliath helps the growing David to become the future Goliath. The task of conventional combustion power plants is to ensure supply

„Auch die derzeit laufenden Kraftwerke müssen weniger CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre abgeben. Daher wird europaweit weiter an der Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen geforscht. Mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung ausgerüstete neue kommerzielle Kraftwerke werden in Großbritannien mit „White Rose“ und in China in Betrieb gehen. Das abgeschiedene CO<sub>2</sub> muss dann sicher an seinen Bestimmungsort, Gas- oder Öllager, transportiert werden. Dazu hat die BAM bereits in dem Verbundprojekt COORAL erfolgreich mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Forschung betrieben und zur Definition der zulässigen Verunreinigungen im CO<sub>2</sub>-Gas beigetragen. Zulässig heißt, dass über hunderte von Kilometern in den Rohrleitungen keine kritischen Korrosionsschäden auftreten dürfen. Regenerative Stromerzeugung und CO<sub>2</sub>-Abgasreinigung werden gemeinsam wesentlich dazu beitragen, dass die Bundesrepublik Deutschland ihr Klimaziel erreichen kann. Ein Nachfolgeprojekt, das CO<sub>2</sub> aus industriellen Abgasen berücksichtigt, steht kurz vor dem Start.“

*Dr. Axel Kranzmann, Leiter des Fachbereiches 5.1 Materialographie, Fraktographie und Alterung technischer Werkstoffe.*

continuity when renewable energy is in short supply. Currently (no pun intended), only conventional power plants are capable of supplying a stable 50 Hertz AC voltage and also manage the additional reactive power needs. Reactive power occurs in many electrically powered devices. For example it lies in the magnetic field of an electric motor in industrial equipment, vacuum cleaners, refrigerators and heat pumps. If wind and sun are available in abundance, conventional plants take a break and the atmosphere will be saved from some CO<sub>2</sub>. If the wind varies, conventional power plants compensate for this, and if there is no renewable power, the conventional plants step in in full. However, large power plants have not been designed or built for this task. An additional large number of cyclical changes in load can weaken

materials and may cause premature and unexpected damage to components or parts.

BAM's FLEXIKON group of young researchers looks into these effects. The scientists are looking into how an understanding of the behaviour of high-temperature steels and the influences on component service life under steady-state conditions can be transferred to cyclic power plant operation.

High temperatures and pressures, and aggressive flue gas and water vapour atmospheres result in extremely demanding operating conditions in conventional power plants in which steel components need to survive for decades. These steels contain up to 12 percent chromium, from which a thick passive layer of chromium oxide is formed on the material surface that protects the components from corrosion. Steels must also withstand permanent mechanical stresses: they may only deform to small extent per unit time under load.

But experts suggest that steel changes its behaviour under a cyclic load. But how exactly? Experimental simulation – simulating the real exposure conditions – should help here. BAM's scientists have chosen heat exchanger tubes as the test components.

To investigate the corrosion processes, steam at a pressure of up to 300 bar flows inside the pipes while flue gas of different compositions and different temperatures, represents the external atmospheric impact.

Using these conditions, the researchers intend to find out whether and how regular changes in temperature, mechanical loads and specific flue gas compositions influence the formation of cracks,



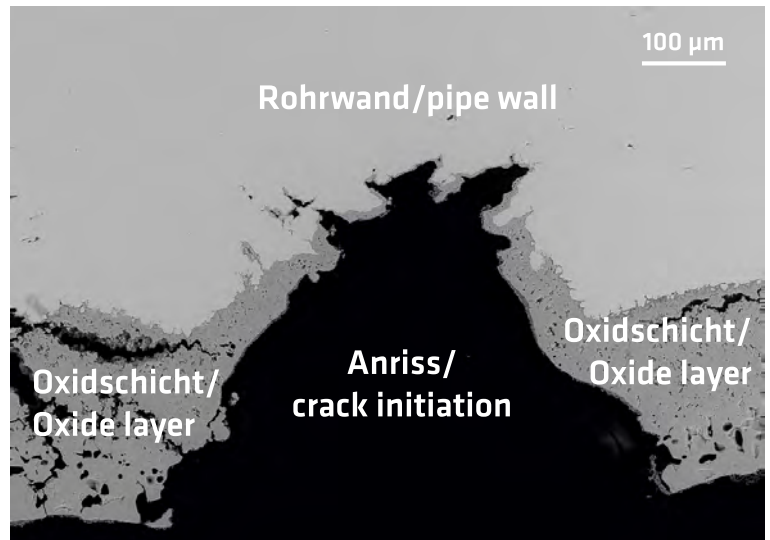
*Anlage zur Korrosionsprüfung von Kraftwerksrohren  
Corrosion testing equipment for power plant pipes*

“Currently operating power plants must reduce their discharges of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. Therefore in Europe, research is ongoing into capturing CO<sub>2</sub> from flue gases. New commercial power plants equipped with CO<sub>2</sub> capture will be commissioned in the UK (“White Rose” CCS Project) and in China. The captured CO<sub>2</sub> must then be safely transported to its final destinations, i.e. gas or oil bearing strata. For this purpose, BAM, together with the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), has carried out successful research within the COORAL joint research project and contributed to the definition of allowable impurities in CO<sub>2</sub>. Allowable means that no critical corrosion is allowed to occur in the pipeline over hundreds of kilometres. Renewable power generation and CO<sub>2</sub> emission control together will contribute considerably to the Federal Republic of Germany achieving its climate target. A follow-up project that will deal with CO<sub>2</sub> from industrial waste gases, is about to start.”

*Dr. Axel Kranzmann, Head of Division 5.1 Materialography, Fractography and Ageing of Engineering Materials*

Frühes Stadium der Rissbildung mit aufgerissener Oxidschicht auf der Oberfläche eines Rohrs. Es bildet sich ein trichterförmiger Anriss (Bildmitte unten), da der Werkstoff hier nicht mehr vor der Dampf-atmosphäre geschützt ist.

Early stages of crack initiation, exhibiting a locally spalled oxide layer on a pipe's surface. A pit-shaped incipient crack is formed (centre bottom) because this part of material is not protected from the steam atmosphere anymore.



deformations or other types of damage in the material. This can be seen from the chemical and mechanical reactions of the material, which leave their traces on the surface and inside. These need to be investigated systematically and in detail as, after all, the material's lifetime depends on it.

Concurrently with the experimental simulation, scientists are developing theoretical models that describe the kinetics, thermodynamics, deformation and lifetime which help assess the causes of observed material changes and the impacts on the long-term behaviour of materials.

”Our research is aimed at ensuring that conventional combustion power plants combined with renewable systems can be safely and reliably operated. Our results are integrated into the development of flue gas and process gas cleaning technology. One small step for climate protection“, says Dr. Jürgen Olbricht, who heads the FLEXIKON research group that receives one million euros in support from the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) within the ”Materials research for the energy turnaround“ programme until August 2017.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Jürgen Olbricht

✉ Juergen.Olbricht@bam.de

5.2 Experimentelle und modellbasierte Werkstoffmechanik

5.2 Experimental and Model Based Mechanical Behavior of Materials







**INFRASTRUKTUR**

---

**INFRASTRUCTURE**

# THEMENFELD INFRASTRUKTUR

---

## FOCUS AREA INFRASTRUCTURE



*Eine gut ausgebaute Infrastruktur gilt als Pluspunkt im Standortwettbewerb:  
Seit 82 Jahren besteht die Garage Hélicoidal in Grenoble.*

*A well-developed infrastructure is an asset in the competitive market place:  
the Hélicoidal garage has been in Grenoble for 82 years.*

Wie wichtig sie ist, merkt man oft erst, wenn sie – sehr selten einmal – ausfällt: die technische Infrastruktur. Ob es Anlagen und Bauwerke des Verkehrs, der Ver- und Entsorgung sind, ob es sich um die Telekommunikation oder gar um komplette Industriebetriebe handelt, nur wenn sie gut ausgebaut und gepflegt sind, können sie jederzeit ihrem Zweck dienen. Und das ist nicht nur ein von den meisten Bürgerinnen und Bürgern als selbstverständlich betrachteter Teil ihres Alltags, sondern auch eine Grundbedingung, ohne die ein Wirtschaftsstandort nicht existieren kann, von gesundem Wachstum ganz zu schweigen. Allerdings muss auch sie sich anpassen, abhängig von der Entwicklung der Wirtschaft und der Gesellschaft: Gibt es in den Städten mehr Arbeitsplätze, wandern die Menschen vom Land hinzu, Siedlungen werden errichtet, Einkaufs- und Frachtzentren entstehen, Straßen werden ausgebaut und Bahnlinien erweitert. Freilich entstehen Probleme oft dann, wenn man nicht rechtzeitig an die Erweiterung der Anlagen denkt; neue, stärkere Belastungen und die Überalterung vorhandener Systemteile können ihren sicheren Betrieb gefährden. Haltbar und zuverlässig müssen sie sein, denn im Extremfall hängen davon Menschenleben ab.

## SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Aber wie ermittelt man – möglichst zerstörungsfrei – den aktuellen Zustand einer Anlage, wie behält man die Kontrolle über ihre Funktion? Nun, es gibt dafür technisch-wissenschaftliche Methoden, sie müssen allerdings für die jeweilige Aufgabenstellung entwickelt werden. Die Oberbegriffe lauten „Alterungsmanagement“ und „Bewertungskonzepte“. Dabei werden sogar sehr starke Belastungen mit in die Betrachtung einbezogen, bis hin zu Brand- und Explosionsszenarien. Die BAM kann hierfür auf einen reichen Fundus erfolgreicher Entwicklungen sowie auf aktuell laufende technische Untersuchungen komplexer Beanspruchungen von Materialien, Komponenten und Bauwerken zurückgreifen. Hinzu kommt eine große Zahl sicherheitstechnischer Begutachtungen von Gefahrgütern, Behältern und Anlagen.

---

One only realises how important the technical infrastructure is, when it (rarely) fails. Whether they are systems and structures for transport, supply and disposal, whether they are telecommunication or even complete industrial installations, they can only serve their purpose if they are properly built and maintained. And that is not just a part of everyday life most citizens take for granted, but also a fundamental condition without which a market place cannot exist, not to speak of a healthy growth. However,

infrastructure must also adapt, depending on the development of industry and society: if there are more jobs in the cities, people migrate from the countryside to the cities, settlements will be built, shopping and freight centres arise, roads will be upgraded and rail lines expanded. Of course, problems often arise if one does not think of the facility expansion in time: new, greater loads and the aging of existing systems can jeopardise their safe operation. They must be durable and reliable because human lives depend on them in extreme cases.

## MAIN FOCUS OF CURRENT RESEARCH AND DEVELOPMENT

But how can one determine – possibly non-destructively – the current state of an installation; how can one control its function? Now, there are technical and scientific methods, but they must be designed for the task at hand. The broader categories are “ageing management” and “evaluation concepts”. The analysis even includes very heavy loads up to fire and explosion scenarios. BAM can draw on a rich store of successful developments and on-going current technical investigations of complex stresses in materials, components and structures. In addition, a large number of safety assessments of dangerous goods, containers and installations enrich our knowledge.



Foto: lx

# SICHERHEIT VON GEFAHRGUT-TRANSPORTEN IM FLUGZEUG

---

## SAFE TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS BY PLANE

Auch Gefahrgüter gehen auf Flugreisen, sowohl in Fracht- als auch in Passagierflugzeugen. Ihren sicheren Transport regeln die dafür geltenden Vorschriften in den beiden Regelwerken Dangerous Goods Regulations der International Air Transport Association, abgekürzt IATA-DGR, sowie den Technical Instructions der International Civil Aviation Organisation, den ICAO-TI. Danach dürfen sie gemäß ihrer Klassifizierung nur in den zulässigen Mengen und Verpackungen transportiert werden. Für die meisten flüssigen Gefahrgüter werden Kunststoffverpackungen verwendet. Doch die können durchlässig, permeabel sein. So kann ein gasförmiger oder flüssiger Stoff durch einen festen anderen hindurch, einen, der in diesem Fall eigentlich als dichte Umschließung gedacht war. Es sei denn, die Kunststoffbehälter sind mit Permeationssperren ausgestattet. Besonders effektiv wirkt ein Folienverbundmaterial

etwa aus Aluminium und Polyethylen mit hoher Dichte (HDPE). Ähnlich hilfreich ist die Fluorierung der Behälteroberflächen. Beim SMP-Verfahren entsteht dabei eine Schicht aus Polytetrafluorethylen (Handelsname: Teflon), die die Durchlässigkeit der Behälterwandung für unpolare Lösungsmittel erheblich reduziert.

Auch Leckagen sind möglich, besonders an Dichtungen, Deckeln oder an Schweißnähten und Klebestellen. Können sich unter ungünstigen Belüftungsbedingungen entzündliche oder gesundheitsschädliche Gase im Frachtraum ansammeln und Konzentrationen überschreiten, bei denen es zu Gesundheits-, Brand- oder Explosionsgefährdung kommen kann? Eigentlich kaum, auch wegen der relativ kurzen Beförderungszeiten, aber dennoch Grund genug für Dr. Malte Zur sich mit der Kabi-



nenluftströmung und dem Stofftransport von Gefahrgut in Flugzeugfrachträumen wissenschaftlich auseinanderzusetzen. Sein Werkzeug: Numerik und ein Frachtraum-Modell eines Airbus der 340er-Serie im Maßstab 1:10.

„Modellierungen machen Untersuchungen sehr viel einfacher. Experimente in einem echten Frachtflugzeug sind sehr aufwendig und liefern nur begrenzt Aussagen über die Stoffströme im Frachtraum. Es sind die Besonderheiten, wie Flugzeugtyp, Belüftung oder Beladung, die die Allgemeingültigkeit bei einer kleinen Anzahl von Versuchen leider einschränkt“, so Zur.

Der Wissenschaftler entschied sich für die numerische Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics), mit der er verschiedene Szenarien im Frachtraum am Rechner untersuchte. Als Gefahrgut wählte er Toluol und n-Hexan, zwei entzündbare Flüssigkeiten der Gefahrgutklasse 3, die in Kunststoffverpackungen transportiert werden dürfen. Und mit der numerischen Modellierung konnte er zeigen, welche Parameter den Austritt von Gefahrgut in den Frachtraum beeinflussen, welche Vorgänge eine Ausbreitung und Ansammlung von gefährlichen Stoffen in Flugzeugfrachträumen begünstigen und wie hoch unter definierten, realistischen Transportbedingungen das Gefahrenpotential durch den Austritt von entzündlichen Stoffen im Frachtraum einzuschätzen ist.

Doch zunächst einen Blick zurück zum Ausgangspunkt, der Entwicklung eines geeigneten numerischen Modells. Es muss den Frachtraum mit allen relevanten Merkmalen rechnerisch abbilden. In Hexaeder-Volumenelemente aufgeteilt, definierte Zur diesen durch ein Rechengitter. Bei der CFD-Simulation werden die Strömungsgrößen in endlich vielen Punkten des Strömungsgebietes bestimmt. Das Rechengitter legt fest, wie diese Punkte im Raum und an den Rändern dieses Gebietes verteilt sind. Die Erzeugung eines optimierten Rechengitters ist daher für den ganzen Modellierungsprozess von großer Bedeutung.

Die verwendeten Randbedingungen basieren auf realitätsnahen Daten aktueller Flugzeuge, wie die Dimensionierung der Frachträume, der Klimatisierungs- und Luftwechseldaten sowie der Luftfracht-Container. Aber auch Rauigkeit und Unebenheit der Kabinenwände sind von Bedeutung und gingen in die Modellierung ein. Für die Berechnung von Permeations- und Leckagemassenströmen griff der Ingenieur auf Ergebnisse aus vorangegangenen Forschungsvorhaben der BAM zurück. Darin

veröffentlicht sind die Permeationsraten von Toluol, Trichlorethylen und n-Hexan in typischen Kunststoffverpackungen (Kanister, Fass und Großpackmittel) bei unterschiedlichen Materialdicken und verschiedenen Temperaturen. Und mittels einer definierten Standard-Beladung mit Standard-Behältern erzeugte Zur die Eingangsdaten für die numerische Berechnung des Stofftransports im Frachtraum.

Mit vier verschiedenen Szenarien untersuchte Zur die Ausbreitung von Gefahrgut im Modell-Frachtraum. Die Szenarien unterschieden sich durch die Art der Belüftung und durch die Dauer des Gefahrgutaustritts. Wird der Frachtraum aktiv belüftet, sammeln sich nur eher unkritische Gefahrgutmengen an. Je länger allerdings Gefahrgut ausströmt, umso schwieriger wird es auch bei aktiver Belüftung, dieses zu entfernen. Dennoch: Die Brand- und Explosionsgefahren beurteilen die Experten als unkritisch. Anders die beiden Szenarien ohne aktive Frachtraumbelüftung: Sie stufte Zur als gefährlich ein. Insbesondere das Szenario, bei dem das Gefahrgut zeitlich unbegrenzt in den Frachtraum einströmt. Hier werden kritische Konzentrationen und eine kritische Ausdehnung des Gefahrguts erreicht.

Aber wie gut sind numerischen Ergebnisse auf reale Situationen übertragbar? Auch das hat Zur überprüft, in dem er vorab experimentelle Modellversuche durchführte. Dazu konstruierte er ein Frachtraum-Modell im Maßstab 1:10, das in der BAM gefertigt und aufgebaut wurde. Das Strömungsfeld wurde dann mit einem kommerziellen Laser-Doppler-Anemometrie-System ermittelt. Das Ergebnis: Gute qualitative und quantitative Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation.

Das so validierte numerische Modell wurde nun sowohl für Simulationen im Maßstab 1:10 als auch im Maßstab 1:1 verwendet, da die dem numerischen Modell zugrundeliegenden Gleichungen als skalunabhängig gelten.

Durch zwei verschiedene Szenarien wurden die im Modellmaßstab gewonnenen Erkenntnisse für den Fall der Gefahrgutausbreitung im Originalmaßstab überprüft. Die Szenarien unterscheiden sich wieder durch die Belüftung und durch die Dauer des Gefahrgutaustritts in den Frachtraum voneinander. Auch hier zeigte sich wieder: Ohne eine aktive Belüftung kann der Gefahrguttransport im Flugzeug gefährlich werden.

Aktive Belüftungssysteme sind Standard in den meisten Flugzeugen. Und dennoch: Die Ergebnisse



Foto: Zur

dieser Forschungsarbeit erweitern die Kenntnis über Strömungs- und Stofftransportvorgänge von Gefahrgütern im Flugzeugfrachtraum. Sie liefern einen Beitrag, um weitere Risiken im Luftverkehr zu identifizieren und damit vermeidbar zu machen.

Dangerous goods are also transported via air travel, in both cargo and passenger aircraft. Appropriate provisions outlined in the two Dangerous Goods Regulations of the International Air Transport Association, abbreviated IATA-DGR, and the Technical Instructions of the International Civil Aviation Organisation, the ICAO-TI regulate their safe transport. According to the provisions, dangerous goods may be transported only in the quantities and packaging permitted for their respective classification. Most liquid dangerous goods are stored in plastic packaging, which may nevertheless still be permeable. Thus, a gaseous or liquid substance could pass through a solid substance that was in fact meant to be an impenetrable containment system. This could happen unless the plastic containers are equipped with permea-

tion barriers. For this purpose film composite materials such as aluminium and high density polyethylene (HDPE) are particularly effective. The fluorination of container surfaces is equally efficient. The SMP method thereby creates a layer of polytetrafluoroethylene (trade name: Teflon), which significantly reduces the permeability of containers for nonpolar solvents.

Leakage is also possible, especially through seals, lids or welds and splices. So is it possible for flammable or harmful gases to accumulate under unfavourable ventilation conditions in the cargo hold and exceed levels which would lead to health, fire or explosion hazards? Hardly, mainly because of the relatively short delivery times, but reason enough for Dr. Malte Zur from Division 3.2 of BAM „Tanks for Dangerous Goods and Accidental Mechanics“ to scientifically examine the cabin air flow and the transport of dangerous goods in airplane cargo holds. For this purpose, he employed numerical modelling and a model of a series A340 Airbus cargo hold at a 1:10 scale.

„Modelling makes investigations a lot easier. Experiments in a real freight aircraft are very expensive and provide only limited information about the material flows in the cargo hold. Particular features, such as the type of aircraft, ventilation or loading unfortunately limit the general applicability of a small number of tests“, says Zur.

The scientist decided to use Computational Fluid Dynamics to examine various scenarios in the cargo hold by computer. As dangerous goods he chose toluene and n-hexane, two flammable liquids of class 3 hazardous materials, which are allowed to be transported in plastic packaging. With the help of the numerical modelling he was able to expose the parameters that affect the release of dangerous goods into the cargo hold, the operations that facilitate the spread and accumulation of hazardous substances in airplane cargo holds and the degree of potential danger caused by the leakage of flammable substances in the cargo hold during specified, realistic transport conditions.

But first, returning to the starting point, the development of an appropriate numerical model. The computer model must depict the cargo hold with all the relevant features. Zur divided the hold into hexahedral voxels and defined it through a computational grid. In the CFD simulation, flow parameters are determined in a finite number of points in the flow field. The computational grid determines the distribution of these points within the space and at the edges of this field. The creation of an optimised computational grid is therefore of great importance to the entire modelling process.

The applied boundary conditions are based on realistic data from current aircraft, such as the dimensions of the cargo holds, air conditioning and air exchange data as well as air cargo containers. However, the roughness and unevenness of the cabin walls are

also important and were included in the modelling. Zur used the results of previous BAM research projects for the calculation of permeation and leakage mass flows. These projects expose the diffusion rates of toluene, trichloroethylene and n-hexane in typical plastic packaging (cans, barrels and bulk containers) of various material thicknesses and different temperatures. Furthermore, by means of defined standard loading with standard containers, Zur established the input data for the numerical calculation of mass transport in the cargo hold.

Zur examined the spread of dangerous goods in the model cargo hold in four different scenarios. The scenarios differed through the type of ventilation and the duration of the release of dangerous goods. If the cargo hold was actively ventilated, only uncritical dangerous amounts accumulated. However, the longer the dangerous goods were released, the more difficult it became to remove them, even with

active ventilation. Nevertheless, experts assessed the fire and explosion hazards as uncritical. This was not the case in the two scenarios without active cargo space ventilation: Zur classified these as dangerous, particularly the scenario in which dangerous goods flowed indefinitely into the cargo hold. This situation generated critical concentrations and a critical spread of the dangerous goods.

But how well can numerical results be transferred to real situations? Zur examined this as well by carrying out experimental pilot projects beforehand. For this purpose he constructed a cargo hold model at a 1:10 scale, which was built at BAM. The flow field was then determined by using a commercial Laser Doppler Anemometry System. The result was a good qualitative and quantitative agreement between experiment and simulation.

The validated numerical model was next used for simulations at a 1:10 scale as well as a 1:1 scale, because

the equations underlying the numerical model are applicable independently from the scale.

The results obtained from the scale model were examined for the spread of dangerous goods at the original scale using two different scenarios. The scenarios differing once again through the ventilation and the duration of the release of dangerous goods in the cargo hold. The result was the same: without active ventilation, the transport of dangerous goods on an airplane can become dangerous.

Active ventilation systems are standard on most aircrafts. And yet, the results of this research expand the knowledge about flow and transport processes of dangerous goods in the aircraft hold. They make a contribution which helps identify and avoid additional risks in aviation.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Malte Zur

✉ Malte.Zur@grassezur.de

Grasse Zur Ingenieur-  
gesellschaft mbH





## DIE RADSATZWELLE MELDET EIN PROBLEM

### THE WHEELSET AXLE HAS A PROBLEM

Der Zug gleitet mit 250 Kilometern pro Stunde durch die Landschaft. Natürlich vertrauen die Fahrgäste darauf, dass alle sicherheitsrelevanten Komponenten und Bauteile des Hochgeschwindigkeitszuges in einwandfreiem Zustand sind. Schließlich wird der Zug in regelmäßigen Abständen einer Routineprüfung unterzogen. Das ist zwar aufwändig und teuer, weil der Zug für die Zeit der Wartung außer Betrieb genommen werden muss, aber für die Sicherheit notwendig.

Aber wäre es nicht viel effizienter, wenn die Systeme zur Überwachung der Betriebssicherheit gleich in den Zug integriert wären? Wie wäre es beispielsweise, wenn jede Radsatzwelle unseres Zuges mit einem Überwachungssystem ausgerüstet wäre, das während des Betriebs kontinuierlich Informationen über den Bauteilzustand sammelt und den Triebfahrzeugführer informiert, wenn etwas mit dem Bauteil nicht stimmt. Es könnte sich zum Beispiel ein kleiner Riss gebildet haben, der nun ganz langsam wächst. Dem Lokführer wird signalisiert, dass dieser Zug demnächst in die Werkstatt muss – natürlich nicht sofort, denn der Riss wächst sehr langsam. Der Werkstatt wird gemeldet, dass ein Zug zur Wartung kommt und auch, welches Bauteil ausgetauscht werden muss. Und die Einsatzplanung erhält die Information, dass dieser Zug für den

Zeitraum der Instandhaltung nicht zur Verfügung stehen wird. Ein solcher Ansatz könnte regelmäßige Wartungsintervalle verlängern, möglicherweise sogar überflüssig machen, dabei auch noch die Zuverlässigkeit deutlich erhöhen und natürlich Kosten senken.

Doch wie lässt sich der Zustand eines sicherheitsrelevanten Bauteils wie der Radsatzwelle während des Betriebs überwachen? Diese Frage stellten sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im BAM-Fachbereich 8.4 Akustische und elektromagnetische Verfahren unter der Leitung von Dr. Jens Prager. Benötigt wird ein System, das robust ist, dem Umwelteinflüsse wie Schotterflug, Eis und Verschmutzungen nichts anhaben können und das natürlich auch kostengünstig realisierbar ist. Nach einigen Überlegungen fiel die Entscheidung für die Integration eines Ultraschallsystems. Schnell wurde klar: Die einzig mögliche Position für den Einbau der Ultraschallwandler ist die Stirnseite der Radsatzwelle, die ohnehin durch einen Lagerdeckel geschützt wird. Von dieser einen Position muss nun aber die gesamte Länge der Welle – immerhin mehr als zwei Meter – überwacht werden.

Bedingt durch das Verhältnis der Länge zum geringen Bauteildurchmesser findet die Ausbreitung des



Ultraschalls in Form sogenannter geführter Wellen statt. Der Vorteil geführter Wellen ist ihre nahezu ungedämpfte Ausbreitung über weite Entfernungen, wesentlicher Nachteil aber sind die komplexen physikalischen Zusammenhänge der Wellenausbreitung. So tritt zum Beispiel Dispersion auf, was bedeutet, dass die Schallgeschwindigkeit nicht mehr unabhängig von der Frequenz ist.

Schickt man nun einen Schallimpuls ausgehend von den Sensoren an der Stirnseite in das Bauteil, so entstehen eine Reihe von Echos durch die Geometrie und die Querschnittsänderungen. Eventuelle aufgetretene Risse erzeugen zusätzliche, jedoch sehr kleine Echos. Ähnliches passiert, wenn man ein Echo im Wald durch die Reflexionen des Schalls an den Bäumen hört. Wenn zwischen den Bäumen plötzlich ein Reh auftaucht, wird sich das Echo verändern. Wirklich hören werden wir diese kleine Veränderung allerdings nicht.



*Modell einer Radsatzwelle  
Model of a whellset axle*

Doch wie kann die kleine Änderung, die durch einen langsam wachsenden Riss entsteht, in einem komplexen Echosignal identifiziert werden? „Hierzu muss man viel über die physikalischen Zusammenhänge der Schallausbreitung im Bauteil wissen. Unser Wissen für die Radsatzwelle haben wir anhand von analytischen Betrachtungen und von numerischen Simulationen zusammengetragen. Damit konnten wir Merkmale im Echosignal identifizieren, die sich während eines Risswachstums ändern und die sogar Rückschlüsse auf die Größe und die Lage des Risses zulassen. Benötigt werden dafür klassifizierende Algorithmen, die die aufgezeichneten Echosignale in vorgegebene Klassen einsortieren, wie fehlerfrei oder Riss einer Größe  $x$  oder an einer Position  $y$ “, erklärt Prager.

In Untersuchungen an maßstäblichen Modellen konnte die Forschergruppe die Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit ihrer Idee demonstrieren. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben sich dabei zu Nutze gemacht, dass sich die Ultraschallausbreitung in einem viermal kleineren Modell und bei vierfacher Frequenz genauso wie im realen Bauteil verhält. Im Labor wurde somit statt der 600 Kilogramm Radsatzwelle nur ein handliches Modell mit etwa acht Kilogramm Masse benötigt.

Prager und sein Team sind zuversichtlich, konnten sie doch mit ihren Ergebnissen zeigen, dass ihr Ansatz für eine Online-Strukturüberwachung von Eisenbahn-Radsatzwellen machbar ist. Aber natürlich müssen bis zum praktischen Einsatz des Verfahrens noch eine Vielzahl von Problemen gelöst, und vor allem umfangreiche Tests an realen Bauteilen und an den Zügen absolviert werden. Auf dem Weg hin zu intelligenten Systemen, die die Gefahr eines Versagens ihrer Komponenten selbständig erkennen, signalisieren und den Reparaturvorgang einleiten, sind die Forscherinnen und Forscher mit ihrer Arbeit aber einen kleinen Schritt vorangekommen.

---

The train travels at 250 kilometres per hour through the countryside. Of course, the passengers

trust that all safety-related components and units of the high-speed train are in perfect condition. After all, routine tests are performed on the train at regular intervals. This is complicated and expensive because the train has to be taken out of service for the period of maintenance, but this is necessary for safety.

monitoring system that continuously gathers information about the component during operation and alerts the driver when something is wrong. For example: a small crack could have formed and it is now growing very slowly. The train driver receives a signal that this train must go to the workshop – not immediately, of course, because the crack grows



But would it not be much more effective if the systems monitoring operational safety were integrated into the train? How about, for example, if each wheelset axle of our train is equipped with a

very slowly. The workshop is also informed that a train will be coming in for maintenance and which component needs to be replaced. And the scheduling office is told that this train will not be available for the period of maintenance. Such an approach could extend regular maintenance intervals, or make regular checks even superfluous, thereby considerably increasing reliability and, of course, reducing costs.

600-kg-Radsatzwelle im Prüfstand  
600 kg wheelset axle in the test rig



But how can the status of safety-related components e.g. wheelset axles be monitored during operation? Scientists headed by Dr. Jens Prager within BAM Division 8.4 Acoustical and Electromagnetic Methods were asked this question. What is needed is a robust system that can withstand environmental influences such as flying ballast, ice and dirt and of course it must be cost-effective. After some consideration, the decision was made to use an integrated ultrasound system. It quickly became clear that the only possible location for the installation of the ultrasonic transducers was the front end of the axle, which is already protected by a bearing cap. However, the entire length of the shaft – more than two metres – must be monitored from this position.

Ultrasound propagates as “guided waves” due to the ratio of length to the small diameter of the component. Guided waves have the advantage of almost undamped propagation over long distances, but the complex physical characteristics relationships of wave propagation represent a considerable disadvantage. For example dispersion occurs, which means that sound velocity is not independent of the frequency.

If one sends a sound impulse from the sensors at the front end into the component, geometry and cross-sectional changes will generate a series of echoes. Any cracks produce additional, but very small echoes. A similar thing happens when you hear an echo in the forest by the reflections of sound from the trees. If a deer suddenly appears

classes such as ‘error-free’ or ‘crack of size x’ or ‘crack at position y’”, says Prager.

The research group was able to demonstrate the applicability and reliability of their idea in tests on scale models. The scientists relied on the fact that ultrasound propagation behaves in a quarter scale



among the trees, the echo will change. However, we are unable to perceive this small difference.

But how can we identify the tiny change caused by a slow-growing crack in a complex echo signal? “For this you have to know a lot about the physical relationships of sound propagation within the component. We have gathered our knowledge about wheelset axles from analytical considerations and computer simulations. This enabled us to identify features of the echo signal that can change during crack propagation and even allow us to draw conclusions about the size and location of the crack. For this we need classifying algorithms that can sort the recorded echo signals into specified

model and at a fourfold frequency, in the same way as in a real component. Thus only a manageable model of about eight kilograms was required in the laboratory, instead of a 600 kg wheelset axle.

The scientists are confident that the results have proved that their approach is suitable for online structural health monitoring of railway wheelset axles. But of course, a number of problems must be solved and in particular, extensive tests on real parts and trains completed to enable the method to be used in practice. The scientists’ work has made a small step towards intelligent systems that can independently recognise the risk of their components’ failure, send a signal and so initiate the repair process.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Jens Prager

✉ [Jens.Prager@bam.de](mailto:Jens.Prager@bam.de)

8.4 Akustische und  
elektromagnetische Verfahren

8.4 Acoustic and  
Electromagnetic Methods



# SANFT UND LEISE: EISEN- BAHNGLEISE DER ZUKUNFT

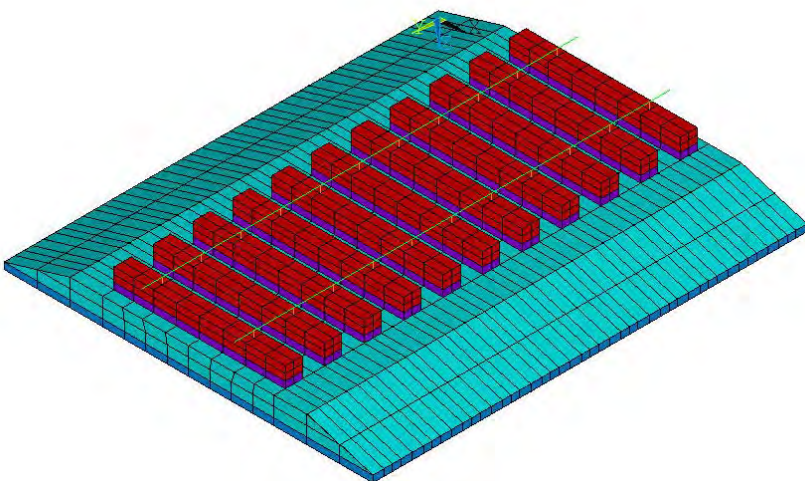
## GENTLE AND QUIET: RAILWAY TRACKS OF THE FUTURE

Den Wunsch vom Zuhause im Grünen, abseits von jeglichem Lärm des urbanen Trubels, hegt vielleicht so manch ein Städter. Immerhin weisen wissenschaftliche Studien und Modellrechnungen darauf hin, dass Millionen von Bürgerinnen und Bürgern in den Städten Lärmwerten ausgesetzt sind, bei denen ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen aber auch Lern-, Konzentrations- und Schlafstörungen anzunehmen sind. Besonders der Straßenverkehr liefert einen großen Beitrag zum Gesamtlärmbeitrag, aber auch den Lärm, der durch Schienenfahrzeuge hervorgerufen wird, empfinden viele als störend.

Um auch in Zukunft mit der Bahn in die Zentren der Städte fahren zu können, arbeitet die Bahn an Maßnahmen, um Erschütterungen zu begrenzen. Erschütterungen? Ist das nicht nur ein kleines Anhängsel des Schalls? Von der Physik her ganz bestimmt nicht. Der Schall breitet sich durch die

Luft aus, die Erschütterungen dagegen durch den Boden, und der kann vom Moorboden bis zum Fels sehr verschieden sein. Und wegen der unterschiedlichen Wellenlängen sind Minderungen durch eine Schallschutzwand relativ einfach, ein entsprechender Schlitz im Boden jedoch sehr aufwändig. Verlegt man eine Bahnstrecke in den Tunnel, dann ist der Luftschall weg, die Erschütterungen aber noch lange nicht.

Und damit wären wir beim Arbeitsgebiet von Dr. Lutz Auersch-Saworski aus dem BAM-Fachbereich 7.2 Ingenieurbau. Der Wissenschaftler arbeitete im europäischen Forschungsvorhaben RIVAS Railway Induced Vibration Abatement Solutions mit 25 weiteren Partnern daran, wie diese durch den Schienenverkehr verursachten Erschütterungen und Körperschall künftig gesenkt werden können. Dabei lag die Aufgabe der BAM darin, hochelastische Sohlen unter schweren Bahnschwellen zu entwickeln.



*Finite-Element-Modell des Fahrwegs, der größere Teil, der unendliche Boden, wird mit der Randelementmethode berechnet.*

*Finite Element Model of the track. The larger part, the infinite ground, is calculated using the boundary element method.*





*Messung von Zugschütterungen und Bodenkennwerten  
Measurement of train vibrations and soil properties*

Mit diesen hochelastischen Sohlen werden Störungen verringert, die hochfrequenter als die Radsatz-Fahrweg-Eigenfrequenz sind. Freilich sind elastische Schwellensohlen nur eine Möglichkeit, Erschütterungen zu dämpfen. Mit anderen elastischen Gleiselementen, wie beispielsweise elastische Schienenlager, Unterschottermatten, oder mit größeren abgefederten Gleismassen wird diese maßgebliche Frequenz tiefer und das System wird somit noch stärker gedämpft.

Allerdings: Zu elastisch darf das System aus Sicherheitsgründen auch nicht werden. Im schlimmsten Fall können Entgleisungen die Folge sein. Nur zwei Millimeter tief darf die Schiene in das Elastomer einsinken, darauf achteten die Partnerbahnen Deutsche Bahn, Schweizerische Bundesbahn und die französische Bahngesellschaft SNCF, Société National des Chemins de Fer Français in dem Projekt.

„Es galt, die Schwellensohlen so weich wie zulässig und die Schwellen so schwer wie möglich zu gestalten“, sagt Auersch-Saworski. „Dazu haben wir mehrere Gleislösungen entwickelt und ihre Wirksamkeit mit dem Finite-Element-Modell berechnet“, so der Ingenieur weiter. Die Partnerfirma RailOne

fertigte danach dann die Schwellen an, einige davon aus einer extra-schweren Betonmischung. Anschließend überprüften die Ingenieure der BAM deren Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit.

Dann ging es nach Herne zum Forschungspartner Eiffage Rail. Dort wurden verschiedene Schwellen und Sohlen untereinander kombiniert. Die dynamische Minderungswirkung eines jeden Schwellen-Sohlen-Systems ermittelten die Ingenieure mit einer dynamischen Belastungsmaschine.

Aber wie beeinflusst der Boden die Weiterleitung von Erschütterungen? Damit auch die tatsächliche Minderung, die auf das Schwellen-Sohle-System zurückgeht und nicht nur die unterschiedlichen Böden an den Vergleichsgleisabschnitten gemessen wird, ermittelten die Ingenieure der BAM an jedem Messort die dynamischen Bodeneigenschaften. An den vielen Messorten in Deutschland, Österreich und der Schweiz wendeten sie ein neues Verfahren an: Die Signale aller Messpunkte wurden in einem Abstand von jeweils einem Meter bis zu 50 Meter entfernt zum Gleis nicht nur einer Frequenz- sondern zusätzlich einer Geschwindigkeits-Transformation unterzogen. Das Frequenz-Wellengeschwin-



*Messung von Zegerschütterungen und Bodenkennwerten mit dem Vielkanal-Messsystem an der Inntal-Zulaufstrecke zum Brenner-Basistunnel*

*Measurement of train vibrations and soil properties with the multi-channel measuring system at the Inn valley access route to the Brenner base tunnel.*

digkeits-Spektrum gibt dann Auskunft über die Schichtung des Bodens.

Auch Auf- und Abfahrten bei Brücken oder die Überfahrt von Weichen führen zu Erschütterungen, die die BAM-Ingenieure mit komplexen Zeitverlaufs-Rechenverfahren erforschen. Die Ergebnisse ihrer aufwendigen Untersuchungen fließen ein in ein schnelles, praxisorientiertes Erschütterungsprognoseprogramm. Von Experten aber auch Laien genutzt, soll es zuverlässige Prognosen liefern. Keine einfache Aufgabe, denn eine Prognose mit wenigen Mausklicks funktioniert nur mit vereinfachten Modellen, und die müssen die BAM-Wissenschaftler aus komplexen Berechnungen richtig ableiten.

The desire to escape into a home in the countryside, away from the noise of the urban hustle and bustle, is perhaps considered in many cities. After all, scientific studies and model calculations suggest that millions of citizens living in cities are exposed to noise levels which pose an increasing risk of cardiovascular conditions and learning, concentration and sleep disorders. Road traffic has a significant input to the overall noise contribution, but many consider the noise caused by trains equally annoying.

In order to travel by train in city centres in the future, the railway is working on measures to limit vibrations. Are vibrations not just a small supple-

ment of sound? Certainly not from a physical perspective. Sound spreads through the air, vibrations on the other hand, spread through the ground and that can vary from boggy soil to rock. Sound-proof walls can minimise noise relatively easily, but building a corresponding cutting in the ground is rather expensive. The airborne sound disappears if railway tracks are relocated in tunnels, but vibrations still persist.

Which brings us to the subject area of Dr. Lutz Auersch-Saworski from BAM Division 7.2 Buildings and Structures, who worked in the European research project RIVAS Railway Induced Vibration Abatement Solutions together with 25 other partners looking for ways to reduce rail traffic generated vibrations and structure-borne sounds in the future. BAM's task was to develop highly flexible soles to be placed under heavy railway sleepers.

These highly flexible soles reduce rumblings, which have a higher frequency than the wheel set/track's natural frequency. Admittedly elastic sleeper soles are just one way of dampening vibrations. Other elements such as elastic rail fasteners, sub-ballast mats, or larger, spring-cushioned track mass also lower the natural frequency and the emitted ground vibration is reduced.

Nevertheless, for safety reasons, the structure should not be too elastic. In the worst case, derail-



ments may occur as a consequence. The rail must not sink more than two millimetres into the elastomer, which was a key issue for the partner railways Deutsche Bahn, Swiss Federal Railways and the French railway company SNCF, Société National des Chemins de Fer Français within the framework of the project.

“We had to make sleeper soles as soft as permitted and sleepers as heavy as possible”, says Auersch-Saworski. “We developed several track solutions for this purpose and calculated their effectiveness using the Finite Element Model”. The partner company RailOne then manufactured the sleepers, some of them from an extra-heavy concrete mix, after which BAM engineers checked their strength, durability and operability.

The project continued with research partner Eiffage Rail in Herne where various sleepers and soles were combined. The engineers measured the dynamic reduction effect of each sleeper-sole-system using a dynamic load machine.

But how does the soil affect the transmission of vibrations? BAM engineers did not only measure the actual reduction enabled by the sleeper-sole-system, but also determined the dynamic soil characteristics at each measuring site. They used a new method at numerous measuring sites in Germany, Austria and Switzerland: The signals of all measuring points, one metre apart, up to 50 metres from the track were not only subject to a frequency but also to a velocity transformation. The frequency-wave velocity spectrum then provides information about the stratification of the soil.

Entrance and exit ramps of bridges or switches also lead to vibrations, which were explored by BAM engineers through complex time-domain calculation methods. The results of their elaborate studies are incorporated into a fast, practical vibration-predicting programme. Used by experts and laymen alike, it should provide a reliable prognosis. This is not an easy task, as a forecast that requires only a few mouse clicks only works with simplified models that need to be correctly derived from complex calculations by BAM scientists.



#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Lutz Auersch-Saworski

✉ [Lutz.Auersch-Saworski@bam.de](mailto:Lutz.Auersch-Saworski@bam.de)

7.2 Ingenieurbau

7.2 Buildings and Structures



# GRAPHEN FÜR DEN FLAMMSCHUTZ

---

## GRAPHENE AS A FLAME RETARDANT

Ein kleines, schlichtes Schwarzes darf niemals fehlen. Das könnte die Jury gedacht haben, als sie nur sechs Jahre nach der erstmaligen erfolgreichen Isolierung einzelner Graphenschichten diese wissenschaftliche Arbeit mit dem Physik-Nobelpreis 2010 honorierten. Tatsächlich gelang den beiden Forschern Andre Geim und Konstantin Novoselov etwas, das bis dahin als unmöglich galt. Zusammensetzung, Struktur und Eigenschaften des Kohlenstoffmaterials Graphen waren zwar schon lange theoretisch beschrieben, jedoch ging man davon aus, dass eine einzelne, freitragende Graphenschicht als zweidimensionaler Kristall thermodynamisch instabil sei und nicht existieren könne.

Das Material Graphen ist gekennzeichnet durch eine Kombination herausragender und einzigartiger Eigenschaften. Es ist das dünnste mögliche Material mit der höchstmöglichen Oberfläche eines Teilchens, es ist härter und steifer als Stahl, gleichzeitig aber flexibel und es zeigt die schnellste Elektronenleitfähigkeit aller Materialien. Die herausragende Eigenschaftskombination macht Graphen zu einem hochinteressanten, innovativen Werkstoff und Füllstoff für Kunststoff, besonders wenn man an multifunktionale Werkstoffe – mechanisch verstärkt, elektrisch leitfähig und flammgeschützt – für den Leichtbau im Transportwesen, das Bauwesen und die Elektroindustrie denkt.

Allerdings ist die Herstellung perfekter, einzelner Graphenschichten zu zeit- und damit zu kostenintensiv, um Graphen industriell im großen Maßstab zu verwenden. Greift man auf eine Methode zurück, deren Anfänge in den 1850er Jahren liegen, können größere Mengen an immerhin graphennahen Materialien produziert werden. Ausgangspunkt ist Graphit, wie es auch im Bleistift verwendet wird, das mit einem chemischen Verfahren behandelt wird. Einzelne Schichten innerhalb des Graphits werden auseinandergedrückt und abgeblättert. Dabei können Einzelgraphenschichten entstehen. Häufiger sind jedoch Materialien, die aus zwei bis neun Einzelschichten bestehen: Multilagen Graphen (MLG) nennen es die Experten.

Graphen – ein faszinierender Werkstoff, den es besser zu erforschen galt. Daher förderte das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Verbundprojekt FUNgraphen, woran auch eine Forschergruppe der BAM beteiligt war. In diesem Projekt galt es, den Herstellungsprozess von Graphen unter gleichzeitiger Vergrößerung der Ausbeute zu verbessern, Verfahren zu entwickeln, mit denen Graphen in Kunststoffen besser eingearbeitet werden kann und schließlich zu prüfen, ob diese Materialien industriell verwendbar sind. Die Aufgabe der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den BAM-Fachbereichen 6.6 Nano-Tribologie und Nanostrukturierung von Oberflächen und 7.5 Technische Eigenschaften von Polymerwerkstoffen konzentrierte sich auf den Herstellungsprozess von Graphen und dessen Flamm- schutzeigenschaften in Kunststoffen.

„Damit wir das Potential unseres selbst hergestellten MLG beurteilen konnten, haben wir es zunächst mit anderen, im Handel erhältlichen Kohlenstoff- füllstoffen vergleichend untersucht. Die verwendeten Kohlenstofffüllstoffe unterschieden sich hauptsächlich in der Form der Teilchen und in ihrer Oberfläche. Beides spielt aber eine entscheidende Rolle, wie effektiv der Füllstoff als ein Netzwerk den Kunststoff durchzieht und damit dessen Eigen- schaften verändert“, so Dr. Bettina Dittrich.

MLG ist ein Kunststofffüllstoff, der schon bei geringen Konzentrationen ein ausreichendes Netzwerk ausbildet. Der Grund hierfür ist seine dünne Schicht kombiniert mit der höchsten Partikeloberfläche. Und wie ändern sich dadurch die Material- und Werkstoffeigenschaften des Kunststoffs? Elektrische Leitfähigkeit und mechanische Eigenschaften, wie die Steifigkeit und die Elastizitätsgrenze, steigen.

Und das Brandverhalten von MLG? Bei einem Brand bildet MLG eine dichte und geschlossene

Rückstandsschicht an der Oberfläche der bren- nenden Probe. Die Rückstandsschicht wirkt als Hitzeschild und schützt somit das darunterliegende Material vor dem Wärmeeintrag aus der Flamme. So verringert MLG die abgegebene Wärme und kann das Aufheizen der näheren Umgebung und die Ausbreitung des Brandes verzögern.

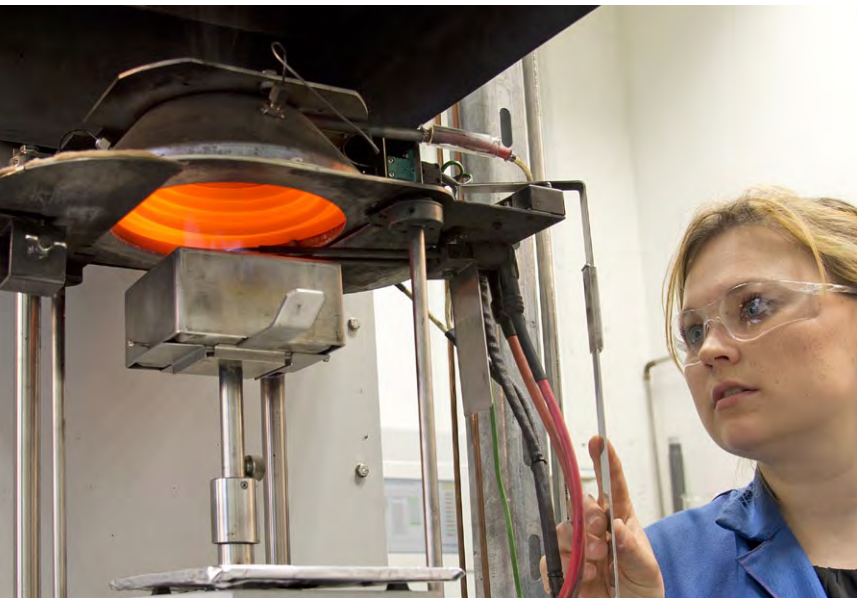
Jeder Anwendungsbereich und Industriezweig legt allerdings verschiedene Kriterien an das Brandver- halten eines Werkstoffs an. Trotz seiner sehr guten Flamm- schutzeigenschaften im Hinblick auf die Wärmeabgabe erfüllt MLG als alleiniges Flamm- schutzmittel die besonders in der Elektroindustrie geforderten Kriterien nicht.

Doch eine weitere Eigenschaft macht MLG sehr wertvoll: MLG ist in der Lage, etablierte, halogen- freie Flamm- schutzmittel zu unterstützen, die alleine ebenfalls diese hohen Kriterien kaum erfüllen. Ein solches Flamm- schutzmittel ist der Mineralfüllstoff Magnesiumhydroxid, der ähnlich wie MLG, auch eine schützende Rückstandsschicht auf dem bren- nenden Material bildet, aber das Material darüber hinaus durch eine endotherme chemische Reaktion, also eine energieverbrauchende Reaktion, kühlt und die Flamme durch freigesetzten Wasserdampf verdünnt. Der große Nachteil von Magnesium- hydroxid ist jedoch, dass viel davon im Kunststoff eingesetzt werden muss, um eine zufriedenstellende Flamm- schutzwirkung zu erreichen. Kombiniert man aber nun beide Füllstoffe, verstärkt und verdichtet MLG die Rückstandsschicht von Magnesium- hydroxid deutlich. Die Flamm- schutzwirkung ver- bessert sich und wichtige, industriell geforderte Kri- terien werden so erreicht. Und noch einen Gewinn bietet die Kombination dieser beiden Stoffe: Die gesamt einzusetzende Menge an Flamm- schutzmittel kann verringert werden, was darüber hinaus auch Vorteile bei der Verarbeitung des Materials bringt.

Das Fazit der Experten: Graphen ist ein zukunfts- fähiger Füllstoff für auf Kunststoff basierende Multifunktionswerkstoffe, der mit den heute schon verarbeiteten Kohlenstoffnanoröhren konkurrieren wird. Die verbesserten Herstellungsverfahren ma- chen es möglich, sind doch damit größere Mengen dieses Stoffes verfügbar.

---

Something small, simple and black should never be missing. This could be what the jury meant when they honoured Andre Geim and Konstantin Novoselov with the Nobel Prize in Physics in 2010 for the isolation of individual graphene layers, only six years after the first successful attempt. In fact, the



*Cone Calorimeter zur Ermittlung von Brandparametern  
Cone calorimeter to determine combustion parameters*



*Brandrückstand einer intumeszenten  
Beschichtung auf Stahl  
Fire residue of an intumescent coating on steel*

two researchers achieved something that was regarded as impossible until then. Composition, structure and properties of the carbon material graphene had been long described in theory, but it was assumed that a single, free-standing graphene layer, as a two-dimensional crystal, was thermodynamically unstable and could not exist.

Graphene is characterised by a combination of outstanding and unique properties. It is the thinnest possible material with the highest possible surface of a particle, it is harder and stiffer than steel while still being flexible and features the fastest electron conductivity of any material. The outstanding mix of properties makes graphene a highly interesting and innovative material as well as filler for plastics, especially with regard to multifunctional materials – mechanically reinforced, electrically conductive and flame retarded – used in lightweight construction, transportation, architecture and the electrical industry.

However, the production of perfect, individual graphene layers is time-consuming and too costly to use graphene in industry on a large scale. Should one resort to a method that

originates in the 1850s, large amounts of materials resembling graphene can be produced. The starting point is graphite, the condition in which it is also found in a pencil, that is treated with a chemical procedure. Individual layers within the graphite are forced apart and exfoliated. This process can lead to the formation of single graphene layers. However, materials which consist of two to nine individual layers are more likely to occur. Experts call them multilayer graphene (MLG).

Graphene is a fascinating material that required further examination. Therefore, the Federal Ministry of Education and Research (BMBWF) funded the joint project „FUNgraphen“ which also involved researchers from BAM. The aim of this project was to improve the manufacturing process of graphene whilst at the same time increasing the yield, to develop methods by which graphene can be better incorporated into plastics, and finally, whether these materials are industrially useful. The task of the scientists from the BAM Divisions 6.6 Nanotribology and Nanostructuring of Surfaces and 7.5 Technical Properties of Polymeric Materials focused on the manufacturing process of gra-

phene and its flame retardant characteristics in plastics.

“In order for us to assess the potential of our self-manufactured MLG, we first investigated it by comparing it with other, commercially available carbon fillers. The available carbon fillers differed mainly in the form of the particles and in their surface. However, both play a crucial role in how effectively the filler is distributed through the plastic in the form of a network and thus changes its properties“, says Dr. Bettina Dittrich.

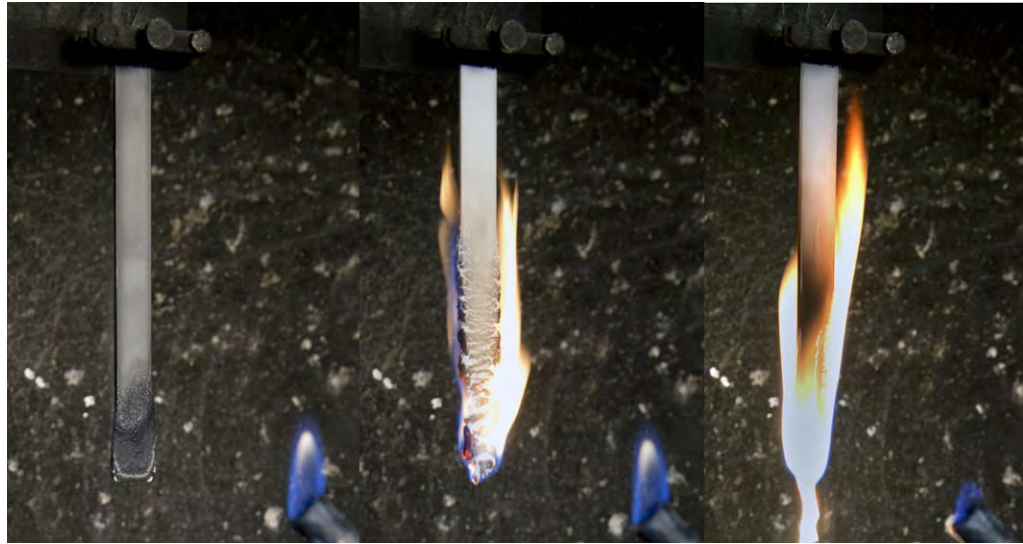
MLG is a plastic filler which forms a satisfactory network already in low concentrations. The reason for this is its thin layer combined with the highest particle surface. And how do the material and functioning properties of the plastic change? Electrical conductivity and mechanical properties, such as rigidity and elastic limit, rise.

What about the fire behaviour of MLG? In case of fire, MLG forms a dense and closed residue layer on the surface of the burning sample. The residue layer acts as a heat shield, which protects the underlying material against the heat input from the flame. In this way MLG reduces the

heat release and is able to delay the heating of the surrounding area as well as the spread of fire.

However, each area of application and industry branch applies various criteria regarding the behaviour of a material in a fire situation. Despite its excellent flame retardant properties in terms of heat dissipation, MLG, as the sole flame retardant, does not comply with the criteria required, particularly in the electrical industry.

Nevertheless, another feature makes MLG very valuable: MLG is able to support established, halogen-free flame retardants, which also barely fulfil these high criteria alone. The mineral filler magnesium hydroxide is such a flame retardant which, similar to MLG, forms a protective residue layer on the burning material, but also cools the material through an endothermic, energy-consuming chemical reaction, and dilutes the flame through released water vapour. The major disadvantage of magnesium hydroxide is, however, that large quantities of it must be used in the plastic in order to achieve a satisfactory flame retardant effect. But if both fillers are combined, MLG significantly reinforces and solidifies the residue layer of magnesium hydroxide. The flame retardancy property improves



*Nur die Flammschutzmittelkombination Graphen/Magnesiumhydroxid (links) erreicht im Entflammbarkeitstest UL 94 die industriell notwendige V-0-Klassifizierung; mitte: mit Magnesiumhydroxid alleine geschütztes Polymer; rechts: ungeschütztes Polymer  
Only the combination of flame retardants graphene/magnesium hydroxide (left) extinguishes the polymer fast enough to reach the industrially relevant V-0 classification in the reaction to small flame test UL 94; centre: magnesium hydroxide alone as flame retardant; right: unprotected polymer*

and most importantly, industrially required criteria are achieved. The combination of these two substances offers a further advantage: the total amount of applied flame retardant can be reduced, which additionally benefits the processing of the material. Experts concluded that graphene is a

sustainable filler for plastic-based multifunctional materials, which will compete with the currently processed carbon nanotubes. The improved manufacturing processes facilitate the availability of larger amounts of this substance.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Bettina Dittrich  
✉ Bettina.Dittrich@bam.de

7.5 Technische Eigenschaften  
von Polymerwerkstoffen

7.5 Technical Properties of  
Polymeric Materials









**UMWELT**

—  
**ENVIRONMENT**

# THEMENFELD UMWELT

---

## FOCUS AREA ENVIRONMENT



*Die Umwelt kann sicherheitsrelevante Bauteile zerstören – ein von Hausbocklarven zerfressener Dachbalken.*

*The environment can destroy components that are important for safety: a rafter corroded by longhorn beetles.*

Das Thema „Umwelt“ ist für Forscherinnen und Forscher ein besonders weites Feld. Es beginnt dort, wo einzelne Stoffe zu Materialien verbunden werden: Was geschieht in den technischen Systemen, in denen die Produkte hergestellt oder später genutzt werden? Was passiert, wenn sie altern oder gar geschädigt werden? Welche Wechselwirkungen entstehen, wenn Substanzen aus ihrer Bindung im Material gelangen, wie verhalten sie sich in Wasser, im Boden und in der Luft? Welche Einflüsse üben sie auf Organismen aus, wie werden sie vom Stoffwechsel verändert? Und, global betrachtet: Wie sind die Folgen zu bewerten, wenn eine als Schadstoff bekannte Substanz in die Umwelt gelangt, wie sind die Vorgänge einzuordnen im Spannungsfeld zwischen wirtschaftlichem Wachstum und den Geboten des ökologischen und des Ressourcenschutzes?

#### **SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG**

Um diese Fragen zu klären, befassen sich die Forscherinnen und Forscher der BAM intensiv mit Untersuchungen langfristiger Wechselwirkungen zwischen Materialien und Umwelt. Denn dabei können ja dynamische Vorgänge zu einer Veränderung beider Systeme führen, also in beiden Richtungen. Fragen nach Umweltverträglichkeit und sicherer Verwendung, die angesichts der rasanten Entwicklung neuer Materialien (Beispiel: Nanopartikel) immer wichtiger werden. So beeinflussen neue Prozesse selbst bei Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln die Wanderung und Anreicherung natürlicher Toxine – also in Produkte, die für den Menschen höchst bedeutsam sind. Insgesamt reicht die Spanne der betrachteten Materialien von Bauprodukten bis hin zu Alltagsgegenständen, denen Substanzen beigefügt werden, um ihnen bestimmte Eigenschaften zu verleihen (Biozide, Flammschutzmittel, Weichmacher, Farbstoffe). Auch das Ende, nach der Nutzung, wird untersucht, wenn Materialien weitgehend zerfallen sind und in der Umwelt verbleiben, etwa als Mikroplastik aus Kunststoffen. Weitere Forschungsschwerpunkte betreffen den Ressourcenschutz, das Recycling und die Sekundärrohstoffe, die in immensen Mengen umgesetzt werden.

The topic “environment” is a very wide field for the researchers. It begins where individual substances are combined with materials: what happens in the systems where the products are produced or used later? What happens when they age or get damaged? What interactions occur when substances are released from their bond with the material, how do they behave in water, soil and air? What influences do they exert on organisms and how are they changed by metabolism? And, from a global perspective: how should the consequences be evaluated if a substance known as a pollutant gets into the environment, how are the processes to be classified between economic growth and the requirements of environmental and resource protection?

#### **MAIN FOCUS OF CURRENT RESEARCH AND DEVELOPMENT**

To clarify these issues, BAM researchers deal intensively with studies on long-term interactions between materials and the environment. The reason is that dynamic processes can lead to a change in both systems, i.e. in both directions. The questions about environmental compatibility and safe use are becoming increasingly important in view of the rapid development of new materials (e.g. nanoparticles). New processes may influence the migration and accumulation of natural toxins even in the production and processing of food – i.e. in products that are essential for humans. Overall, the materials considered range from building materials to everyday objects, to which substances are added to provide special properties (biocides, flame retardants, plasticisers, dyes). The end, after use, is also investigated where materials largely disintegrate and remain in the environment such as microplastics. Other research priorities include resource protection, recycling and secondary raw materials, which are used in immense quantities.



## ÖKODESIGN – WIE ES ENERGIEFRESSERN IN DER EU AN DEN KRAGEN GEHT

### ECODESIGN – THE EU IS AFTER ENERGY GUZZLERS

Die umweltfreundlichste und günstigste Kilowattstunde ist die, die wir gar nicht erst verbrauchen. Deshalb bildet die Steigerung der Energieeffizienz neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien die zweite Säule der Energiewende. Für die BAM geht es dabei um Ökodesign und Energieverbrauchskennzeichnung. Während man letzteres in Form von Etiketten mit der bunten Skala an

Kühlschränken, Waschmaschinen oder Fernsehgeräten seit über 20 Jahren kennt, sind die Mindestanforderungen für die „umweltgerechte Gestaltung von energieverbrauchsrelevanten Produkten“ – kurz Ökodesign – weniger sichtbar, jedoch ebenfalls wirksam. Beide Instrumente basieren auf EU-Richtlinien und wirken eng zusammen. Die BAM arbeitet hier auf drei Ebenen: Sie informiert die Öffentlich-

keit, speziell die betroffenen Unternehmen, über die von der EU-Kommission (geplanten) Maßnahmen. Die Unternehmen bekommen dann die Möglichkeit, sich bei der BAM darüber zu äußern. Nach dieser Anhörung erarbeiten Vertreter von BAM und Bundesumweltamt die Position Deutschlands in Form einer Stellungnahme, die sie gegenüber der EU in den zuständigen Gremien vertreten. Und schließlich unterstützt die BAM die Umsetzung in Kraft getretener EU-Verordnungen, indem sie Hersteller, Händler und all derjenigen berät, die die neuen Regeln einhalten oder anwenden müssen, also die Wirtschaft und die Marktüberwachungsbehörden.

Im Herbst 2014 standen Staubsauger im Brüsseler Fokus. Als Folge der erlassenen Mindestanforderungen wurde ein weit verbreiteter Irrtum korrigiert: Nämlich, dass nur Staubsauger mit sehr hoher Motorleistung sehr gute Ergebnisse erzielen. Heute wissen wir, dass die Qualität der Reinigung nicht automatisch mit der Motorleistung steigt. Mit der neuen Verordnung dürfen Staubsauger nicht mehr so viel Energie verbrauchen – bei oft verbesserter Saugleistung – ein Gewinn für den Verbraucher und die Industrie. Den sparsamen Staubsauger erkennt man an der Energieverbrauchskennzeichnung, auch die Saugwirkung ist dort in Klassen eingeteilt.

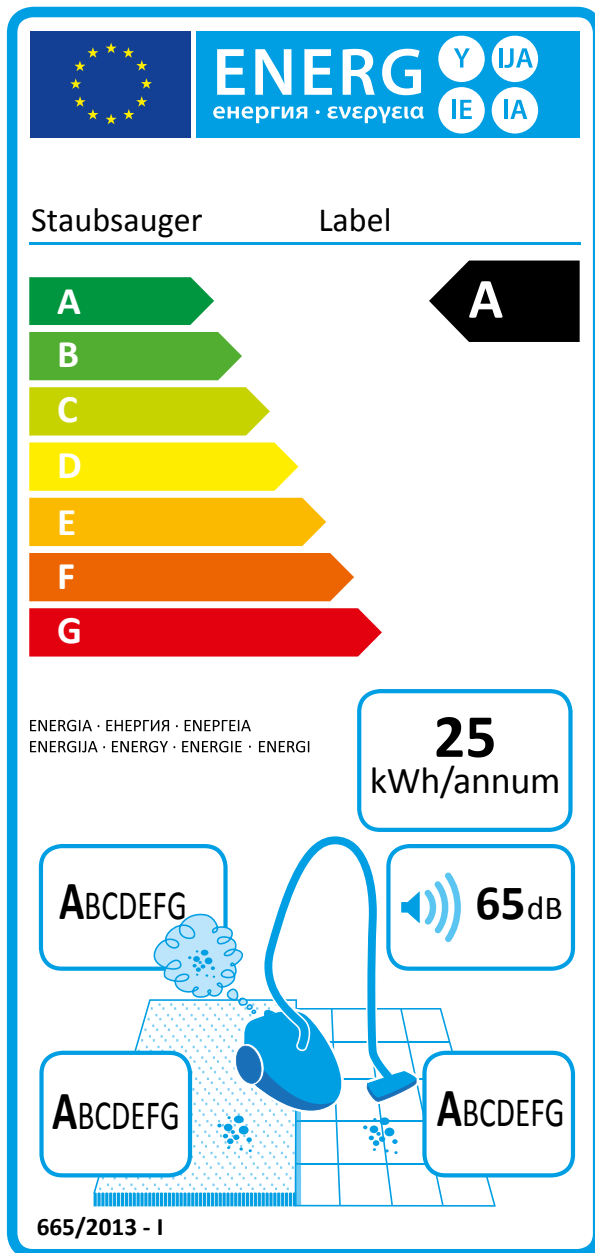
Wenn staatliche Anforderungen an Produkte definiert werden sollen, stellt sich immer die Frage: Was ist das politische Ziel und welche Anforderungen sind wirksam und effizient? Natürlich gibt es immer auch Produkte, deren Regulierung entweder technisch komplex oder politisch umstritten ist. So brauchte die Verordnungen für Heizkessel bis zu ihrer Veröffentlichung sieben Jahre Zeit. Und die Mindesteffizienz für Lampen, die als „Glühlampenverbot“ durch die Presse ging, schlägt immer noch hohe Wellen. Oder auch die Überlegungen der EU-Kommission, Wärmedämmstoffe in die Ökodesignregelungen einzubeziehen: Man erwartete Energieersparnisse durch eine verbesserte Gebäudedämmung. Schnell überzeugten die beteiligten Experten, also auch die der BAM, die EU-Kommission davon, dass ein Definieren von Auflagen für Wärmedämmstoffe kein geeignetes Werkzeug darstellt, die Energieeffizienz bei Gebäuden bedeutend zu verbessern. Wärmedämmstoffe sind Teil der gesamten Energieeffizienzbetrachtung eines Gebäudes. Sie müssen daher im Zusammenhang aller getroffenen Maßnahmen betrachtet werden. Und dazu gehört die regionale Klimasituation wie auch die Versorgung mit Baustoffen – zu komplex für eine einfache Verordnung.

Nach welchen Kriterien wählt die EU-Kommission die Produktgruppen oder Kategorien eigentlich aus? Ganz einfach, ganz pragmatisch: Die, bei denen viel zu holen ist, sprich, bei denen viel Energie gespart werden kann. „Ein klares Ziel sowie wirksame und messbare Anforderungen. Diese Aspekte müssen vor dem Erlass einer jeden Verordnung gewissenhaft durchdacht werden“, erklärt Dr. Floris Akkerman. „In unserer im Sommer 2014 erstellten Studie haben wir den Prozess der Vorbereitung von Verordnungen kritisch beleuchtet. Besonders interessierte uns dabei, wie die zugrundeliegenden Daten ermittelt werden. Um das herauszufinden, stellten wir uns die Frage, ob die vorbereitenden Studien flexibel genug sind, um mit der Ökodesign Richtlinie ganz verschiedenen Produkten gerecht zu werden?“, so Akkerman weiter. Und das Ergebnis? Die Methode dieser Studien hat sich positiv entwickelt, besonders durch ihre hohe Transparenz, jedoch ist immer noch Raum für Verbesserungen.

„Nach sieben Jahren Ökodesign in der BAM fragen wir uns, wie es weiter geht. Immer mehr Produkte regeln oder andere Kriterien und neue Ansätze wie Materialeffizienz und Wiederverwertbarkeit nutzen?“, resümiert Akkerman. Um das zu erörtern, lud die BAM im Dezember 2014 Expertinnen und Experten aus Industrie, Behörden, Universitäten, Forschungseinrichtungen, Umwelt- und Verbraucherverbänden und der EU-Kommission zu einem Workshop ein. Ihr Fazit: Die Synergien von Ökodesign und anderen Marktinstrumenten müssen verbessert werden. Ein möglicher erster Schritt könnte eine Energieeffizienz-Task-Force sein, die der Kommission organisatorisch zugehörig sein könnte. Die Expertinnen und Experten dieser Task-Force hätten dann die Aufgabe, den Informationsaustausch über inhaltlich überlappende Richtlinien zu fördern und so Schwachstellen aufzudecken und entgegenzuwirken. In den vorbereitenden Studien sollten schon früh erste Ideen für mögliche Maßnahmen entwickelt und diese mit den Betroffenen diskutiert werden.

---

The cheapest and most environmentally friendly kilowatt-hour is the one that we do not consume to begin with! Therefore, the increase in energy efficiency and the expansion of renewable energies form the second pillar of the energy transition. In this respect, BAM is concerned with Ecodesign and energy labelling. The latter has been recognised for over 20 years as labels with colourful scales on refrigerators, washing machines and televisions, but the minimum requirements of the “Environmentally friendly design of energy-related products” – in



*Energie-Label für Staubsauger*  
Energy labeling for vacuum cleaners

short, Ecodesign – are less visible but just as effective. Both instruments are based on EU directives and function closely together. Here, BAM operates on three levels: Firstly, informing the public and the affected companies about the EU Commission’s (planned) measures. The companies then have the opportunity to address BAM on the matter. Following this consultation, representatives of BAM and the Federal Environment Agency establish Germany’s position in the form of a statement which they present to the relevant committees vis à vis the EU. Finally, BAM supports the implementation of EU regulations effected, by advising manufactur-

ers, distributors and all those who have to apply or comply with the new rules such as the economy and the market surveillance authorities.

In the autumn of 2014, Brussels focused on vacuum cleaners. A common misapprehension was corrected as a result of the adopted minimum requirements: namely, that only vacuum cleaners with a high-powered motor achieved very good results. Today we know that the quality of cleaning is not automatically increased by the motor’s power. The new regulation prohibits vacuum cleaners from consuming as much energy – often with improved suction performance – a win for the consumer and the industry. The economical vacuum cleaner can be recognised by the energy consumption labelling, where cleaning performance is also divided into different classes.

When state requirements must be defined in terms of products, there is always the question: what is the policy objective and what requirements are effective and efficient? Of course there are also products whose regulation is either technically complex or politically controversial. This is why the regulation for boilers took seven years to be released. And the minimum efficiency for lamps, that was reported in the press as “Incandescent Light Bulb Ban” still creates a stir. Or the consideration of the European Commission to include heat insulation in the Ecodesign regulations: energy savings were expected through improved building insulation. The experts involved, including BAM employees, quickly convinced the EU Commission that specifying standards for thermal insulation products is not an appropriate tool to substantially improve the energy efficiency of buildings. Thermal insulators are part of the overall energy efficiency consideration of a building. They must therefore be considered in the context of all measures taken. This includes the regional climate situation as well as the supply of building materials - too complex for a simple regulation.

According to which criteria does the European Commission select the product groups or categories? Quite simply, pragmatically: those that save a lot of energy. “This is a clear objective and represents effective and measurable requirements. These issues need to be thought through carefully before the adoption of any regulation”, explains Dr. Floris Akkerman. “We have critically examined the preparation process of regulations in our study issued in the summer of 2014. We are particularly interested in how the underlying data are determined. To find out, we asked ourselves whether the preparatory

studies are flexible enough to offset requirements for completely different products?” says Akkerman. The conclusion of these studies is that the method showed a positive development, particularly through their high level of transparency. Nevertheless, there is still room for improvement.

“After seven years of Ecodesign, BAM is wondering what will happen next. Should more and more products be regulated or should other criteria and new approaches be applied such as material efficiency and recycling?”, concludes Akkerman. In December 2014 BAM invited experts from industry, government agencies, universities, research institutions, environmental and consumer organisations and the European Commission to a workshop to discuss these issues. Their conclusion was that the synergies of Ecodesign and other market instruments must be improved. A possible first step could be an Energy Efficiency Task Force that could be organised within the Commission. The experts of this task force would promote the exchange of information about overlapping policies and detect and counteract weaknesses. The preparatory studies should develop ideas for possible measures early on and discuss these with all parties concerned.



*Brennwertkessel nach Ökodesign-Richtlinie  
Condensing boiler according to Ecodesign regulations*

#### **KONTAKT/CONTACT**

Dr. Floris Akkerman

✉ [Floris.Akkerman@bam.de](mailto:Floris.Akkerman@bam.de)

Referat S.4

Ökodesign und

Energieverbrauchskennzeichnung

Section S.4

Ecodesign and Energy Labeling





# MIT BIOCHIPS DIE ABWASSER- REINIGUNG ÜBERWACHEN

---

## BIOCHIPS MONITORING WASTEWATER TREATMENT

Wasser – Qualitativ hochwertiges Trinkwasser in ausreichender Menge ist für den Menschen essentiell. Doch immer mehr Schadstoffe belasten den Wasserkreislauf. Experten warnen, denn nicht nur im Abwasser aller deutschen Kläranlagen, auch im Trinkwasser zahlreicher Wasserwerke werden diese

als „Emerging Pollutants“ bezeichneten synthetischen Substanzen zunehmend nachgewiesen. Ihre Zahl geht mittlerweile in die Hunderte.

Synthetisch? Es sind eigentlich zunächst Wirkstoffe, die beispielsweise als Arzneimittel eingenom-



men erst mit ihrem Eintritt in die Umwelt zum „Rückstand“, zur Kontamination werden. Oder Umwandlungsprodukte, die in der Umwelt oder in technischen Systemen – wie beispielsweise in Kläranlagen – durch unvollständigen Abbau gebildet werden.

Klar ist, dass diese Stoffe im Wasser unerwünscht sind. Und klar ist auch, dass eine vollständige Entfernung der Schadstoffe durch einzelne technische Maßnahmen nicht gelingen wird. Individuelle, angepasste Lösungen sind hier gefordert und darüber hinaus auch ein Risikomanagement. Damit wird eine Analytik erforderlich, mit der die wechselnden Konzentrationen im Zu- und Ablauf zusätzlicher Reinigungsstufen verfolgt werden kann.

„Aufgrund der großen Anzahl können wir diese Stoffe nicht alle einzeln erfassen. Wir arbeiten daher mit Indikatorverbindungen, die stellvertretend für eine Schadstoffgruppe stehen. Die richtige Auswahl dieser Indikatorverbindungen ist sehr wichtig, um die Eintrags- und Eliminierungsprozesse richtig abschätzen zu können“, erklärt Dr. Rudolf Schneider. Er leitet den Fachbereich 1.8 Umweltanalytik. „Auch müssen wir die Indikatorverbindungen schnell, kostengünstig und möglichst vor Ort in den Kläranlagen und Wasserbetrieben messen können. Hierfür setzen wir Immunoassays ein. Das sind antikörperbasierte Verfahren, mit denen wir in unserer Gruppe viel Erfahrung haben“, so der Chemiker weiter.

Das Thema für Peter Carl. Der Master der Chemie hat sich für seine Promotion das Ziel gesetzt, einen Biochip zu entwickeln, mit dem er vier Indikatorsubstanzen, die in jedem Abwasser vorkommen, in parallelen Assays analysieren kann. Sein Ausgangssystem ist ELISA (von Enzyme-Linked Immunosorbent Assay). ELISA ist der klinischen Diagnostik entlehnt und arbeitet mit Antikörpern, deren selektive Bindungseigenschaften für einen spezifischen Nachweis herangezogen werden. ELISA-Tests werden allerdings nur für die Einzelstoffanalytik und vor allem als Hochdurchsatzverfahren angewandt. So gilt es nun ELISA auf das Biochip-Verfahren zu übertragen.

Bei den Indikatorsubstanzen fiel die Wahl auf das Schmerzmittel Diclofenac, das Antiepileptikum Carbamazepin, Koffein und eine Gallensäure. Und der Chip? Im einfachsten Fall ist er ein Glas-Objektträger, wie man ihn aus der Mikroskopie kennt. Aber auch zahlreiche Varianten gibt es davon: Von Spezialgläsern mit modifizierten Oberflächen bis hin zu Polymerchips ist alles zu bekommen.

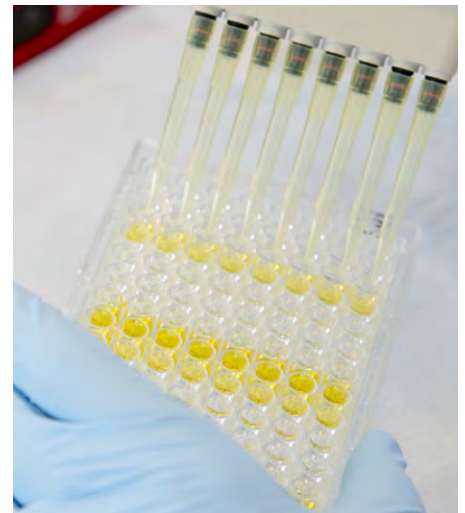
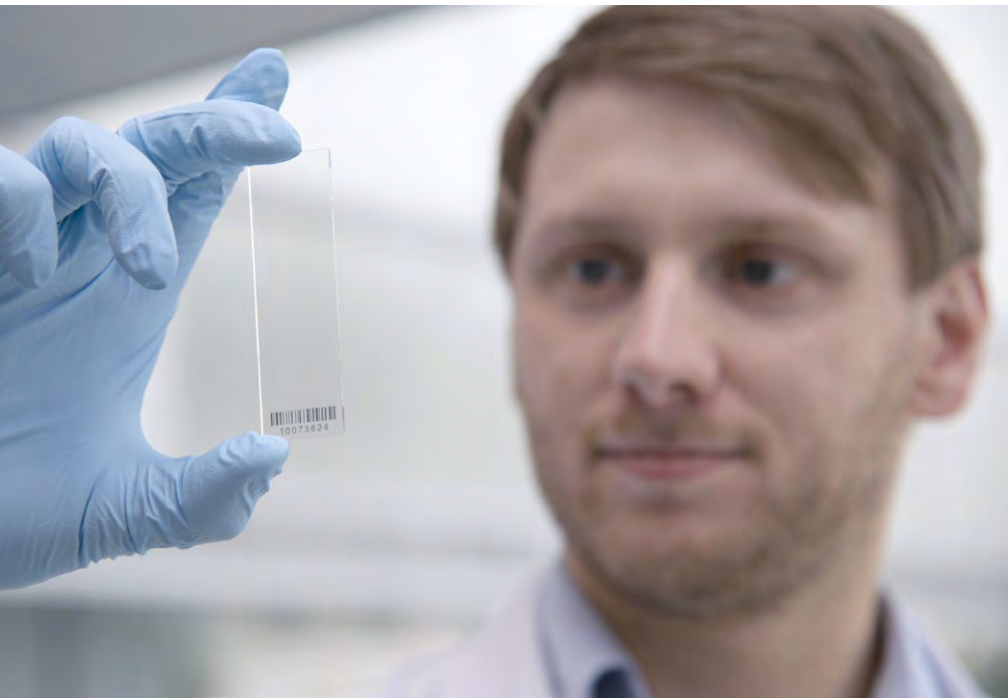
Spotting nennen die Expertinnen und Experten das Verfahren, mit dem sie die Biochips herstellen und das so ähnlich funktioniert wie ein Füllfederhalter. Spitze Keramikstifte legen Nanolitermengen der Indikatorsubstanzen auf der Oberfläche des Chips ab. Diese Spots bilden die Basis des Bestimmungsverfahrens. Daher gilt es, die Spotgröße und deren Einheitlichkeit aber auch die Lagerfähigkeit des Chips zu optimieren.

Im nächsten Schritt werden die Chips mit verschiedenen Lösungen behandelt, von denen eine die



*Die BAM verfügt über eigene Immunreagenzien für die Umweltanalytik  
BAM has its own immunochemical reagents for environmental  
analysis*

Mischung der selektiven Antikörper enthält. Binden diese – nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip – an die Antikörper, ist der Nachweis für die Schadstoffe möglich.



*Bisher werden ELISA-Tests hauptsächlich auf Mikrotiterplatten durchgeführt  
To date ELISA is routinely performed on microplates*

*Die Qualität der Spots ist bei den Biochips von größter Bedeutung  
The quality of the spots is a major issue with biochips*

Am Ende muss der Chip „nur noch ausgelesen“ werden, an einem Lesegerät, das die winzigen leuchtenden Punkte des Chips erkennt und in ihrer Intensität vermessen kann. Auch hier sieht Carl Entwicklungspotential: Die Nutzung eines konventionellen Büros scanners. Denn ein einfaches und kostengünstiges Lesegerät könnte die Verbreitung dieses Verfahrens immens fördern.

Ein wesentlicher Bestandteil seiner Doktorarbeit werden auch chemometrische Verfahren sein, das ist die Kombination von Versuchsplanung und statistischen Methoden. Die Datenflut bei Microarrays ist nämlich ohne intelligente Datenbehandlung nicht zu bewältigen. Außerdem ist eine multivariate Datenanalyse erforderlich, um eine ausreichende Präzision der Messergebnisse zu erreichen. Und noch etwas: Die vielen Einflussparameter des Verfahrens lassen sich nur optimieren, wenn man eine gute Versuchsplanung betreiben kann, das nennt man in der Fachsprache „Design of Experiment“. Es war also sicher richtig, sich für diese Aufgaben zwar einen Chemiker, aber einen mit einem Faible für Mathematik, auszuwählen.

Water – high quality drinking water in sufficient amounts is essential for humans, however, more and more pollutants contaminate our water. Experts warn that synthetic substances, called “emerging pollutants”, have been increasingly detected not

only in all German wastewater treatment plants, but also in the drinking water of waterworks. Their number is now in the hundreds.

Pollutants? They are actually beneficial agents that are taken for example as medicines and only become residues or contaminants on entering the environment, sometimes modified to transformation products in technical systems e.g. sewage treatment plants, due to incomplete degradation.

Obviously, these substances are undesirable in the water. A complete removal of all contaminants will not be possible via individual measures. Case-specific, customised solutions are needed here and, in addition, risk management, which, in turn, requires chemical analysis to monitor the varying concentrations at the inlet and outlet of additional purification steps.

“Due to their large number we cannot individually detect all these substances. Therefore, we use indicator compounds that are representative of a group of pollutants. Proper selection of these indicator compounds is very important for monitoring the elimination process”, explains Dr. Rudolf Schneider. He leads the Division 1.8 Environmental Analysis. “We must be able to measure the indicator compounds quickly, cost-effectively and possibly on-site in sewage treatment plants and waterworks for which purpose we use immunoassays. These are

antibody-based methods with which our group has a lot of experience”, says Schneider.

This is Peter Carl’s research topic. He has a master degree in chemistry and is working on developing a biochip in his Ph.D. work which will enable him to simultaneously analyse, in parallel assays, four indicator substances which occur in any wastewater. His starting system is the Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA), which has been borrowed from clinical diagnostics. This method is based on antibodies whose selective binding properties enable specific detection. ELISA tests are, however, only applied to single-substance analyses, chiefly as high-throughput methods, and must now be converted to the biochip method.

In choosing a set of indicators the following substances were selected: the painkiller diclofenac, the antiepileptic drug carbamazepine, caffeine and a bile acid. And the chip? In the simplest case it is a glass slide as we know it from microscopy. But a number of variations are available from special glasses with modified surfaces to polymer chips.

Experts call the process spotting which they use to manufacture the biochips and which works much like a quill. Pointed ceramic pins deposit nanolitre quantities of suitably modified indicator substances, later serving as anchors, on the surface of the chip. These spots form the basis of the determination method. It is therefore important to optimise the

spot size and uniformity as well as the shelf life of the spotted chip.

In the next step, the chips are treated with various solutions, one of which contains the mixture of the selective antibodies. They bind to the anchor molecules according to the key-lock principle and to an extent that is related to the presence of the indicator.

At the end the chip needs “only to be read” by a reading device that detects the brightness of the tiny dots on the chip. Carl sees development potential here, too, using a conventional office scanner. After all, a simple and inexpensive reader could promote the spreading of this technology immensely.

Chemometric methods will also be an essential part of his Ph.D. thesis: these are the combination of “experimental design” (as it is called in scientific jargon) and statistical methods. The flood of data on microarrays cannot be mastered without intelligent data handling. In addition, multivariate data analysis is required in order to achieve sufficient precision of measurement results. And another thing: the large number of influencing parameters of the process can only be optimised if a good experimental design is applied. It was certainly wise to choose a chemist with an affinity for mathematics for these tasks.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Rudolf Schneider

✉ [Rudolf.Schneider@bam.de](mailto:Rudolf.Schneider@bam.de)

1.8 Umweltanalytik

1.8 Environmental Analysis



# VORBEI SIND DIE ZEITEN VON QUACKSALBERN UND MITTELALTERLICHEN VORKOSTERN

## GONE ARE THE DAYS OF QUACKS AND MEDIEVAL FOOD TASTERS

Unsere Gesundheit braucht sichere Diagnosen. Der ärztliche Augenschein, die Kurpfuscherei von Scharlatanen oder das Vorkosten von Speisen und Getränken – das war gestern. Heute müssen Krankheiten oder Schadstoffe schnell und zuverlässig erkannt werden. Manch Lösung aktueller Probleme gleicht dabei der schon sprichwörtlichen Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Mit naturwissenschaftlichen Methoden, modernsten Schlüsseltechnologien und validierten Referenzmaterialien beteiligen sich auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM an dieser Suche. So auch Dr. Ute Resch-Genger und Dr. Katrin Hoffmann, die daran forschen, die Zuverlässigkeit von Leuchtverfahren – oder wissenschaftlich ausgedrückt: Fluoreszenzmethoden – zu verbessern.

„Wir entwickeln ein Kalibrierwerkzeug, um damit die Funktion von Auslesegeräten für Fluoreszenzassays zu kontrollieren. Da solche Assays auch für den schnellen Nachweis von krebserregenden humanen Papilloma-Viren (HPV) des Gebärmutterhalses eingesetzt werden, dürfen die Ergebnisse auf gar keinen Fall mit unzulässig großen Fehlern behaftet sein“, erklärt Hoffmann.

Fluoreszenzassays sind weit verbreitet im medizinisch-diagnostischen Be-

reich. Nur geringe Probenmengen sind hier oft üblich. Ein kleiner Tropfen Blut, das muss reichen. In herkömmlichen Reaktionsgefäßen lassen sich diese Proben dann allerdings nicht mehr untersuchen. Microarray-Biochips kommen hier zum Einsatz. Auf einem Chip, der an einen Mikroskop-Objektträger erinnert, ersetzen winzige Punkte mit Durchmessern von weniger als einem halben Millimeter das Reaktionsgefäß. Tausende biologische Sondenmoleküle wie beispielsweise DNA-Fragmente sind hier definiert angeheftet. Jede Position auf dem Biochip kann einer bestimmten Krankheit zugeordnet werden. Wird auf die so vorbereitete Oberfläche dann eine Patienten-Probe aufgegeben, laufen charakteristische molekularbiologische Reaktionen ab. Die dabei entstandenen Produkte werden über Fluoreszenzsignale ausgelesen und per Computer ausgewertet. So wird die gleichzeitige Analyse von vielen klitzekleinen Testfeldern möglich, die jeweils diagnosespezifische Ergebnisse anzeigen. Das Fluoreszenzlicht wird mit optischen Lesegeräten, auch als Scanner bezeichnet, erfasst. Dies ist zwar ohne größeren technischen Aufwand möglich, durch Geräteeffekte und die sehr geringe Probenmenge kann es aber zu einer fehlerhaften Beurteilung der Fluoreszenzintensitäten

kommen. Fehlerquellen, die eigentlich nicht sein dürfen.

So entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM zusammen mit den Kolleginnen und Kollegen von der Greiner Bio-One Diagnostik GmbH, die sich auf sogenannte DNA-Arrays spezialisiert hat und der PolyAn GmbH als Hersteller von besonderen Biochip-Oberflächen, ein spezielles Kalibrierobjektträger. Denn eine verlässliche Geräte-Kalibrierung ist Grundvoraussetzung für eine mögliche internationale Zulassung einer kompletten Assay-Plattform, einer Kombination aus speziellem Microarray-Biochip und Auslesegerät.

Die Experten im Labor können damit in der in-vitro-Diagnostik beispielsweise virale Erreger von gefährlichen HPV-Infektionen (zum Beispiel PapilloCheck®) über deren spezifischen genetischen Fingerabdruck eindeutig identifizieren. Dadurch kann der Arzt schließlich eine sichere medizinische Diagnose stellen.

In der Lebensmittelanalytik erlauben solche DNA-Tests auch die schnelle Prüfung von Nahrungsmitteln auf bakterielle Keime oder Fremd-DNA (zum Beispiel CarnoCheck®), die nicht



erst in Zeiten von Fleischskandalen vehement gefordert werden. Und auch die giftigen Stoffwechselprodukte mancher Schimmelpilze, Mykotoxine genannt, können mit Microarray-Biochips erfolgreich nachgewiesen werden. Aber das ist eine andere Geschichte. Für diese Untersuchungen gibt es in der Lebensmittelanalytik auch noch andere Möglichkeiten und zwar solche, die Hochleistungsflüssigchromatographie, kurz HPLC, verwenden. Mit modernen HPLC-Systemen lassen sich innerhalb kurzer Zeit komplexe Substanzgemische in ihre Inhaltsstoffe auftrennen und selbst kleinste Mengen feststellen. Das ist wichtig, weil Mykotoxine – wie der Name schon sagt – zum Teil sehr giftige (toxische) Wirkungen auf Menschen haben können. Lebensmittel unterliegen daher einer ständigen Kontrolle auf verschiedene Mykotoxine. Zearalenon (ZEN) ist ein solches Mykotoxin. ZEN wird von Fusarium-Schimmelpilzen insbesondere auf befallenen Mais gebildet und gelangt so in Speiseöle.

Da ZEN häufig in pflanzlichen Speiseölen nachgewiesen wird und es zudem stark hormonell wirkt, die Leber, Blut, Immunsystem, Erbsubstanz sowie die Entwicklung von Föten schädigt und Krebs auslösen kann, ist dieses Mykotoxin ein aktueller Schwerpunkt der Europäischen Lebensmittelsicherheit. Das Dilemma: Es gibt kein zuverlässiges, preiswertes und gleichzeitig einfaches Analyseverfahren zur Kontrolle des geltenden EU-Grenzwertes (0,4 mg ZEN pro Kilogramm Öl).

Bereits 2010 hat die BAM ein Verfahren zur Bestimmung von ZEN in Pflanzenölen der Fachwelt vorgestellt. War das Handling dieses auf Hydrazin-funktionalisierten Partikeln basierenden Verfahrens noch etwas unpraktisch, so deutete sich damals schon das hohe Potential dieser neuen Technik an. Die entscheidenden Merkmale sind hohe ZEN-Selektivität verbunden mit zuverlässiger Anwendbarkeit auf sämtliche Pflanzenöle und Wiederverwendung der Hydrazin-funktionalisierten Partikel. Letzte-

res spart Geld, Zeit und gestattet eine Automatisierung.

Dies überzeugte auch die Firma Knauer Wissenschaftliche Geräte GmbH in Berlin. Mit dem Ziel, das Verfahren zu automatisieren und in gängige Analysenpraxis zu überführen, wurde ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie finanziertes ZIM-Kooperationsprojekt (ZIM: Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) initiiert. Während sich Sarah Drzymala und Dr. Matthias Koch von der BAM um die Optimierung der „Chemie“ der einzelnen Verfahrensschritte kümmerten, entwickelten Dr. Stefan Weiz und Dr. Silvia Marten bei Knauer die apparative Verfahrensseite, bestehend aus automatischer Probenaufbereitung und online-HPLC-Kopplung.

Die anspruchsvolle Aufgabe verlangte den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der beiden Projektpartner alles ab. Am Ende aber hatten sich die Mühen des zweijährigen Projektes ge-

lohnt: Erstmals konnte ein Verfahren zur automatischen ZEN-Bestimmung in pflanzlichen Speiseölen, bestehend aus einer online-Kopplung von Festphasenextraktion und HPLC-Fluoreszenzmessung, vorgestellt werden. Dieses neue Verfahren ermöglicht es Prüflaboratorien oder Ölherstellern zukünftig, pflanzliche Speiseöle schnell, nachweisempfindlich und zuverlässig auf ZEN zu prüfen.

Our health needs safe diagnoses. The doctor's visual inspection, the quackery of charlatans or the pre-tasting of food and drink – that was yesterday. Today diseases or harmful substances must be detected quickly and reliably. Some of the solutions for current problems are close to the proverbial search for a needle in a haystack. BAM scientists also participate in this search using scientific methods, advanced key technologies and validated reference materials. So do Dr. Ute Resch-Genger and Dr. Katrin Hoffmann, who are researching into improving the reliability of light-based methods – or scientifically expressed: fluorescence methods.



*Biochip unter dem Mikroskop  
Biochip under the microscope*

“We are developing a calibration tool to check the function of reading devices for fluorescence assays. Since such assays are used for the rapid detection of carcinogenic human papilloma viruses (HPV) of the cervix, the results must not be fraught with inadmissible errors under any circumstances”, explains Hoffmann.

Fluorescence assays are widely used in medical diagnostics. Small amounts of sample are often common here – a small drop of blood must suffice. However, these small volumes samples cannot be

tested in conventional reaction vessels, therefore microarray-biochips are used. On a single biochip, which resembles a microscope slide, tiny dots with diameters of less than half a millimetre replace the reaction vessel. Thousands of biological probe molecules such as DNA fragments are attached here in a defined fashion. Each position on the biochip can be assigned to a disease-specific or analytical laboratory analytical parameter. If a patient's sample is applied to the prepared surface, characteristic molecular-biological reactions proceed. The emerging products will be read detected via fluorescent signals and digitally analysed by computer. Thus, with the simultaneous analysis of many tiny test fields, it is possible to view each diagnosis-specific result. The fluorescence is detected by optical reading devices, also referred to as scanners, and while this is possible without great technical effort, device effects and the very small sample amounts might lead to an incorrect assessment of fluorescence intensities. These are sources of error, which actually should not exist.

So, together with colleagues from Greiner Bio-One Diagnostik GmbH that specialises in DNA arrays and PolyAn GmbH, the manufacturer of special sophisticated biochip surfaces, BAM scientists have developed a special calibration (object)-slide. The reason being that a reliable instrument calibration is a prerequisite for a possible international approval of a complete assay platform, i.e. a combination of a special microarray biochip and reading device. The experts can then clearly identify for example viral pathogens of dangerous HPV infections (e.g. PapilloCheck®) in the in-vitro diagnostics in the laboratory through their specific genetic fingerprint. Thus, the physician eventually can provide a safe medical diagnosis.

In food analysis, such DNA tests also allow rapid testing of foods for bacterial germs or foreign DNA (e.g. CarnoCheck®) demanded vehemently not only in times of meat scandals. And the toxic metabolites of certain mould fungi, called mycotoxins, can also be detected successfully using microarray biochips. But that's another story. There are other options in food analysis for these tests, namely those that use high performance liquid chromatography, HPLC for short. Modern HPLC systems can separate complex mixtures of substances into their ingredients and even detect very small quantities within a short time. This is important because mycotoxins – as the name suggests – can have some very poisonous (toxic) effects on humans. Foods are therefore subject to constant monitoring for various mycotoxins. Zearalenone (ZEN) is such a mycotoxin.

ZEN is produced by Fusarium moulds in particular in infested maize and can get into cooking oils.

Since ZEN is often detected in vegetable cooking oils and has a strong hormonal effect which harms liver, blood, the immune system, genetic material and developing foetuses and can cause cancer, European Food Safety investigations are currently strongly concerned with this mycotoxin. The dilemma is however that there is no reliable, affordable and at the same time simple analysis method for controlling the current EU limiting value (0.4 mg ZEN per kilogram of oil).

As early as in 2010, BAM presented a method for the determination of ZEN in vegetable oils to experts. Although the handling of this method based on hydrazine-functionalised particles was a bit impractical, the high potential of this new technology could already be anticipated at that time. The key features include high ZEN selectivity associated with safer applicability to all vegetable oils and reuse of hydrazine-functionalised particles, the latter saves money, time and allows for automation.

This convinced the company Knauer Wissenschaftliche Geräte (Scientific Equipment) GmbH in Berlin. A ZIM cooperation project financed by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (ZIM: Central Innovation Programme SME) was initiated with the aim of automating the process and converting it into common analytical practice. While Sarah Drzymala and Dr. Matthias Koch of BAM took care of the optimisation of the “chem-



*Kunstharzkügelchen helfen das Gift aus Speiseölen zu extrahieren.*

*Resin pellets help to extract the poison from cooking oil.*

istry”, Dr. Stefan Weiz and Dr. Silvia Marten of Knauer developed the apparatus side of the process, consisting of automatic sample preparation and online HPLC coupling.

The challenging task placed high demands on the scientists of the two project partners. In the end, however, the efforts of the two-year project paid off: the researchers were the first to present a method for automatically determining ZEN in vegetable cooking oils, consisting of on-line coupling of solid phase extraction (SPE) and HPLC fluorescence measurement. This new procedure allows test laboratories, or oil manufacturers in the future, to check vegetable cooking oils quickly, reliably and with a high detection sensitivity for ZEN.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Katrin Hoffmann

✉ [Katrin.Hoffmann@bam.de](mailto:Katrin.Hoffmann@bam.de)

1.10 Biophotonik

1.10 Biophotonics

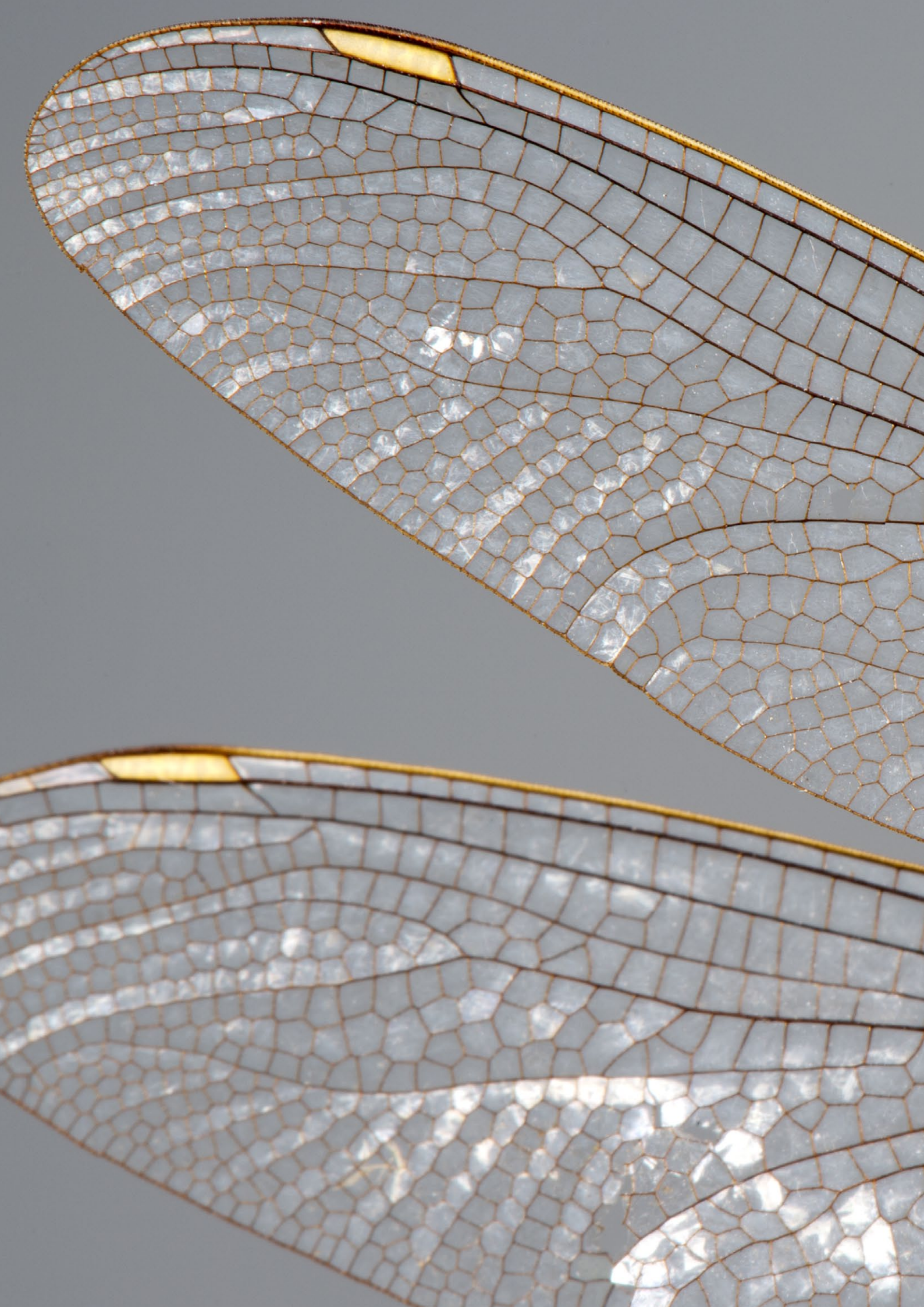
Dr. Matthias Koch

✉ [Matthias.Koch@bam.de](mailto:Matthias.Koch@bam.de)

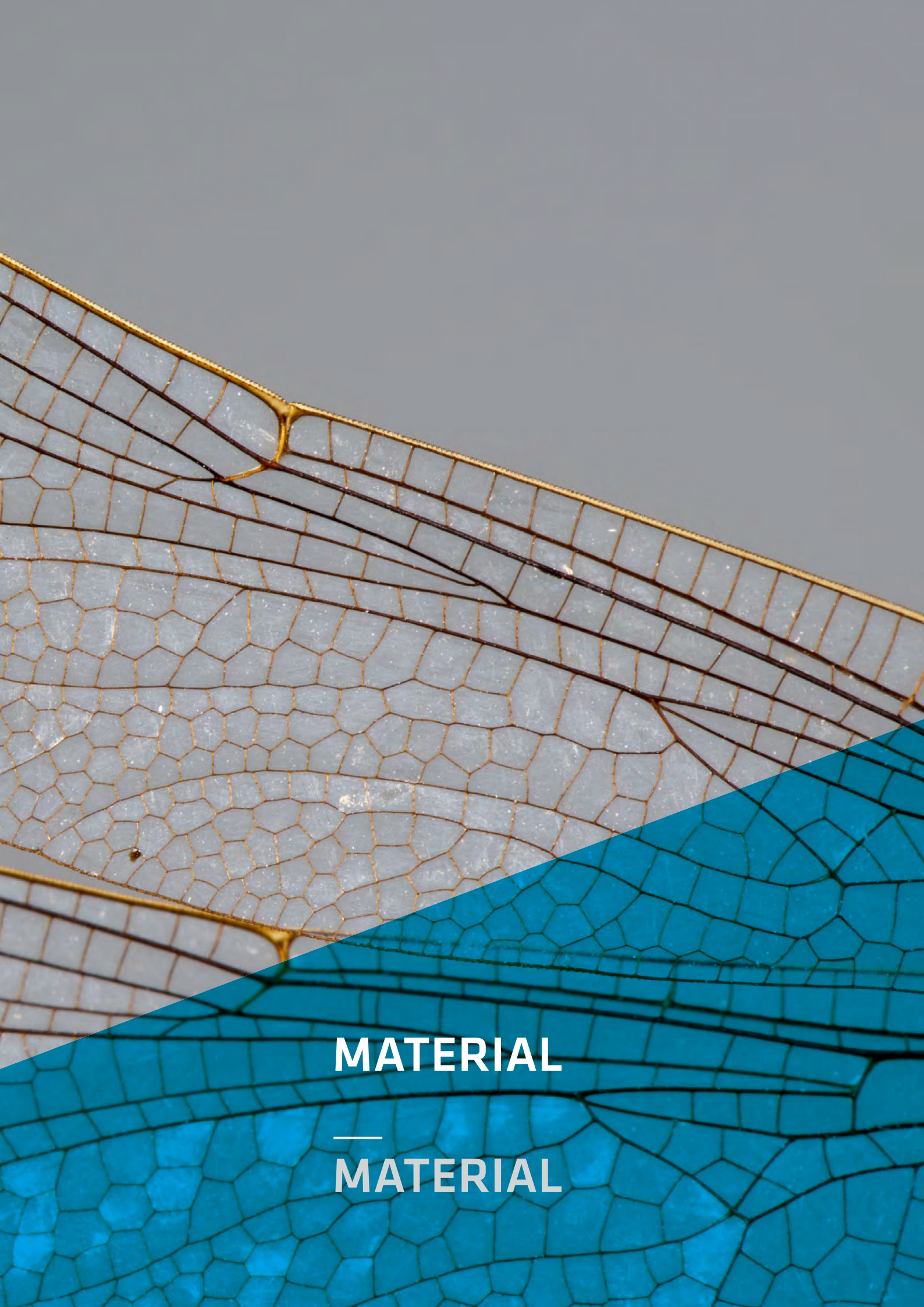
1.7 Lebensmittelanalytik

1.7 Food Analysis









**MATERIAL**

—  
**MATERIAL**



*Die Natur als Ideengeber für neue  
Materialien – Libellenflügel*

*Nature as a source of ideas for new  
materials – dragonfly wings*

**THEMENFELD MATERIAL**

---

**FOCUS AREA MATERIAL**

Ein Land, das wirtschaftlich in der obersten Liga mitspielen will, braucht eine gesunde Basis, und zwei der überaus wichtigen Bausteine dieses Fundaments sind Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Denn Materialien und Werkstoffe stehen am Anfang der Wertschöpfungskette, sie bestimmen Eigenschaften, Funktionalität, Qualität und Sicherheit von Produkten des täglichen und industriellen Gebrauchs. Wer Neues entwickeln, Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren verbessern will, muss wissen, womit er das macht. Materialforschung und -prüfung stehen daher aus gutem Grund seit 1871 im Titel und im Zentrum der Arbeit an der BAM – 143 Jahre der Kompetenzerweiterung, sozusagen. Heute heißt der so wichtige Querschnittsbereich ganz knapp „Material“.

#### **SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG**

Hinter dieser lapidaren Bezeichnung steckt ein wirklich weites Tätigkeitsfeld: Die Forschungsaktivitäten der BAM umfassen hier zunächst die Analytik und die Prüfung von Materialien und Werkstoffen, aber auch ihre Entwicklung und Synthese. Da geht es um Referenzmaterialien, Sensor- und Funktionsmaterialien, um die Verbesserung von Fügeverfahren wie etwa Schweißverfahren, um Forschung, die Oberflächen analysiert und ihnen zielgerichtete Eigenschaften verleiht. Am Rechner werden Materialien

durch Modellierung und Simulation „erschaffen“, ihre Struktur-Eigen-schafts-Beziehungen abgeleitet. So gilt es ja, die Lebensdauer, die Zuverlässigkeit und die Nachhaltigkeit möglichst weitgehend und positiv zu beeinflussen, denn diese Randbedingungen bestimmen im nächsten Schritt, bei der Produktion von Komponenten, die Auswahl der Werkstoffe.

Insofern ist das Themenfeld Material die Basis auch für eine Vielzahl weiterer Bedarfsebenen der BAM, etwa Energie und Infrastruktur. Für deren Forschung wiederum ist die Alterung von Materialien relevant und – für Risikobetrachtungen – das Verhalten bei Extrembeanspruchungen von Bauteilen in komplexen Anlagen.

---

A country that wants to play in the top league of the economy, needs a healthy base, and materials science and materials engineering are two of the most important building blocks of this foundation. Because materials are at the beginning of the value chain, they determine properties, functionality, quality and safety of products of everyday and industrial use. Anyone who wants to develop new, improved production and processing methods, must know what material he will use for them. Materials research and testing have, therefore, been in the name and the centre of BAM's work since 1871 for good reason – 143 years of expertise development, in a way of

speaking. Today this highly important cross-sectional area is just called “material”.

#### **MAIN FOCUS OF CURRENT RESEARCH AND DEVELOPMENT**

This lapidary name covers a really wide field of activity: BAM's research activities initially include the analysis and testing of raw and industrial materials, as well as their design and synthesis. The key targets are reference materials, sensors and functional materials, the improvement of joining technologies such as welding methods and research to analyse surfaces and provide targeted properties. Materials are “created” by computer modelling and simulation and their structure-property relationships derived. The aim is to influence the service life, reliability and sustainability as far as possible and positively because these conditions determine the choice of materials in the next step, in the production of components.

In this respect, the thematic area material is the basis for a number of BAM's other areas of need such as energy and infrastructure. For their research, in turn, the ageing of materials is relevant and the behaviour under extreme stresses of components in complex installations – for risk assessments.



## MUNITION SICHER TRANSPORTIEREN

---

## TRANSPORTING AMMUNITION SAFELY

Die richtige Klassifizierung von Munition für Handfeuerwaffen – ein Thema, das die Experten, schon seit Langem diskutieren. Für den Transport gefährlicher Güter haben die Vereinten Nationen (UN) ein Regelwerk entwickelt, das sich in Form von Empfehlungen mit Vorschriften und Prüfmethode an alle Nationen richtet. Für den Europäischen Raum werden diese Empfehlungen über das ADR (ADR = Accord européen relatif au transport international

des marchandises Dangereuses par Route, deutsch: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße) für den Straßentransport verbindlich umgesetzt. Für die Verkehrsträger in der Luft, auf der Schiene und auf dem Wasser gibt es entsprechende Abkommen.

Die angesprochenen Prüfmethode simulieren die Situation bei einem Unfall. So müssen beispielsweise

se im Brandfall die in der Umgebung auftretenden Wirkungen der gefährlichen Ladung erfasst und klassifiziert werden. Doch die Ingenieure und Techniker aus der BAM haben in der Vergangenheit nur selten diese Prüfungen mit Munition durchgeführt. Der Grund ist offensichtlich, fordert die Methode doch ein Packvolumen von 150 Litern. Und das kann bei Munition mehrere Tausend bis Hunderttausend Patronen bedeuten – eine wirtschaftliche Verschwendung und Belastung der Umwelt. Und noch ein Problem birgt die Methode: Die Energiebestimmung über Einschläge in Aluminium-Nachweisschirmen ist äußerst ungenau und unzuverlässig.

Für den Test mit der Bezeichnung UN 6 (c) wird die Munition durch ein Holzfeuer auf circa 800 Grad Celsius erwärmt. Um die Brandstelle stehen senkrecht im Abstand von vier Metern drei Nachweisschirme (2000 mm x 2000 mm x 2 mm) aus Aluminium. Damit wird der Splitterwurf nach der Explosion erfasst. Durch die Tiefe der Einschläge ermitteln die Experten die Energie, die das Geschoss oder Fragment aufgenommen hat. Nur kann man sich nicht sicher sein, dass alle für die Energiebestimmung relevanten Einschläge in den Nachweisschirmen auch stattgefunden haben.

„Das ist eine etwas unbefriedigende Situation. Daher haben wir einen Munitionsauslöser entwickelt, der es erlaubt eine Patrone isoliert auszulösen. So können wir die maximal zu erwartende Energie des Geschosses oder Fragmentes präzise messen“, erklärt Diplom-Ingenieur Ulrich Klieboldt. „Und noch einen Vorteil hat unsere Methode – wir haben keinen gefährlichen Abfall mehr. Denn nach einem Brandversuch bleiben viele belastete und nicht umgesetzte Patronen übrig. Die müssen eingesammelt und entsorgt werden. Und das ist nicht ganz ungefährlich“, so Klieboldt weiter.

„Unsere nun patentierte technische Entwicklung konnten wir über das Verkehrsministerium in die UN-Gremien bringen und so das Prüfhandbuch an zwei Stellen wesentlich verbessern. Es freut uns, dass unser Munitionsauslöser international anerkannt wird“, sagt Dr. Alexander von Oertzen, der zum Entwicklungsteam gehörte.

Der Munitionsauslöser ist aufgrund seiner Bauweise für alle gängigen Patronenkaliber verwendbar und dabei doch so klein, dass er in einem Packstück mit einer Patrone verbunden werden kann, ohne die Gesamtkonfiguration oder die Eigenschaften der Verpackung wesentlich zu verändern. Mit einigen wenigen Patronen wird ein zuverlässigeres Prüfer-

gebnis erzielt, als dies bisher mit der Brandprüfung der Fall war, und dies noch in viel kürzerer Zeit.

„Für eine korrekte Klassifizierung müssen wir zwei Aspekte im Blick haben: Die einzelne Patrone und die Munitionspackung. Daher haben wir auch beide Prüfverfahren weiterentwickelt“, so von Oertzen.

Zur Prüfung der Einzelpatrone wird diese in den Munitionsauslöser eingesetzt. Über den pyrotechnisch angetriebenen Schlagbolzen wird die Patrone ausgelöst. Bei der Entzündung des Treibladungspulvers werden gleichzeitig das Geschoss beschleunigt und die Patronenhülse aufgerissen. Für die Auswertung entscheidend ist die Geschwindigkeit des Geschosses – diese ist im Übrigen sehr viel langsamer als in einem Waffenlauf –, die durch Highspeed-Videoaufnahmen oder über ein ballistisches Pendel gemessen werden kann. Die Geschossenergie ergibt sich aus der Masse des Geschosses und dessen Maximalgeschwindigkeit. Typischerweise geht es um Energien zwischen 3 J (Joule) und 20 J. Die UN-Vorschriften setzen eine Grenze bei 8 J für die ungefährlichste Einstufung, die Klassifizierung 1.4S.



*Hochgeschwindigkeitsaufnahme von der Auslösung mit vorschnellendem Schlagbolzen ohne Patrone*

*High speed recording of the trigger igniting and ejecting the firing pin, without a cartridge*



*Anbringen des Munitionsauslösers an eine Patrone*  
*Attaching the ammunition trigger to a cartridge*

In einer weiteren Prüfung wird innerhalb einer Munitionspackung eine Patrone mit dem Munitionsauslöser zur Umsetzung gebracht. Die Wirkung auf die anderen Patronen und der Zustand der Verpackung werden dadurch geprüft. Denn für bestimmte Transportbedingungen darf sich außerhalb der Verpackung keine gefährliche Wirkung zeigen.

Mit diesem Munitionsauslöser und den beiden verbesserten Prüfverfahren wird eine unter den Experten oft geführte Auseinandersetzung zur Gefährlichkeit von verpackter Munition auf eine rationale Ebene gebracht. Die Auffassung, dass Munition außerhalb der Waffe und für weitgehend alle Kaliber generell der niedrigsten Gefahrenklasse 1.4S zuzuordnen ist, konnte widerlegt werden. Allerdings ist auch zutreffend, dass für Kaliber bis 9 mm, teilweise auch für Kaliber bis 12 mm, die Klassifizierung 1.4S anwendbar ist. Sollte für einen bestimmten Munitionstyp die Situation unklar sein, so ist es jetzt möglich, mit geringstem Aufwand eine Klärung „1.4S, ja oder nein?“ herbeizuführen.

---

The correct classification of ammunition for firearms is an issue that has been discussed by the experts for a long time. The United Nations (UN) has developed a set of rules for transporting dangerous goods in the form of recommendations for regulations and test methods that are addressed to all nations. At a European level, these recommendations for road transport are implemented bindingly via the ADR (ADR = Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route. English: European Agreement concern-

ing the International Carriage of Dangerous Goods by Road). There are corresponding agreements for transportation modes for air, rail and water.

The test methods mentioned above simulate accident situations. So in the case of a fire for example, the proximity effects of a dangerous cargo must be recorded and classified. However, the engineers and technicians from BAM have rarely performed such tests with ammunition in the past. The reason is obvious as the method calls for a packing volume of 150 litres. In terms of ammunition, that quantity can amount to several thousands to a hundred thousand of cartridges – an economic waste and pollution on the environment. A further problem is intrinsic to the method: determining the energy of impacts into aluminium witness screens is extremely inaccurate and unreliable.

In the UN 6 (c) test, the ammunition is heated by a wood fire to about 800 degrees Celsius. Three aluminium witness screens (2000 mm x 2000 mm x 2 mm) are placed each in a vertical position at a distance of four meters from the bonfire. This enables the recording of fragments after the explosion. Experts determine the energy absorbed by the bullet or fragment by examining the depth of the impact. However, one can never be sure, that all relevant impacts necessary for determining the energy have been recorded on the witness screens.

“This is a somewhat unsatisfactory situation. Therefore, we have developed an ammunition trigger device that enables an isolated cartridge to be fired. This allows us to measure the maximum ex-

pected energy of the bullet or a fragment precisely”, says Ulrich Klieboldt. “And our method has another advantage – we have eliminated the amount of hazardous waste. A fire test leaves many unexploded cartridges, which must be collected and disposed of appropriately. And that is quite dangerous”, says Klieboldt.

“We were able to present our patented technical development to the UN bodies through the Ministry of Transport and thus significantly improve the test manual in two areas. We are pleased that our ammunition trigger is recognised internationally”, says Dr. Alexander von Oertzen, who was part of the development team.

Due to its design, the ammunition trigger is compatible with all common cartridge calibres and yet is so small that it can be connected to a cartridge in the same package without changing the overall configuration or properties of the packaging material. So far, setting off a few cartridges offers a more reliable test result than bonfire tests and in a much shorter time-span.

“In order to obtain a correct classification we have to focus on two aspects: The individual cartridges and the ammunition packaging. Therefore, we have also further developed both test methods”, says von Oertzen.

The single cartridge is inserted in the ammunition trigger in order to be tested. The cartridge is fired

by a pyrotechnically driven firing pin. The ignition of the propellant accelerates the projectile and at the same time bursts the cartridge case. The decisive factor in the evaluation is the speed of the projectile, which in this case is much slower than it would be in a gun barrel and can be measured by high-speed video recordings or via a ballistic pendulum. The projectile energy is obtained from the mass of the projectile and its maximum speed. Typically, energies lie roughly between 3 J (joules) and 20 J. UN regulations set a limit of 8 J for the least dangerous ranking, classification 1.4S.

In another test, a cartridge is fired with the ammunition trigger inside an ammunition package. This helps determine the effect on the other cartridges and the condition of the packaging. Certain transport conditions do not allow for dangerous effects outside the packaging.

This type of ammunition trigger and the two improved test procedures rationalise a frequent debate among experts about the hazards of packaged ammunition. The notion that ammunition outside firearms and of almost any calibre should be generally assigned to the lowest risk class of 1.4S could be refuted. However, it is also true that class 1.4S can be applied to a calibre of up to 9 mm and sometimes up to 12 mm. Should the situation regarding a particular type of ammunition be unclear, it is now possible to clarify the question of “1.4S, yes or no?” with very little effort.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Alexander von Oertzen

✉ [Alexander.von\\_Oertzen@bam.de](mailto:Alexander.von_Oertzen@bam.de)

2.3 Explosivstoffe

2.3 Explosives



# R1234YF: EIN KÄLTEMITTEL, DAS GEMÜTER ERHITZT

## R1234YF: A REFRIGERANT WHICH RAISES TEMPERS

Es ist Sommer, das Thermometer klettert langsam auf die 30-Grad-Celsius-Marke und das Auto steht in der prallen Sonne. Nur gut, dass es eine Klimaanlage gibt, denkt sich so mancher. Doch Klimaanlagen brauchen Kältemittel und das soll möglichst umweltfreundlich und sicher sein.

R134a heißt das bisherige Kältemittel, dessen Verwendung in der EU für Neufahrzeuge nur bis Ende 2010 zulässig war. Eine Übergangsregelung erlaubt den Einsatz von R134a noch bis Ende des Jahres 2016 in Pkw-Typen, die eine Typzulassung vor dem 1. Januar 2011 erhalten haben. 1,1,1,2-Tetrafluorethan, so die korrekte chemische Bezeichnung für R134a, ist ein starkes Treibhausgas mit einer Treibhauswirkung, die das 1430-fache der gleichen Menge Kohlendioxid entspricht. Gewichtiger Grund also, Ersatz zu finden: R1234yf.

Über R1234yf streiten allerdings immer noch die Sicherheitsexperten. Im Gegensatz zu R134a ist es brennbar und kann zudem, wenn es austritt und mit heißen Oberflächen in Kontakt kommt, giftige Gase bilden.

Ein Blick zurück: Die Auswahl des Kältemittels oblag allein den Fahrzeugherstellern. Die hatten sich im Jahr 2010 einstimmig auf den Einsatz des neuen Kältemittels R1234yf festgelegt. Diese Entscheidung kam durchaus überraschend, favorisierte man doch insbesondere in Deutschland Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Kältemittel. R1234yf ist zwar deutlich weniger umweltschädlich als R134a, doch führt seine Brennbarkeit zu bisher nicht bekannten Sicherheitsrisiken. Gerade bei Unfällen, bei denen der Klimakreislauf beschädigt und dadurch das

Kältemittel freigesetzt wird, kann es sich beispielsweise am heißen Motor entzünden und Folgebrände auslösen.

Anlass genug für die Sicherheitsexperten der BAM, dieses Kältemittel zu untersuchen. Dies ist eines der Arbeitsgebiete von Dr. Kai Holtappels aus dem BAM-Fachbereich 2.4 Konstruktiver Brand- und Explosionsschutz Gase. „In den vergangenen Jahren wurden wir von verschiedenen Parteien beauftragt, das Kältemittel insbesondere im Zusammenhang mit dessen Brennbarkeit zu untersuchen. Natürlich haben wir hierzu die deutschen Automobilhersteller sowie die Bundesministerien und nachgeordnete Behörden beraten, wie auch die europäische Ebene. Dort waren wir an den Sicherheitsdiskussionen beteiligt“, so Holtappels.

Nicht nur die Brandrisiken werden immer wieder im Zusammenhang mit dem Einsatz des neuen Kältemittels diskutiert, sondern auch die sehr giftigen Gase, die bei Kontakt mit heißen Oberflächen entstehen können. Hierzu gehört in erster Linie Fluorwasserstoff, welches in Wasser gelöst auch als Flusssäure bekannt ist. Fluorwasserstoff ist sehr giftig und ätzend, bereits extrem geringe Konzentrationen können zu irreversiblen Gesundheitsschäden oder gar zum Tode führen. Auch Carbonylfluorid (COF<sub>2</sub>) kann sich im Brandfall bilden. Carbonylfluorid ist das Fluor-Analogon von Phosgen, das als Giftgas in einigen Kriegen eingesetzt wurde. Eine vergleichbare Wirkung des Fluorphosgens ist daher anzunehmen. Fraglich ist nur, ob COF<sub>2</sub> bei den zu betrachtenden Unfallszenarien lange genug – oder überhaupt – vorliegt, um zu Gesundheitsgefährdungen anwesender Personen zu führen.





Bislang nahm man an, dass der Stoff bei Anwesenheit von Luftfeuchtigkeit sofort zu Kohlendioxid und Fluorwasserstoff reagiert und daher auch nicht weiter bei Risikostudien betrachtet werden muss. Wissenschaftler der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) kamen allerdings zu einem abweichenden Ergebnis: In ihrer Publikation vom April 2014 beschreiben sie, dass sie auch noch nach 30 Minuten  $\text{COF}_2$  in der Verbrennungskammer nachweisen konnten.

Für die Bewertung möglicher Sicherheitsrisiken ist dieser rein qualitative Nachweis, also ohne Angabe von Konzentrationen und ohne Anwesenheit von Wasserdampf, nicht ausreichend. Holtappels entschied daher, die Bedingungen, unter denen  $\text{COF}_2$  gebildet wird, näher zu untersuchen; in welchen Konzentrationen es entsteht und wie lange es stabil ist, gerade, wenn Luftfeuchtigkeit anwesend ist.

In den ersten Versuchen stellten die Expertinnen und Experten der BAM die Verbrennungsreaktion, wie sie die Wissenschaftler an der LMU durchgeführt haben, nach. Zur Analyse der Verbrennungsgase nutzen Holtappels und seine Kolleginnen und Kollegen

ebenfalls ein IR-Spektrometer. Auch sie haben  $\text{COF}_2$  qualitativ nachgewiesen, doch ermittelten sie über Vergleichsspektren aus der Literatur gesicherte Konzentrationsangaben für  $\text{COF}_2$ : über 10.000 ppm nach Reaktionsende. Beachtlich, liegt der Wert für die tödliche Wirkung von  $\text{COF}_2$  für den Menschen nur bei 1 ppm (1 Teil von 1 Millionen Teilen) bei einer Exposition von 10 Minuten.

In weiterführenden Versuchen setzten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM definierte Anteile Wasserdampf der Verbrennungsreaktionen zu. Ihre Messungen ergaben, dass mit steigenden Wasserdampfanteilen die  $\text{COF}_2$ -Konzentration abnimmt.

Ein Argument also für die Befürworter des neuen Pkw-Kältemittels? Nicht unbedingt, denn bei den bislang geführten Diskussionen wird immer der Frontalzusammenstoß als Unfallszenario angenommen. Sicherlich, bei diesem Szenario ist die Wahrscheinlichkeit am Größten, dass der Klimakreislauf wie auch der Motorkühlkreislauf beschädigt wird. Das durch den Brand gebildete  $\text{COF}_2$  reagiert mit den großen Mengen des freigesetzten heißen

Wasser-Glykol-Gemisches und setzt sich so vollständig zu CO<sub>2</sub> und Fluorwasserstoff um. Und da Fluorwasserstoff in den bisherigen Risikostudien bereits berücksichtigt wurde, wären keine weiteren Untersuchungen oder Risikoanalysen notwendig.

Holtappels sieht bei diesem angenommenen Unfallszenario allerdings verschiedene Randbedingungen nicht hinreichend berücksichtigt. Dazu gehören die Bedingungen, wie das Kältemittel freigesetzt wird und wie es in Kontakt zu einer heißen Oberfläche kommt. Und bei welchen Oberflächentemperaturen es sich so umsetzt, dass giftige Gase in ausreichender Konzentration entstehen, um zu einer Gesundheitsgefährdung für Pkw-Insassen oder Rettungskräften und Ersthelfern zu führen, ist nicht wirklich bekannt. Auch die Frage, ob gebildetes COF<sub>2</sub> zwangsläufig mit der Wasserdampf Wolke der beschädigten Motorkühlung in Kontakt kommt und so sofort weiter reagiert, hängt von vielen Faktoren, die wahrscheinlich – wie viele andere Faktoren auch – aufgrund fehlender Erfahrungswerte

nicht sicher abgeschätzt werden können.

Grund genug für die Expertinnen und Experten aus der Sicherheitstechnik und Analytik der BAM, weitere Szenarios und Bedingungen, unter denen sich COF<sub>2</sub> bildet, zu untersuchen.

---

It's summer, the thermometer climbs slowly to the 30 degree Celsius mark and the car stands in the blazing sun. Good thing you have air conditioning you might think. But air conditioning needs a refrigerant and it must be environmentally friendly and safe.

R134a is the refrigerant, whose use in new vehicles within the EU was only permitted up to the end of 2010. A transitional regime allows the use of R134a until the end of 2016 in car models that received their type approval before 1 January 2011. 1,1,1,2-tetrafluoroethane is the correct chemical name of R134a. It is a potent greenhouse gas with a global warming potential that corresponds to 1430 times that of carbon dioxide.

It was therefore vital to find a replacement, and R1234yf is it.

However, safety experts are still arguing about R1234yf. Unlike R134a, it is flammable and if it escapes and gets into contact with hot surfaces, it can produce toxic gases.

In hindsight: The selection of the refrigerant was the sole responsibility of automobile manufacturers. They took an unanimous decision in 2010 to use the new refrigerant R1234yf. This decision was quite surprising because, particularly in Germany, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) was the favoured refrigerant. R1234yf is indeed considerably less damaging to the environment than R134a, but its flammability leads to safety risks previously unknown. It can catch fire if it comes into contact with hot engine parts and cause subsequent fires particularly in the case of accidents where the air conditioning pipes are damaged and the refrigerant is released.

This was sufficient reason for BAM's safety experts to investigate this refrigerant. This field is one of Dr. Kai Holtappels' scopes of work at the BAM Division 2.4 "Constructive Fire and Explosion Safety Gases". "In recent years we have been commissioned by various parties to test the refrigerant, in particular regarding its flammability. Of course, we have advised the German automobile manufacturers, the federal ministries and subordinate authorities, as well as at the European level. There we were involved in the safety discussion", says Holtappels.

Not only have the fire risks repeatedly been discussed in connection with the use of the new refrigerant, but also the highly toxic gases that can emerge on contact with hot surfaces. This chiefly includes hydrogen fluoride, which is also known as hydrofluoric acid when dissolved in water. Hydrogen fluoride is highly toxic and corrosive, even extremely low concentrations can lead to irreversible damage to health

*Noch erlaubt: Das Kältemittel R134a  
Still allowed: the refrigerant R134a*



## KONTAKT/CONTACT

Dr. Kai Holtappels

✉ Kai.Holtappels@bam.de

2.4 Konstruktiver Brand-  
und Explosionsschutz Gase

2.4 Constructive Fire and  
Explosion Safety Gases



or even death. Carbonyl difluoride ( $\text{COF}_2$ ) may also develop in the case of fire. Carbonyl difluoride is the fluorine analogue of phosgene, the substance used as a poison gas in some wars. Fluorine phosgene (= carbonyl difluoride) can therefore be assumed to have a similar effect. The only question is whether  $\text{COF}_2$  is present long enough – or at all – to cause a health hazard to people present in the accident scenarios to be considered.

Until now it was assumed that the substance reacts immediately to form carbon dioxide and hydrogen fluoride in the presence of humidity, and therefore need not be further considered in risk studies. However, scientists at the Ludwig Maximilian University of Munich (LMU) found a different result: in their publication in April 2014, they described the detection of  $\text{COF}_2$  after 30 minutes in the combustion chamber.

This purely qualitative evidence, i.e. without specifying concentrations and without the presence of water vapour, is not sufficient for the assessment of potential safety risks. Holtappels therefore decided to further explore the conditions under which  $\text{COF}_2$  is formed, in what concentrations can it arise and how long can it remain

stable, especially when humidity is present.

In their first experiments, BAM experts reconstructed the combustion reaction as performed by the LMU scientists. Holtappels and his colleagues also used an IR spectrometer to analyse the combustion gases. They too have qualitatively detected  $\text{COF}_2$ , but determined secure  $\text{COF}_2$  concentrations via comparative spectra from the literature: in excess of 10,000 parts per million (ppm) after reaction end. This is a striking result, as the value for the lethal effect of  $\text{COF}_2$  for humans is only 1 ppm at an exposure of 10 minutes.

In further experiments, BAM scientists added specified proportions of water vapour to the combustion reactions. Their measurements showed that  $\text{COF}_2$  concentration decreased with increasing proportions of water vapour.

Is this an argument for the new car refrigerant's proponents? Not necessarily, because a head-on collision has always been assumed in the accident scenarios discussed so far. Surely, the probability that the air conditioning pipes and the engine cooling circuit are damaged is highest in this sce-

nario.  $\text{COF}_2$  formed by fire reacts with the large quantities of hot water-glycol mixture released and is converted completely to  $\text{CO}_2$  and hydrogen fluoride. And since hydrogen fluoride was already included in the previous risk studies, no further investigations and risk analyses would be needed.

However, Holtappels sees various boundary conditions as not having been sufficiently taken into account in this hypothetical accident scenario. This includes how the refrigerant is released and how it gets into contact with a hot surface. It is not really known what surface temperature is needed to convert it such that toxic gases are formed in sufficient concentration to cause a health risk to car occupants, rescue workers and first aiders. The question of whether the  $\text{COF}_2$  formed necessarily comes into contact with the coolant water vapour cloud from the damaged engine and immediately reacts, depends on many factors that cannot be reliably estimated due to lack of experience – and many other factors.

This has encouraged BAM experts dealing with safety engineering and analysis to investigate more scenarios and conditions under which  $\text{COF}_2$  is formed.



Foto: cl

*Skulptur aus Beton am Forum Adlershof "Kopfbewegung - heads, shifting"*  
*Sculpture made of concrete at the Forum Adlershof "Kopfbewegung - heads, shifting"*

## NACHGIEBIG WIE DÄMPFERBETON

### YIELDING LIKE DAMPING CONCRETE

„Du Betonkopf!“ – wer so tituiert wird, zeichnet sich meist durch eine hohe Unnachgiebigkeit aus. Tatsächlich würde sich eine aus Normalbeton modellierte Büste unter Druck von außen nur gering oder gar nicht verformen. Das Verhalten von Beton kann allerdings auch ganz anders sein. Der Firma Hochtief AG ist es gelungen, einen Beton herzustellen, der zwar weiterhin eine gute Festigkeit besitzt, aber gleichzeitig auch eine hohe Nachgiebigkeit aufweist. Dämpferbeton heißt dieser Beton, der seine Fähigkeit durch circa 1 mm große Polystyrolkugeln als Zuschlagstoff erhält, die unter Druck nahezu vollständig zusammengepresst werden.

Prallt beispielsweise ein Gegenstand auf diesen Beton, wird er plastisch, also bleibend, verformt. So wird ein Großteil der eingebrachten Energie aufgezehrt und die mechanischen Belastungen auf den fallenden Körper verringern sich deutlich. Aber wo werden diese für Beton eher untypischen Eigenschaften benötigt? Haupteinsatzgebiet des Dämpferbetons sind Handhabungsbereiche von kerntechnischen Anlagen, wo er im Fundament verwendet wird. In diesen Bereichen werden die oft über 100 Tonnen schweren Behälter für abgebrannte Brennelemente mit dem Kran verladen und in geringer Höhe über dem Boden bewegt. Ein Unfallszenario

ist daher ein Handhabungsstörfall, bei dem der Behälter im Kranbetrieb auf das Fundament fällt. Aufgrund seiner Eigenschaften würde sich in dieser Situation der Dämpferbeton verformen und nicht der Behälter. Und hier kommen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAM ins Spiel, die sich mit sicherheitstechnischen Betrachtungen von Lagerbehältern befassen. Sie überprüfen im Auftrag der zuständigen Behörden, inwieweit bei einem Auf- oder Anprall Schäden an einem Behälter entstehen könnten, die dazu führen, dass radioaktive Stoffe austreten.

Da ein solcher Störfall von unzähligen Parametern beeinflusst wird, kommen zunehmend numerische Simulationsverfahren zum Einsatz, mit denen das Zusammenspiel aller beteiligten Komponenten untersucht werden kann. Voraussetzung hierfür sind aber validierte Materialmodelle. Und die lagen für den Werkstoff Dämpferbeton nur mit Einschränkungen vor, so dass bisher nur ein vereinfachtes Modell für die Sicherheitsnachweise zur Verfügung stand. Zur Kompensation dieser zulässigen Vereinfachungen wurden daher immer ausreichende Sicherheitsreserven eingebaut. Um die konstruktive Auslegung zukünftiger Behälter aber zu optimieren und bestehende Sicherheitsmargen exakter berechnen zu können, werden verlässliche Materialmodelle für den Werkstoff Dämpferbeton benötigt. Basis hierfür sind experimentell bestimmte Materialkennwerte. Und genau diese Arbeiten wurden in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsvorhaben ENREA (Entwicklung REchnerischer Analysemethoden für stoßdämpfende Strukturen beim Anprall oder Absturz von Abfallgebinden) von der BAM gemeinsam mit einem Industriepartner durchgeführt.

Ein Schwerpunkt war die Ermittlung von Kraft-Verformungs-Kurven von Dämpferbeton unter Druckbeanspruchungen. Das Verhalten wurde an würfelförmigen Proben mit einer Kantenlänge von 10 cm untersucht. Eingespannt in eine eigens dazu konstruierte Vorrichtung wurden die Proben mit unterschiedlichen, aber konstanten Geschwindigkeiten belastet. Ergebnis: Der Spezialbeton ist hoch komprimierbar – die Würfel ließen sich auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Höhe stauchen und die Messwerte weisen einen ausgeprägten Plateaubereich auf. In diesem Bereich kommt es zu einer großen Verformung des Dämpferbetons ohne nennenswerten Kraftanstieg. Das bedeutet: Hier verhält sich der Werkstoff sehr nachgiebig und verformt sich plastisch. Die eingebrachte Energie wird aufgezehrt, ohne dass die Belastungen in einem aufprallenden Körper ansteigen würden. Erst darü-

ber hinaus kommt es bedingt durch die vollständige Kompression des Werkstoffs zu einem Kraftanstieg.

„Dieses Werkstoffverhalten kennen wir von zellulär isotropen Werkstoffen wie beispielsweise Polyurethan-Schaum. Daher haben wir eine entsprechende numerische Materialbeschreibung als Grundlage gewählt, die wir dann für Dämpferbeton weiterentwickelten. Die Verlässlichkeit unseres Simulationsmodells haben wir im nächsten Schritt mit dynamischen Druckversuchen überprüft, bei denen die Beanspruchungsgeschwindigkeit über die Belastungsdauer variiert“, so Dr. Eva Maria Kasperek.

„Für diese Versuche haben wir die Fallversuchsanlage der BAM genutzt“, erklärt Dipl.-Ing. Robert Scheidemann. „Diese Anlage befindet sich auf unserem Testgelände Technische Sicherheit in Brandenburg bei Baruth/Mark. Dort können wir höhere Beanspruchungsgeschwindigkeiten als mit den Anlagen auf unserem Stammgelände in Berlin erzielen und somit realitätsnahe Beanspruchungen abbilden“, so Scheidemann weiter, der ebenfalls das Projekt wissenschaftlich begleitet. So ließ das Wissenschaftler-Team Fallgewichte aus definierter Höhe auf die eingespannten Proben fallen. Bereits jetzt zeigte sich: Simulation und Realität stimmten gut überein.

Allerdings treten in der realen Anwendung eine Reihe von Parametern auf, wie der Einfluss von Fugen, die noch in das Materialmodell zu integrieren waren. Denn im Gegensatz zum Normalbeton, werden Dämpferbetonfundamente aus gegossenen Blöcken aufgebaut. Auch hierfür nutzten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Fallversuchsanlage. Sie führten Eindringversuche mit unterschiedlichen Fallkörpergeometrien und Fugenbildern durch. Wie brauchbar das entwickelte Materialmodell letztendlich ist, überprüften sie durch einen realitätsnahen Fallversuch. Hierfür stellte der Industriepartner einen zylindrischen, knapp 23 Tonnen schweren Fallkörper zur Verfügung, der weitestgehend den Gussbehältern für mittelfallradioaktive Abfälle entspricht. Aus einer Höhe von fünf Metern fiel er vertikal auf ein 50 Zentimeter hohes Fundament. Das Ergebnis: Der tatsächliche Eindringbereich konnte in der vorab durchgeführten numerischen Simulation sehr exakt berechnet werden.

Damit sind viele Fragen geklärt, aber wie so häufig in der Wissenschaft – mindestens genauso viele noch offen. Was passiert, wenn der Behälter schräg auftrifft? Wie wirkt sich die Estrichschicht aus, die zur Lastverteilung auf die typischen Fundamentkonstruktionen aufgetragen wird? Der nächste For-

*Dämpferbeton mit Polystyrolkugeln*  
*Damping concrete with polystyrene bead additives*

schungsantrag ist bereits beim BMBF eingereicht!

“You blockhead!” This term is normally used when describing someone very stubborn. Indeed, a bust modelled out of standard concrete would not, or only marginally, deform under exterior pressure. However, concrete can be made to behave quite differently. The company HOCHTIEF AG has managed to produce a concrete with high deformability while still being able to maintain its strength. This type of concrete is called damping concrete and owes its property to 1 mm polystyrene bead additives, which compress almost completely under pressure. If an object collides with this type of concrete, it becomes



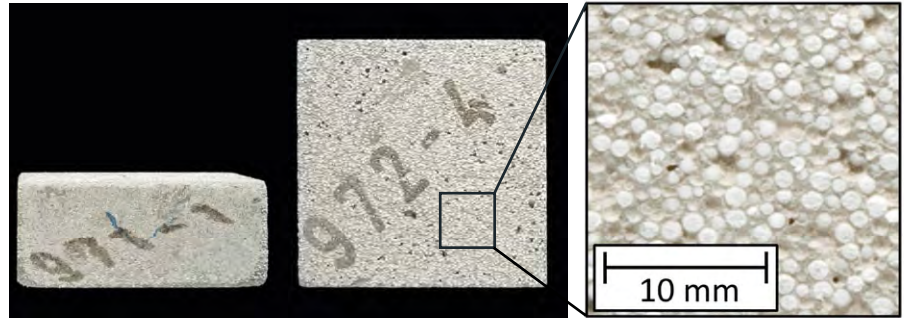
#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Eva Maria Kasperek

✉ Eva-Maria.Kasperek@bam.de

3.4 Sicherheit von  
Lagerbehältern

3.4 Safety of Storage  
Containers



plastically deformed, i.e. permanently compressed. In this way much of the impacting energy is absorbed and the mechanical pressures on the colliding body are significantly decreased. But where can these rather atypical properties of concrete be applied? Damping concrete is mainly used in the foundations of handling areas in nuclear facilities. In these areas, casks for spent fuels, often weighing over 100 tonnes, are lifted by cranes and transferred at low level above the ground. An accident scenario is therefore an incident during which the container falls from the crane onto the foundation. In this situation it would be the damping concrete that deforms due to its characteristics and not the cask. And here the BAM scientists who deal with the technical safety considerations of storage packages come into play. They are commissioned by the competent authorities to check the possibility of radioactive material release in case a cask is involved in a collision.

Since such an incident is influenced by numerous parameters, computer simulation models that allow the interactions between all involved components to be examined are employed more and more frequently. Prerequisite for this are validated material models. They exist only to a limited extent for damping concrete, so that only simplified models were available for safety assessments. Sufficient safety margins have always been included to compensate for these permissible simplifications. However, in order to optimise the structural design of future containers and to facilitate the more accurate calculation of existing

safety margins, reliable material models for damping concrete are required. They are based on material characteristics determined through experimentation. This work was carried out by BAM and an industrial partner in the research project entitled ENREA (the development of numerical methods for analysing impact limiters subjected to impact or drop scenarios) sponsored by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF).

Of particular interest was to determine force-displacement-curves of damping concrete under the effects of compressive loadings. The behaviour was studied using 10 cm cubic specimens that were clamped in a specially constructed device and were loaded at different but constant rates. They found that the special concrete is highly deformable – the cubes could be compressed to a fraction of their original height – and, furthermore, the results showed a pronounced plateau. This range is characterised by a high deformation of damping concrete without a significant increase in force, which means the material is very yielding and is plastically deformed. The energy introduced is absorbed without raising the force on the impacting body. Beyond that, an increase in force will only occur once the material is completely compressed.

“We know of such material behaviour from cellular isotropic materials such as polyurethane foam. Therefore, we chose an appropriate numerical material description as a basis from which we then enhanced formulations for damping concrete. Our next step was to analyse the reliability of

## KONTAKT/CONTACT

Dipl.-Ing. Robert Scheidemann

✉ Robert.Scheidemann@bam.de

3.3 Sicherheit von  
Transportbehältern  
3.3 Safety of Transport  
Containers



our simulation model with dynamic compression tests in which the strain rate varied over the exposure time”, says Dr. Eva Maria Kasperek of BAM Division 3.4 Safety of Storage Containers.

“We used the BAM drop test facility for these tests”, explains Robert Scheidemann. “This facility is located at our Test Site Technical Safety in Brandenburg near Baruth/Mark. There we can achieve higher strain rates than at our headquarters’ facilities in Berlin and can therefore

simulate realistic strains”, says Scheidemann who contributed scientifically to the project within BAM Division 3.3 Safety of Transport Containers. In the tests, scientists dropped weights onto clamped samples from a specified height. It soon became clear that simulation and reality coincided well.

However, real applications generate a number of parameters such as the influence of joints, which still needed to be integrated into the material model. Contrary to standard concrete, damping concrete foundations are made in cast blocks. Scientists again used the drop test facility to perform penetration tests dropping indenters of different geometrical shapes onto various joint patterns. To ultimately determine how useful the final material model was, scientists performed a

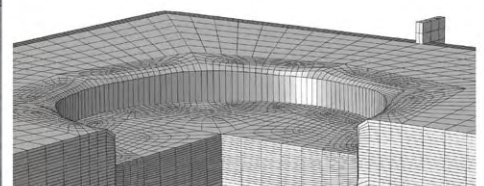
realistic drop test. To aid the experiment, the industrial partner provided a cylindrical drop-body weighing just less than 23 tonnes, which largely corresponded to the cast iron casks for intermediate-level radioactive waste. It was dropped vertically on a 50 centimetre high foundation from a height of five metres. The actual penetration area was predicted with high accuracy in a preliminary numerical simulation.

Many issues are thus resolved, but – as is so often the case in science – at least as many are still open. What happens if the container impacts at an angle? What is the effect of the screed layer that is applied to typical foundation structures to distribute the load? The next research proposal has already been submitted to the BMBF!



*Vergleich von Experiment und Simulation: Eindringbereich infolge des Aufpralls des Fallkörpers*

*Comparison of experiment and simulation: the penetration due to the impact of the cylindrical body*





# BETON UND GLAS, WIE LEICHT BRICHT DAS

## GLASS AND CONCRETE – EASY TO BREAK

Jeder, der mal in Berlin war, kennt sie, die blauen leuchtenden Glaswände der neuen Kaiser-Wilhelm-Gedächtniskirche. Betonglasfenster setzte der Architekt Egon Eiermann damals ein, ein architektonisches Stilelement, das bereits Ende der 1920er Jahre entwickelt, aber erst nach dem Zweiten Weltkrieg intensiv verwendet wurde. Die neue Gedächtniskirche ist freilich nur eine der vielen Sakralbauten, die in den 50ziger, 60ziger Jahren des vorherigen Jahrhunderts in Deutschland gebaut wurden und bei denen die modernen Baumeister Betonglasfenster nutzten.

Der besondere Reiz liegt in der Kombination der beiden so gegensätzlichen Materialien: Das zerbrechliche, glatte und lichtdurchlässige Glas und der massive, oft roh belassene raue Beton.

Das Stichwort Beton führt uns zum „Pudels Kern“, denn bereits 20 Jahre nach Einbau der Verglasungen, stellten die Fachleute an vielen solcher Bauwerke die ersten Schäden fest. Die heute sichtbaren Folgen sind Absprengung des Betons, Deformation der Einzelelemente und zusammengesetzten Strukturen, Sprünge und Abplatzungen im Glas und im schlimmsten Fall der Verlust der Standsicherheit

der statischen Elemente. Doch spezielle Lösungsansätze für die Restaurierung dieser Betonglasfenster existieren nicht.

Damit ist das Arbeitsgebiet von Dipl.-Ing. Murat Ünal gefragt, er befasst sich mit der Entwicklung von Instandsetzungsmörteln und Korrosionsschutzmaßnahmen für denkmalgeschützte Betonverglasungen. Zusammen mit der Glasmalerei Otto Peters GmbH forschen die Expertinnen und Experten daran, Betonergänzungsmassen und Instandsetzungstechniken unter denkmalpflegerischen Vorgaben zu entwickeln. Denn: Betonglasfenster sind kunsthis-



torisch bedeutsame Kulturgüter unserer Gesellschaft. Finanziell unterstützt wird dieses Forschungsprojekt von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF).

Betonverglasungen bestehen vorwiegend aus in Form gegossenen, geschlagenen oder geschnittenen bis zu drei Zentimeter starken Dickglasstücken, auch „Dalle de verre“ oder Gussglas genannt. Statt traditionell durch Bleiruten gibt der Beton und Stahlbeton die Struktur gebende Verbindung zwischen den einzelnen Gläsern. In der Betonglasgusstechnik werden die Dickglasstücke nach künstlerischem Entwurf in einer Form positioniert, mit einer Stahlbewehrung umgeben und anschließend mit Beton umgossen. Entsprechend den statischen Erfordernissen erhalten die Felder einen Stahlrahmen oder sind aufgrund der angeordneten Bewehrung selbsttragend. Die so entstandenen Einzelfelder werden übereinander gesetzt und bilden dadurch den Fensterverschluss. Allen diesen Techniken ist jedoch gemein, dass vergleichsweise schlanke Betonbauteile mit nur geringen Schichtdicken und geringen Betonüberdeckungen der Bewehrung entstehen. Ein Problem, dem wir im nächsten Abschnitt näher auf den Grund gehen. Und noch ein weiteres Problem gibt es aus heutiger Sicht: Den Baumeistern fehlten zum Zeitpunkt der Herstellung der frühen Betongläser so manchen Kenntnisse über die Qualität der Rohstoffe und deren Leistungsfähigkeit. Auch ahnten sie wenig über das Schadenspotential dieses Gestaltungselements.

„Im ersten Schritt führten wir an ausgewählten Referenzobjekten zerstörungsfreie und zerstörende Bauwerksuntersuchungen durch. Die Schädigungsursachen und -mechanismen hängen eng mit den Wechselwirkungen zwischen Glas, Bewehrung und Beton zusammen. Daher bestimmten wir die mineralogischen, chemischen und mechanischen Materialkennwerte sowohl am Bauwerk als auch im Labor“, erklärt Ünal.

Obwohl Beton und Glas einen nahezu gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten haben, erwärmen sich verschieden farbige Gläser je nach Lichtintensität unterschiedlich und dehnen sich folglich auch unterschiedlich stark aus. Dies führt zu feinen Rissen im Beton, die wiederum die Wasseraufnahme erhöhen. Diese Wasseraufnahme und unterschiedliche Feuchtegehalte führen zum Quellen und Schwinden des Betons. Entsprechend der jeweiligen Festigkeitsverhältnisse und Krafteinleitungsbedingungen kann es so zu Rissen und Abplatzungen im Glas oder auch Beton kommen. Zusätzlich führt die natürliche Carbonatisierung, eine chemische Reaktion, die in jedem Beton bei Anwesenheit von Kohlendioxid und Feuchtigkeit abläuft, zu einem Absinken des alkalischen Milieus. Die Folge: Die Passivierungsschicht, die den Bewehrungsstahl im Beton dauerhaft vor Korrosion schützt, löst sich auf. An der Bewehrung bildet sich unter beträchtlicher Volumenzunahme Rost, was zu erheblichen Sprengdrücken auf die Verglasung aber auch auf die Gesamtheit der Tragstruktur führt.

Für die Laboruntersuchungen fertigte Ünal einen speziellen Prüfkörper mit geometrisch festgelegten Dickglaselementen an. Um die Verarbeitungseigenschaften und die Dauerhaftigkeit der entwickelten Betoneergänzungsmasse zu validieren, setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Prüfkörper in Anlehnung an die Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton unterschiedlichen Bewitterungsszenarien aus. Als Resultat stellten sie Mindestanforderungen für die Instandsetzung von Betonglasfenstern auf, optimierten die entwickelte Betoneergänzungsmasse und formulierten Anwenderrichtlinien. Und ihr Fazit: Auch wenn in der Denkmalpflege der Schutz und Erhalt der Originalsubstanz im Vordergrund stehen, müssen für eine dauerhafte Restaurierung die technischen Belange immer im Blick bleiben.

---

Anyone who has been in Berlin, knows the blue shining glass walls of the new Kaiser Wilhelm Memorial Church. The architect Egon Eiermann used concrete glass windows, an architectural style element, that had



*Stephanuskirche Buer in Gelsenkirchen – Probeentnahme durch Kernbohrung zur Zustandserfassung von „Dalle de verre“ Betonfenstern*  
*Stephanus Church Buer in Gelsenkirchen – Sample taking by core hole drilling for condition survey “Dalle de Verre” Concrete windows*



already been developed by the end of the 1920s, but was only used intensively after World War Two. The new Kaiser Wilhelm Memorial Church is of course only one of the many religious buildings that were built in Germany in the 50s and 60s and where the contemporary builders used concrete glass windows.

The special attraction is the combination of two contrasting materials: the fragile, smooth and translucent glass and the massive, often untreated, rough concrete.

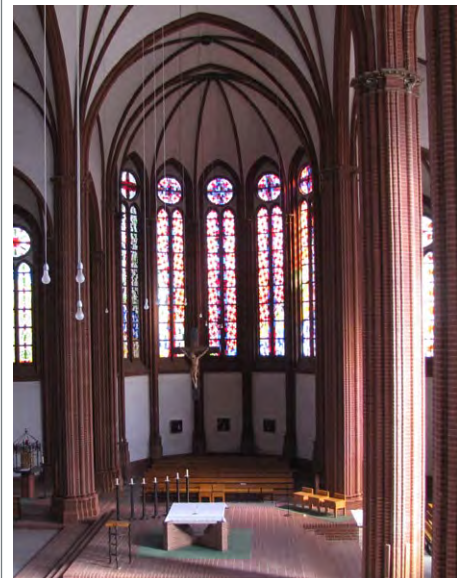
The term concrete leads us to the heart of the matter because experts found the first damage just 20 years after the glazing had been installed in many of these buildings. Visible consequences today are concrete spalling, deformation of individual elements and composite structures, cracks and flaking of the glass, and in the worst case, loss of stability of the static elements. But specific solutions for the restoration of concrete glass windows do not yet exist.

Thus the field of work of Murat Ünal is sought after: he deals with the development of repair mortars and

anti-corrosion measures for concrete glazing in protected monuments. Together with the Glasmalerei Otto Peters GmbH (stained glass), the experts are seeking to develop concrete repair materials and techniques within the specifications for protected monuments. Concrete glass windows are important cultural assets of our society in terms of art history. This research project received financial support from the German Federation of Industrial Research Associations.

Concrete glazing primarily consists of cast, beaten or cut glass pieces up to three centimetres thick. Experts call it "dalle de verre" or cast glass. Instead of traditional lead rods, concrete and reinforced concrete provide the structural connection between the individual glass pieces. In the concrete glass casting technique, the thick glass pieces are positioned in an artistically designed form, surrounded by steel reinforcement and then cast in concrete. In accordance with static requirements, the fields get a steel frame or are self-supporting due to the arrangement of the reinforcement. The resulting individual fields are placed one above the other, thereby forming the window structure. All such techniques

however, have in common the relatively lean concrete components that have only thin layer thickness and low concrete cover of the steel reinforcement. We will discuss the core of this problem in the next section. There is another problem from today's



*Heilig-Kreuz-Kirche Frankfurt/Oder – Innenansicht des Altarraums und der Apsis mit „Dalle de verre“ Betonfenstern  
Holy Cross Church Frankfurt/Oder – interior view of the chancel and the apsis with "glas slab" concrete windows*



#### KONTAKT/CONTACT

Dipl.-Ing. Murat Ünal

✉ Murat.Uenal@bam.de

7.4 Baustofftechnologie

7.4 Technology of

Construction Materials



*Heilig-Kreuz-Kirche Frankfurt/Oder – Betonglasfenster mit Bewehrungskorrosion, Betonabplatzungen und Glasbrüchen*  
*Holy Cross Church Frankfurt / Oder – “Dalle de Verre” with reinforcement corrosion, concrete spalling and broken glass*

perspective: the builders were missing some vital knowledge about the quality of raw materials and their performance in the early concrete glasses at the time of production. Also, they knew little about the damage potential of this design element.

“In the first step we carried out on selected reference objects by non-destructive and destructive structural tests. The cause and mechanisms of damage are closely related to the interactions between glass, reinforcement and concrete. Therefore, we determined the mineralogical, chemical and mechanical material parameters both in situ and in the laboratory”, says Ünal.

Although concrete and glass have almost equal coefficients of thermal expansion, differently coloured glasses heat up to different temperatures depending on light intensity and consequently, expand differently. This leads to small cracks in the concrete which in turn increases the uptake of water. This water uptake and different moisture content leads to swelling and shrinkage of the concrete. According to the respective strength ratios and applied forces, this can lead to cracks and flaking in the glass or concrete. In addition, natural carbonation,

a chemical reaction that occurs in concrete in the presence of carbon dioxide and moisture, leads to a reduction in the alkaline environment. As a result, the passivation layer that permanently protects the reinforcing steel against corrosion in concrete is dissolved. Rust is formed on the reinforcement with a considerable increase in volume, which leads to large pressures on the glazing and the supporting structures.

Ünal prepared a special test specimen with thick glass elements of specified geometry for laboratory tests. To validate the workability and durability of the concrete repair material the scientists exposed the specimen to different weathering scenarios based on the Directive “Protection and repair of concrete structures” of the German Committee for Reinforced Concrete. As a result, they established minimum standards for the repair of concrete glass windows, optimised the concrete repair material and drafted user guidelines. Their conclusion is that even if the protection and preservation of the monuments’ original substance is up front, the technical aspects always need to be considered to provide a permanent restoration.



*Aluminium: Molecule Men in Berlin-Treptow*

# WIE MAGNETE SCHWEISSNÄHTE VERBESSERN

---

## HOW MAGNETS CAN IMPROVE WELDS

Aluminiumlegierungen gehören neben Stahl zu den im Maschinenbau am häufigsten verwendeten Werkstoffen. Für innovative Baustrukturen in vielfältiger Formensprache aber auch in den klassischen Bereichen wie im Schiffsbau oder bei der Fertigung von Reaktorbehältern vom Kraftwerksbau bis zur Lebensmittelindustrie verwenden Ingenieure Aluminiumwerkstoffe.

Doch um diese großen Konstruktionen fertigen zu können, müssen die vorgefertigten Materialien in Form von handhabbaren Platten oder Rohren unlösbar miteinander verbunden werden: Sie müssen geschweißt werden – ein Vorgang, der durchaus sicherheitsrelevant ist. Denn: Versagt die Schweißverbindung, fällt häufig die gesamte Struktur aus.

Die Anforderungen an die Qualität von Schweißnähten sind daher sehr hoch. Besonders gilt das beim Hochleistungsschweißen mit dem Laserstrahl von Bauteilen mit einer Wandstärke von 20 mm und mehr. Bedingt durch die intensive Laserstrahlung schmilzt das Material nicht nur auf, sondern verdampft lokal. Dadurch bildet sich eine mit Metaldampf gefüllte Dampfkapillare aus. Mit der Vorschubgeschwindigkeit des Schweißprozesses bewegt sich diese Kavität dann durch das Material und wird dabei von flüssigem Metall umströmt. Ein hochkomplexer Prozess – und werden zudem noch hohe Einschweißstiefen gewünscht, ist die Metallschmelze kaum kontrollierbar. Die mögliche Folge: eine Schweißnaht in minderer Qualität.

Grund genug für jene Fachleute, die an der Fortentwicklung der Schweißtechnik beteiligt sind, sich mit der Schmelzbaddynamik zu beschäftigen. An der BAM sind das die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Fachbereich 9.3 Schweißtechnische Fertigungsverfahren. Sie befassen sich schon lange mit dieser Fügetechnik, mit ihren Prüfanlagen insbesondere für Nähte an dicken Blechen haben sie sich eine besondere Kompetenz erworben.

„Wir interessieren uns für die Dynamik im Schmelzbad, wodurch man sie beeinflussen kann, damit die Qualität der Schweißnaht gesteigert werden kann“, sagt Dr. Marcel Bachmann. „Magnete spielen hier eine große Rolle, denn die magnetischen Kräfte können beim Schweißen nutzbringend eingesetzt werden“, so Bachmann weiter.

Magnetische Kräfte – bei vielen von uns fixieren sie die Urlaubserinnerungen am Kühlschrank in der heimischen Küche – können auch als berührunglose Schmelzbadstütze (oszillierende Magnetfelder) oder als elektromagnetisches Bremsystem (statische Magnetfelder) für die Schmelze dienen. So verhindern sie das Austropfen von Schmelze bei Durchschweißungen oder mindern die Dynamik im Schmelzbad.

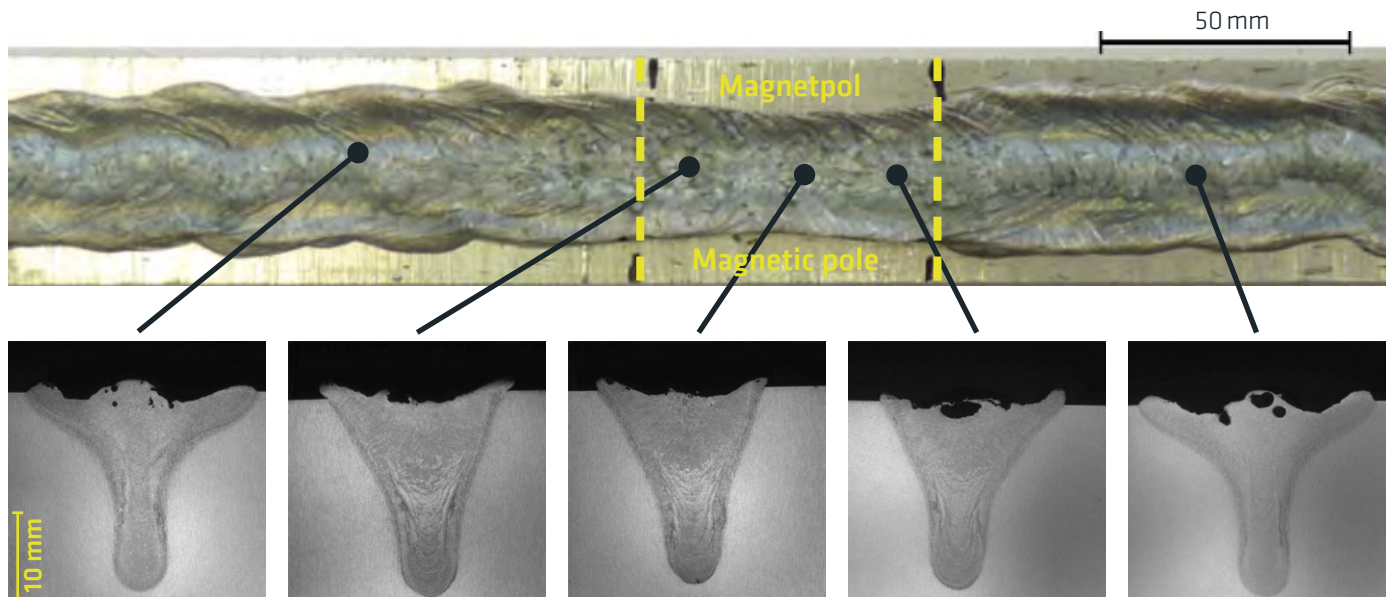
Kurz zum Wirkungsprinzip beim Laserstrahlschweißen von Metallen: Die flüssige Metallschmelze im Schweißbad unterliegt einer Reihe von Effekten, die sich auf das Strömungsfeld auswirken. Neben der Ausbildung der Dampfkapillare und dem damit verbundenen auf die Schmelze wirkenden Ablationsdruck gibt es weitere Effekte, die die Strömungsdynamik im Schmelzbad wesentlich beeinflussen können. Zum einen wird die Schmelze an den Oberflächen durch sogenannte Marangoni-Spannungen beschleunigt. Ursache für diesen Effekt ist die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung.

Zum anderen unterliegt die Schmelze der Gravitationskraft. Infolge der ebenfalls temperaturabhängigen Dichte des verflüssigten Metalls kommt es zur natürlichen Konvektion. Das Zusammenspiel der genannten Effekte kann zu Schmelzauswürfen oder Nahtunterwölbungen führen mit der Folge, dass die Bauteile nach dem Schweißprozess aufwändig mechanisch nachbearbeitet werden müssen. Und: Ungleichmäßige Schmelzbadgeometrien können Eigenspannungen begünstigen und so die Belastbarkeit geschweißter Bauteile mindern.

Doch wie wirken statische magnetische Felder auf Metallschmelzen? Liegen diese quer zur Schweißrichtung an, so wird durch die Bewegung des elektrisch leitfähigen Flüssigmetalls senkrecht zu diesen magnetischen Feldlinien eine elektrische Stromdichte induziert (verallgemeinertes Ohm'sches Gesetz). Das Zusammenwirken des angelegten Magnetfeldes mit der induzierten elektrischen Stromdichte bildet eine Lorentzkraft-Verteilung im Schmelzbad, die unter anderem von der Geometrie des Werkstücks sowie der lokalen Geschwindigkeitsverteilung der Schmelze abhängt. Die im Schmelzbad wirkende Kraft kann als ein dreidimensionaler Vektor beschrieben werden, dessen räumliche Komponenten lokal der ursprünglichen Bewegungsrichtung entgegengerichtet sind. Man spricht vom sogenannten Hartmann-Effekt, den man sich als eine zusätzliche Viskosität vorstellen kann, verursacht durch die elektromagnetischen Kräfte.

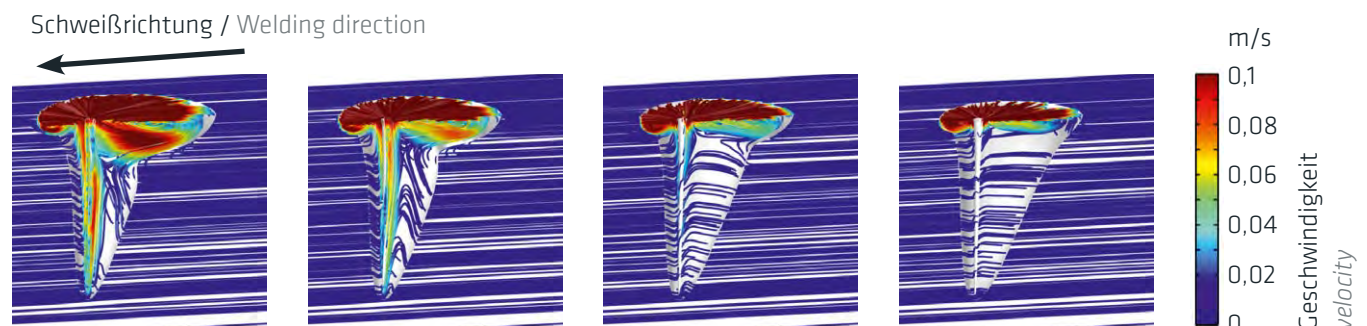
So können Magnetfelder die Strömungsgeschwindigkeiten und das Turbulenzintensitätsniveau im Schmelzbad signifikant reduzieren. Die entstehenden Schweißnähte haben dadurch eine deutlich ebenere Nahtoberfläche. Und noch einen positiven Effekt gibt es: Mit dieser Methode wird eine größere Einschweißtiefe erreicht. Denn die eingebrachte Energie wird verstärkt in die Tiefe transportiert, anstatt an der Oberfläche durch Konvektion seitlich abtransportiert zu werden. Die erzielten Nähte haben im Querschnitt eine V-förmige Geometrie, die eine gleichförmige Erstarrung des Schweißguts begünstigt.

Also: Alle Fragen geklärt? So manche. An einem Schmelzbad einer Aluminium-Legierung  $AlMg_3$  untersuchten Bachmann und seine Kolleginnen und Kollegen dessen Dynamik unter der Wirkung von Permanentmagneten. Ihre Vorhersagen der numerischen Simulation stimmten mit den experimentellen Ergebnissen, die sie mit einem 16-kW-Scheibenlaser erzielten, hervorragend überein.



Schweißnahtoberfläche und ausgewählte Querschliffe vor, im Bereich des applizierten 0,5 T Magneten und dahinter. Die Schweißgeschwindigkeit beträgt 0,5 m/min bei einer Laserleistung von 16 kW.

Weld surface and selected cross-sections before, in the area of and behind a 0.5 T magnet applied. Welding speed is 0.5 m/min. at 16 kW laser power.



Visualisierung der berechneten dreidimensionalen Geschwindigkeitsstromlinien im Schmelzbad für verschiedene applizierte Magnetfeldstärken. Die Schweißgeschwindigkeit beträgt 0,5 m/min.

Visualisation of calculated three-dimensional velocity streamlines in the weld pool for various magnetic field strengths applied. Welding speed is 0.5 m/min.

Apart from steel, aluminium alloys are the materials most commonly used in mechanical engineering. Engineers use aluminium materials in a variety of forms for innovative building structures and in traditional areas such as ship building, construction of reactor vessels for power plants and in the food industry.

However, building these large structures requires the prefabricated materials in the form of plates or pipes to be inseparably connected to each other, so they must be welded – a safety-relevant process. If a single

weld fails, the entire structure is quite often prone to failure.

Standards in weld quality are therefore particularly demanding. This, in particular, applies to high-power laser beam welding of components with wall thicknesses of 20 mm or more. Not only is the material locally molten due to the intense laser radiation, but it also evaporates. As a result, a capillary filled with metal vapour is created, which then moves through the material at the feed rate of the welding process and molten metal flows around it. This is an

extremely complex process – and if large welding depths are required, the molten metal is barely controllable. The possible result is a weld of inferior quality.

This is sufficient reason for the experts participating in the development of welding technology to deal with weld pool dynamics. At BAM, they are the scientists from Division 9.3 Welding Technology. They have dealt with this joining technology for a long time, and their test facilities enabled them to gain a special expertise, particularly for welding thick sheets.

“We are interested in weld pool dynamics, especially in how we can influence it so that weld quality is improved”, says Dr. Marcel Bachmann. “Magnets play an important role because magnetic forces can have advantageous effects in welding”, explains Bachmann.

Magnetic forces – they recall holiday memories on the kitchen refrigerator at home for many of us – can serve as a contact-free weld pool support (oscillating magnetic fields) or as an electromagnetic brake system (static magnetic fields) for the molten material. They can prevent the melt from dripping out during full-penetration welding or smooth the dynamics in weld pools.

Let’s look at the physical principles of laser beam welding of metals. The liquid molten metal in the weld pool is subject to a number of effects that influence the flow field. In addition to creating the vapour capillary and the associated ablation pressure acting on the molten material, there are other effects that can significantly affect weld pool flow dynamics. First, the molten material is accelerated by the Marangoni stresses at the surfaces. The cause of this effect is the temperature dependence of surface tension. Second, the molten material is subject to gravitational force. Also, because of the temperature-dependent density of the liquefied metal, it is subject to natural convection. The interaction of these effects can lead to melt ejection or weld bead undercut with the result that the parts have to be re-machined after the welding process at high cost. Uneven weld pool geometry can encourage residual stresses and thus reduce the load capacity of welded components.

But how do static magnetic fields act on molten metals? If these lie transversely to the weld direction, an electric current density will be induced by the movement of the electrically conductive liquid metal perpendicular to the magnetic field lines (generalised Ohm’s law). The interaction of the applied magnetic field with the induced electric current density forms a Lorentz force distribution in the weld pool, which depends on the geometry of the workpiece and the local velocity distribution of the melt. The force acting in the weld pool can be described as a three dimensional vector whose spatial components are locally directed opposite to the original direction of motion. One speaks of the Hartmann effect, which can be thought of as an additional viscosity, caused by the electromagnetic forces.

So magnetic fields can significantly reduce flow velocities and the turbulence intensity level in the weld pool. The resulting welds have a much smoother weld surface. And there is another positive effect: Using this method, a greater penetration depth can be achieved. The input energy is increasingly transported into the depth instead of being laterally transported by convection on the surface. The welds produced have a V-shaped geometry over the cross-section that favours uniform solidification of the weld metal.

So: have all questions been clarified? Quite a few. Bachmann and his colleagues investigated weld pool dynamics under the influence of permanent magnets in a weld pool of an AlMg<sub>3</sub> aluminium alloy. Their computer simulation predictions stood in excellent agreement with the experimental results they obtained with a 16 kW disk laser.

#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Marcel Bachmann

✉ Marcel.Bachmann@bam.de

9.3 Schweißtechnische

Fertigungsverfahren

9.3 Welding Technology









**ANALYTICAL SCIENCES**

---

**ANALYTICAL SCIENCES**

# THEMENFELD ANALYTICAL SCIENCES

---

## FOCUS AREA ANALYTICAL SCIENCES



*Erdbeeren oder Blaubeeren? Was wirklich drin steckt, erfährt man erst nach deren Analyse.*

*Strawberries or blueberries? We can only find out what's really inside after analysing them.*

Die Naturwissenschaften überschneiden sich oft, daher sind ganzheitliche Betrachtungsweisen gefragt. „Analytical Sciences“ lautet denn auch ein wichtiges Themenfeld an der BAM, das als Schnittstelle zwischen Chemie, Physik, Biologie und den Materialwissenschaften dient, um ebenso grundlegende wie anwendungsbezogene Probleme zu lösen. Strategien, Methoden und Instrumente werden hier entwickelt, um Informationen über die Zusammensetzung und die Natur von Materie in Raum und Zeit zu erhalten. Verlässliche analytische Daten, die letztlich auch für gesellschaftliche Diskussionen vonnöten sind, um die Auswirkung von technischen Entwicklungen für das zukünftige Leben, auch auf mögliche soziale und politische Konflikte hin, abschätzen zu können. Ein Querschnittsthema also, das Grundlagen für darauf fußende Forschungen schafft, etwa für die Sicherheit von Produkten und Prozessen (Risikoabschätzung und -steuerung) für die Nanotechnik und die Lebenswissenschaften.

#### **SCHWERPUNKTE AKTUELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG**

Erkenntnisse, die nur gewonnen werden können, wenn die Analytik und die Metrologie (Messkunde) die Grundlagen geschaffen, zuverlässige Methoden für die Materialanalytik entwickelt und bewertet haben. Darauf bauen nicht nur Normen auf, sondern auch Referenzmaterialien, genau definierte und zertifizierte Stoffe, an denen sich Labore und Hersteller orientieren können. Durch die Entwicklung neuer Kalibrier- und Standardisierungskonzepte trägt die BAM überdies bereits seit Jahrzehnten zur Qualitätssicherung in Wirtschaft und Gesellschaft bei. Mehr noch: Es sind diese präzisen physikalischen, chemischen, biochemischen und ingenieurwissenschaftlichen Messungen, mit deren Hilfe die Analytical Sciences zum Kern ihrer Aufgabe gelangen – die Stoff- und Systemeigenschaften sowie Wechselwirkungen und Reaktionsmechanismen zwischen Stoffen, Materialien, Komponenten und der Umgebung zu ermitteln und zu beschreiben. Ziel ist es, dies selbst in realen Zusammenhängen und in Echtzeit zu ermöglichen.

The branches of science often overlap; therefore an holistic approach is needed. “Analytical sciences” is also an important topic at BAM, which serves as an interface between chemistry, physics, biology and materials science to solve both basic and applied problems. Strategies, methods and tools are developed to obtain information on the composition and nature of matter in space and time. They are also aimed at estimating reliable analytical data that are ultimately necessary for social discussion about the impact of technological developments on future life, even with regard to possible social and political conflicts. It is a cross-sectional topic that creates the basis for the research about the safety of products and processes (risk assessment and management) for nanotechnology and life sciences.

#### **MAIN FOCUS OF CURRENT RESEARCH AND DEVELOPMENT**

Insights that can only be obtained if analysis and metrology (science of measurement) have laid the foundations, developed and evaluated reliable methods for material analysis. Then not only standards build on it, but also reference materials, i.e. precisely defined and certified substances, at which laboratories and manufacturers can orient. By developing new calibration and standardisation concepts BAM has contributed to quality assurance in industry and society for decades. Even more: there are precise physical, chemical, biochemical and engineering measurements, with whose help analytical sciences get to the heart of their task – determining and describing the materials and systems properties and interactions and response mechanisms between substances, materials, components and the environment. The aim is to make this possible, even in real contexts and in real time.



# CHEMISCHE REAKTIONEN IM MÖRSE

---

## CHEMICAL REACTIONS IN A MORTAR

Zwei Pulver in den Mörser, kurz miteinander vermahlen, fertig ist eine neue Substanz. So einfach kann eine chemische Synthese sein. Auf Glasgefäße und lange Kochzeiten kann man bei diesen Reaktionen verzichten. Was genau bei diesen Reaktionen geschieht, lässt sich allerdings schwer messen und noch schwieriger vorhersagen.

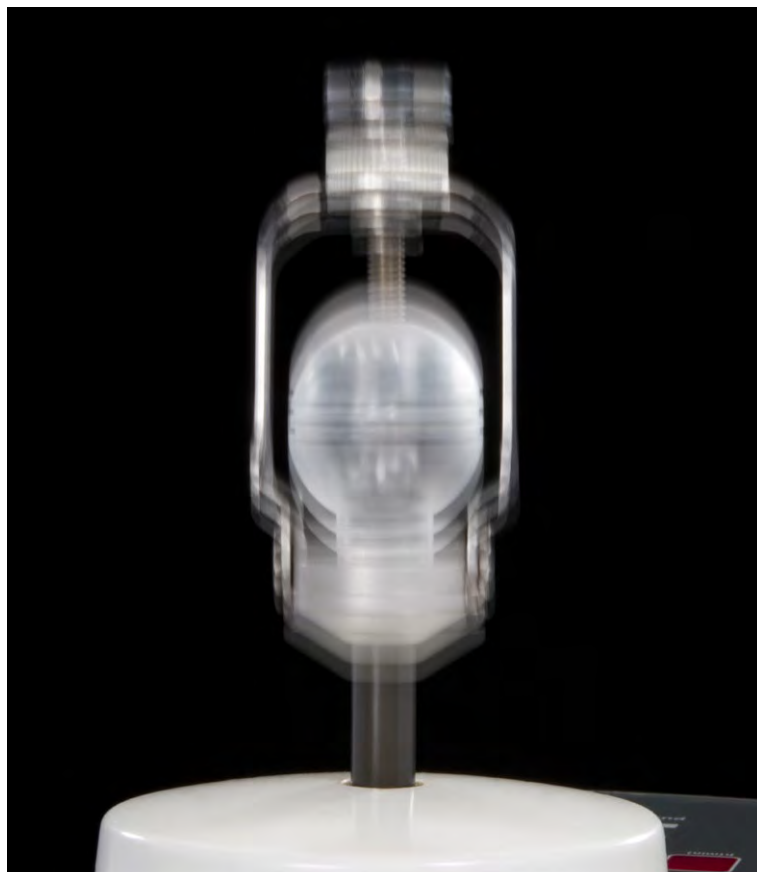
Mechanochemie nennen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dieses chemische Verhalten. Sie umfasst alle chemischen Reaktionen von Feststoffen, die durch mechanische Einwirkung gestartet werden. Die Mechanochemie ermöglicht es, neue Verbindungen durch die Energie, die beim Vermahlen von Pulvern frei wird, herzustellen. Arbeitet man in der synthetischen Chemie sonst üblicherweise mit großen Lösungsmittelmengen und teilweise

komplexen experimentellen Aufbauten, so kommt die Mechanochemie im einfachsten Fall mit Mörser und Pistill oder als moderne Variante mit kleinen Kugel- oder Schwingmühlen aus. Letztere sind für die Probenzerkleinerung in fast jedem Labor zu finden. Die Methode wurde bereits im 3. Jahrhundert vor unsere Zeitrechnung eingesetzt. So wurde beispielsweise die Bildung von Quecksilber beim Zerstoßen von Zinnober in einem kupfernen Mörser berichtet. Wilhelm Ostwald beschrieb die Mechanochemie als vierte Möglichkeit zur Indizierung von chemischen Reaktionen, neben der Elektro-, Thermo- und Photochemie. Und auch Faraday wird mitunter als Pionier genannt, der bereits 1827 den beschleunigten Wasserverlust kristalliner Hydrate durch Mörsern beschrieb.

Bedeutung als Synthesemethode gewann die Mechanochemie allerdings erst in den vergangenen vierzig Jahren. Aktuell wird die Methode aufgrund der einfachen, zeitsparenden Versuchsdurchführung und der meist quantitativen Umsetzung in zunehmendem Maße zur Synthese unterschiedlicher Stoffklassen eingesetzt. Bei der Synthese weitestgehend auf Lösungsmittel verzichten zu können – Stichwort green chemistry, ist ein weiterer Vorteil dieser Methode. Doch wie läuft die Reaktion auf molekularer Ebene ab?

Mit einem Experiment am BAM-eigenen Messplatz bei BESSY II, dem Berliner Elektronenspeicherring für Synchrotronstrahlung am Helmholtz-Zentrum Berlin, ist es Forscherinnen und Forschern aus der BAM gelungen, neue Einblicke in mechanochemische Reaktionen zu erhalten. Dazu kombinierten sie zwei Messverfahren: Röntgenbeugung mit Raman-Spektroskopie. „Für den Versuchsaufbau haben wir gemeinsam mit den Kolleginnen und Kollegen in unserer Werkstatt spezielle Mahlbecher entwickelt. Sie müssen transparent sein, um den Raman-Laser durchzulassen. Die Lösung sind Becher aus speziell behandeltem Plexiglas“, erklärt Dr. Franziska Emmerling. „Die im Hause gefertigten Becher haben wir in kommerzielle Kugelmühlen eingebaut. Die Größe des Mahlbeckers entspricht in etwa einem Überraschungsei. Ein bis zwei Gramm Pulver zusammen mit zwei Stahlkugeln geben wir in die Mahlbecher. Gut verschlossen werden sie dann kräftig geschüttelt“ ergänzt Emmerling. Sie leitet den BAM-Fachbereich 1.3 Strukturanalytik.

Die mechanische Beanspruchung von Feststoffen bewirkt Strukturveränderungen wie Amorphisierung, Phasenumwandlungen oder die Bildung neuer Oberflächen. Was bei der mechanischen Auslösung dieser Reaktionen chemisch abläuft, versuchen

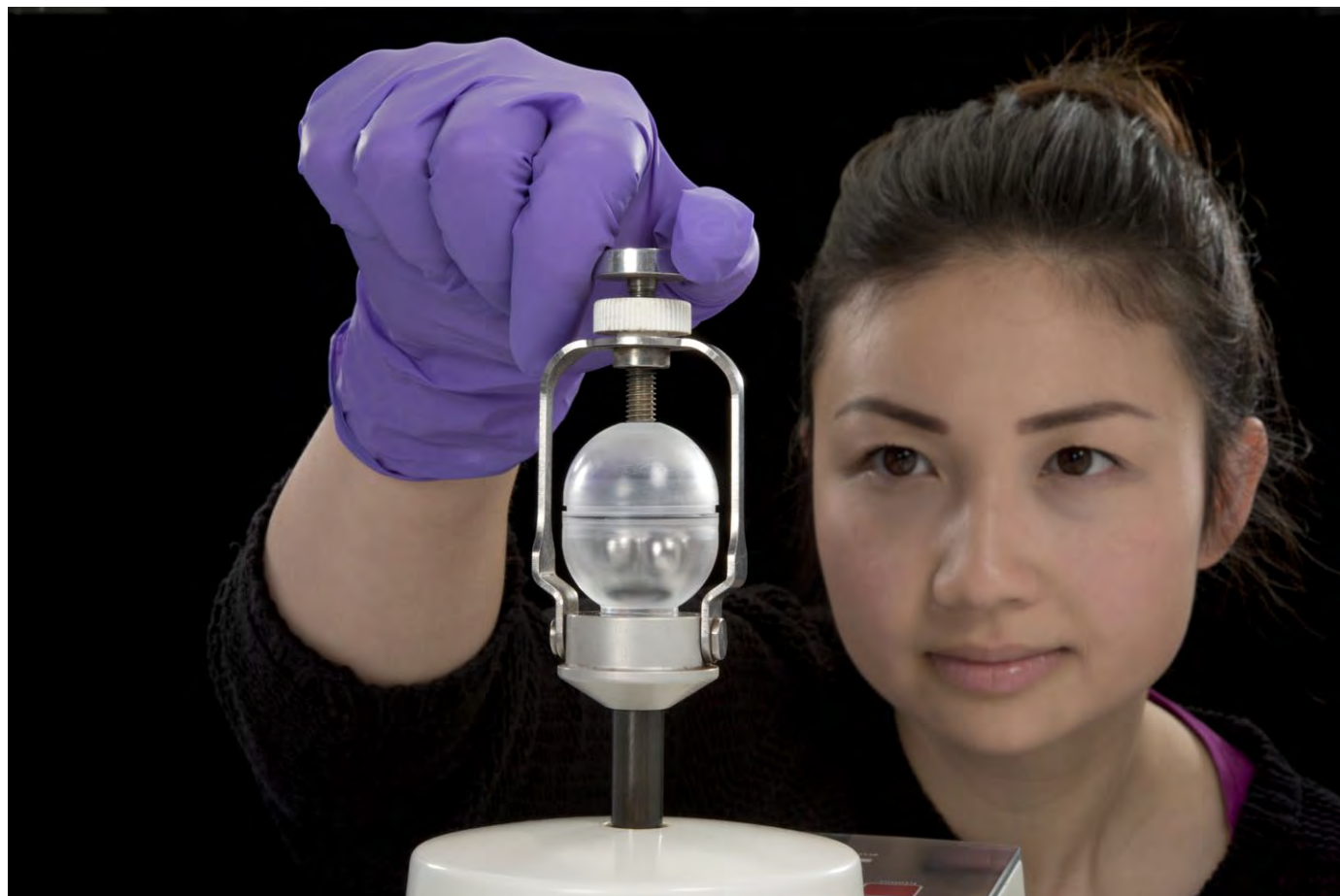


*Mahlbecher in der Kugelmühle  
Grinding bowl in the ball mill*

die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit verschiedenen theoretischen Modellen zu erklären. Vorhersagen, ob und wie eine mechanochemische Reaktion abläuft, sind freilich noch nicht möglich. Dazu fehlen detaillierte mechanistische Untersuchungen, weil es bislang nicht möglich war, die Reaktionen direkt (in-situ) zu verfolgen.

Mit ihrem Versuchsaufbau können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diese Reaktionen nun genau untersuchen. Ihre Ergebnisse zeigen deutlich die Vorteile der Kombination aus Röntgen-Pulverdiffraktometrie und Ramanspektroskopie. Mit den beiden sich ergänzenden Methoden erhalten sie sowohl Einblicke auf die kristalline und molekulare Ebene als auch Informationen über den Ablauf der Reaktionen. Für Modellverbindungen und etliche neue Reaktionen konnten sie so die Zwischenstufen und den Mechanismus aufklären.

Mit diesem Wissen können mechanochemische Reaktionen gezielt gesteuert werden: Ein wichtiger Schritt, um damit spezifische Verbindungen herzustellen.



Put two powders in a mortar, mill them together and the new substance is ready. A chemical synthesis can be as easy as that. Glass vessels and long reaction times can be dispensed with in these reactions. However, it is difficult to measure and even more difficult to predict what exactly happens in these reactions.

Scientists call this chemical behaviour mechanochemistry. It covers all chemical reactions in solids that are started by mechanical action. Mechanochemistry aids the manufacture of new compounds using the energy released during the grinding of powders. While one usually works with large amounts of solvents and sometimes, complex experimental set-ups in synthetic chemistry, mechanochemistry in the simplest case, manages with a pestle and mortar or as in modern versions, with small ball or vibration mills. The latter are readily available and are used for sample size reduction in many laboratories. Mechanochemistry was used in the 3rd century B.C., well before our era, in the formation of mercury during the crushing of cinnabar in a copper mortar for example. In addition to electrical, thermal and photochemistry, Wilhelm Ostwald describes mechanochemistry as the fourth possibility for initiating chemical reac-

tions. And Faraday is sometimes referred to as a pioneer who described the accelerated water loss of crystalline hydrates by using mortars in 1827.

However, mechanochemistry only gained importance as a synthesis method in the last forty years. Currently, the method is increasingly being used for the synthesis of different classes of substances because of the simple, time-saving procedure and the usually quantitative implementation. Another advantage is that the synthesis can largely refrain from the use of solvents – good for green chemistry. But how does the reaction proceed at the molecular level?

BAM researchers managed to gain new insights into mechanochemical reactions in an experiment at BAM's own measuring station at BESSY II, the Berlin Electron Storage Ring for Synchrotron Radiation at the Berlin Helmholtz Centre. For this purpose, they combined two measurement methods: X-ray diffractometry with Raman spectroscopy. "Our colleagues in the workshop and us have developed a special grinding bowl for the experimental set-up. It had to be transparent to let the Raman laser pass through, and we solved the problem by preparing bowls of specially treated

perspex”, explains Dr. Franziska Emmerling. “We have built the home-made bowls into commercial ball mills. The size of the grinding bowl is similar to that of a surprise egg. We put one to two grams of powder along with two steel balls into the grinding bowl. They were then sealed well and shaken vigorously”, adds Emmerling, head of BAM Division 1.3 Structure Analysis.

Mechanical loads on solids causes structural changes such as amorphisation, phase transitions or the formation of new surfaces. Scientists try to explain the chemical processes at the mechanical triggering of these reactions with various theoretical models. It is of course not yet possible to predict whether and how a mechanochemical reaction proceeds. Detailed mechanistic knowledge is still missing for this because it has so far not been possible to monitor the reactions directly (in-situ).

Scientists can now accurately study these reactions in the experimental set-up. Their results clearly show the advantages of the combination of X-ray powder diffractometry and Raman spectroscopy. The two complementary methods help scientists get an insight both at the crystalline and molecular levels as well as obtain information about the progress of the reactions. Thus it was possible to clear up the intermediate stages and the mechanism for model compounds and a number of new reactions.

Knowing this, mechanochemical reactions can be controlled in a targeted way – an important step towards producing specific compounds.



#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Franziska Emmerling

✉ [Franziska.Emmerling@bam.de](mailto:Franziska.Emmerling@bam.de)

1.3 Strukturanalytik

1.3 Structure Analysis





# FLÜSSIGE ALLESKÖNNER MIT GROSSEM POTENTIAL

---

## LIQUID ALL-ROUNDERS WITH GREAT POTENTIAL

Ionische Flüssigkeiten: Sie lassen sich nach dem Baukastensystem entsprechend ihrer Anforderungen aus organischen Kationen und organischen oder anorganischen Anionen zusammenstellen. Sie sind bei Temperaturen von unter 100 °C flüssig, ohne dass sie dabei in einem Lösungsmittel wie Wasser gelöst sind. Sie haben einen kaum messbaren Dampfdruck und besitzen aufgrund ihres rein ionischen Aufbaus interessante physikalisch-chemische Eigenschaften. Kurzum: Sie werden für spezifische Probleme maßgeschneidert, weshalb diese Lösungsmittel oftmals auch als „Designer Solvents“ bezeichnet werden.

Werden wir nun oberflächlich. Das Wissen, wie Oberflächen oder Grenzflächen von Materialien beschaffen sind, wird immer wichtiger, ob in der Medizin oder Halbleiterindustrie. Es kann Antwort geben darüber, warum ein Prozess gut oder weniger gut funktioniert. Diesen Unterschied zwischen gut und weniger gut gilt es qualitativ (was ist vorhanden) und quantitativ (wie viel ist davon vorhanden) genau zu bestimmen und folglich zu verstehen, wenn man das Material für seinen Einsatz optimal (weiter)entwickeln möchte. Dafür stehen der Oberflächenanalyse verschiedene Verfahren und Geräte zur Verfügung. Doch sind deren Messergeb-



nisse ohne weiteres vergleichbar? Und: Wie genau sind die Messergebnisse und daraus abgeleitet deren Gültigkeit?

Fragen, zu deren Beantwortung geeignete Referenzmaterialien erforderlich sind. Weit gefehlt, wer annimmt, dass, vorangetrieben vor allem durch die Halbleiterindustrie, genügend zertifizierte Referenzmaterialien in der Oberflächenanalytik vorhanden wären – sie basieren alle auf anorganischen Verbindungen. Doch der Trend geht zu organischen Materialien mit für eine bestimmte Funktion entscheidenden Oberflächen, Grenzflächen und dünnen Schichten. Man denke da nur an organische Leuchtdioden für Bildschirme von TV-Geräten oder Mobiltelefonen.

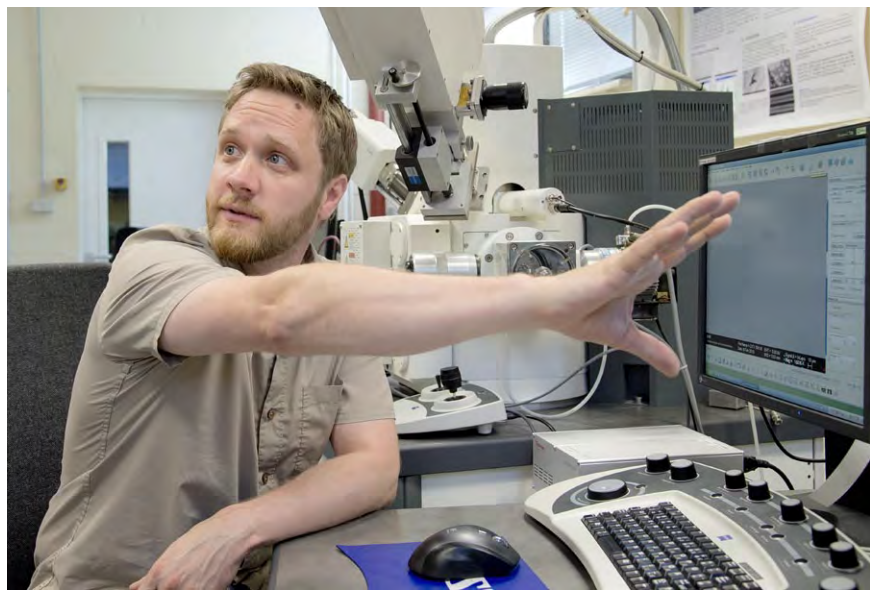
„Ein völlig neuer Zugang, um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist die Verwendung von ionischen Flüssigkeiten als Referenzmaterial. Ionische Flüssigkeiten bieten viele Vorteile: Weil sie quasi nicht verdampfen, setzen wir sie im Ultrahochvakuum ein. Auch können wir sie in hoher Reinheit einfach herstellen und ihre Elementzusammensetzung leicht variieren“, erklärt Dr. Markus Holzweber.

Der Wissenschaftler forscht derzeit in der BAM daran, ob ionischen Flüssigkeiten als Referenzmaterial für die Photoelektronenspektroskopie (XPS) und die energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) verwendet werden können. Zur Kalibrierung dieser Messinstrumente werden der Norm entsprechend mehrere reine Edelmetalle, wie Gold, Silber und Kupfer nacheinander gemessen. Das ist vor allem zeitlich ein relativ hoher Aufwand, da die Oberfläche dieser Edelmetalle vor der Kalibrierung entsprechend behandelt werden muss. Ionische Flüssigkeiten als Multielement-Referenzmaterialien könnten hier viel Zeit und Geld sparen: Die flüssigen Oberflächen müssen nicht behandelt werden und für die notwendige Kalibrierung ist nur eine Messung erforderlich.

Und noch mehr Vorteile gibt es: Bei XPS lässt sich damit auch die Genauigkeit erhöhen, mit der die typischen Elemente in der organischen Chemie, also Kohlenstoff, Fluor, Stickstoff, Sauerstoff oder Schwefel, quantitativ bestimmt werden. Bei der weit verbreiteten Analysemethode EDX sind vor allem die leichten Elemente im zu analysierenden Material interessant, wie Bor, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Fluor. Hier lässt sich mit Hilfe ionischer Flüssigkeiten die X-Achse (Energieskala eines EDX-Spektrums) effizient kalibrieren. Und die vorhandenen mathematisch-physikalischen Modelle zur Bestimmung der Elementkonzentration

im Energiebereich unter 1 keV können verfeinert werden.

Weiter: Auch die Analyse von Kunststoffen kann mit ionischen Flüssigkeiten verbessert werden. Kunststoffe spielen in unserem Alltag eine wichtige Rolle. Sie sind technisch leicht und in großen Mengen herstellbar und weisen vielfältige Eigenschaften auf. Ein Parameter, der ganz wesentlich zu deren vielfältigen Anwendung beiträgt, ist die Molmasse und die Breite der Molmassenverteilung, oder anders ausgedrückt: Die Länge der Kunststoffketten und die Anzahl von Ketten mit unterschiedlicher Länge. Immerhin hängt davon die spezielle Eigenschaft des Kunststoffs ab. Und hier sind wir beim Arbeitsgebiet von Dr. Steffen Weidner. Weidner forscht in der BAM an einer Methode, diese Kenngröße mit hoher Genauigkeit bestimmen zu können. Dazu nutzt er die MALDI-TOF-Massenspektrometrie, die Matrix-unterstützte Laser-Desorption/Ionisation (MALDI) gekoppelt mit einem Massenspektrometer mit Flugzeitanalysator (TOF, engl.: time of flight).



*EDX zur Analyse der Elementkonzentration  
EDX analysis of the elemental concentration*

Für die Analyse werden die Kunststoffe zunächst in einem Lösungsmittel gelöst und mit einer weiteren speziellen chemischen Verbindung versetzt. Matrix wird diese Verbindung genannt. Sie ist lediglich ein Hilfsmittel und wird selber nicht analysiert. Soll sie doch nur den heißen, sprich energiereichen Blick des zur Analyse benötigten Lasers möglichst schonend auf die Kunststoffmoleküle übertragen.

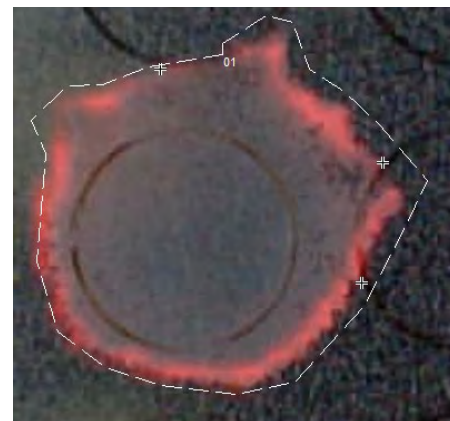
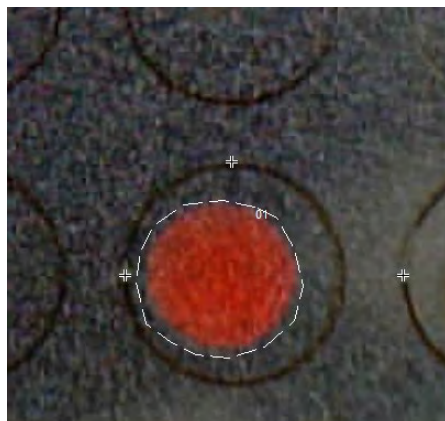
Für die Richtigkeit des Ergebnisses ist nun entscheidend, dass die flüssige Mischung aus Matrix und Kunststoffen möglichst gleich verteilt, homogen ist.

Andernfalls erhalten die Wissenschaftler an verschiedenen Stellen der Probe unterschiedliche Ergebnisse.

„Als Matrix nutzen wir ionische Flüssigkeiten. Wir können sie schnell und problemlos chemisch verändern, um so Entmischungen oder Inhomogenitäten zu verhindern“, sagt Weidner. Und noch einen Vorteil haben diese ILM, Ionic Liquid Matrices: Ihre hohe Vakuumstabilität und extrem hohe Viskosität führen dazu, dass die Moleküle in der Probe quasi eingefroren und damit nicht länger beweglich sind – die Probe bleibt somit homogen. Das konnten die Wissenschaftler mit dem bildgebenden Verfahren (MALDI-Imaging) nachweisen.

Ionic liquids: they can be compiled according to the modular system with respect to their requirements from organic cations and organic or inorganic anions. They are mostly liquid at temperatures below 100 °C without being dissolved in a solvent such as water. Due to their purely ionic structure they have interesting physicochemical properties such as a barely measurable vapour pressure. In short, they are tailored for specific problems, which is why these solvents are often referred to as ‘designer solvents’.

Let us now be ‘superficial’. The knowledge of the material surface or interface composition is becoming increasingly important for many industries, for instance in medicine and semiconductor industry. This is inevitable to understand why a process works well or less well. This difference between good and not so good must be determined exactly and understood in a qualitative way (what is available) and in a quantitative way (how much of it is available). This is crucial when one wants to optimally (further) develop a material for its special purpose. Various methods and devices can be employed for surface analysis. But are their measurement results easily comparable? And how



Verteilung eines PMMA (Plexiglas) Polymers in einem Probenspot mit konventioneller Matrix (links) und mit einer ionischen Matrix (rechts)

Distribution of a PMMA (perspex) polymer in a sample spot with conventional matrix (left) and with an ionic matrix (right)

accurate are the resulting test results and their validity?

These are all questions whose answers require appropriate reference materials. Nevertheless, it would be wrong to assume that, driven mainly by the semiconductor industry, sufficient certified reference materials are available for surface analysis – they are all based on inorganic compounds. But the trend is towards organic materials with surfaces, interfaces and thin films crucial for a particular function. One need only to think of organic light emitting diodes used for TV screens or mobile phones.

“An entirely new approach to meet these challenges is the use of ionic liquids as reference materials. Ionic liquids offer many advantages: because they virtually do not evaporate, we can use them in an ultrahigh vacuum. Also, we can easily produce them in high purity and easily vary their elemental composition”, explains Dr. Markus Holzweber.

BAM scientists are currently performing research as to whether ionic liquids can be used as reference materials for photoelectron spectroscopy (XPS) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Usually, several pure precious metals such as gold, silver and copper are measured



#### KONTAKT/CONTACT

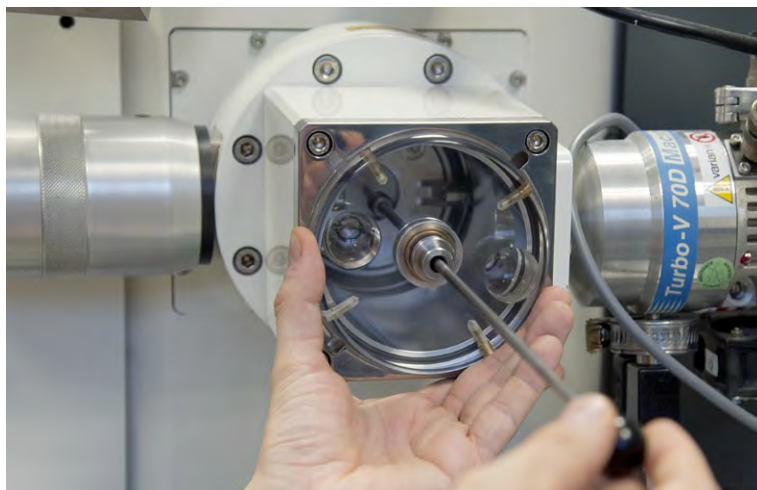
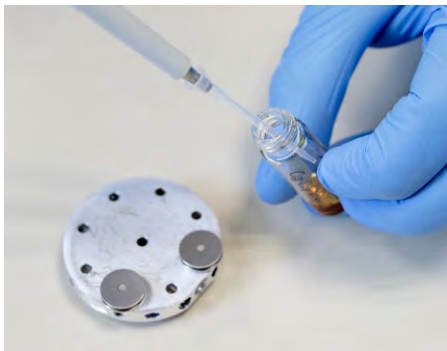
Dr. Steffen Weidner

✉ [Steffen.Weidner@bam.de](mailto:Steffen.Weidner@bam.de)

1.3 Strukturanalytik

1.3 Structure Analysis

sequentially in accordance with the ISO-standard to calibrate these measuring instruments. This is extremely time consuming, since the surface of pure metals must be treated accordingly prior to calibration. Ionic liquids as multi-element reference materials could save a lot of time and money: the liquid surfaces do not



require a special treatment and only one measurement is required for the necessary calibration.

And there are even more benefits: the accuracy of XPS quantification can also be increased for typical elements such as carbon, fluorine, nitrogen,

oxygen or sulphur in organic chemistry. Especially light elements such as boron, carbon, nitrogen, oxygen and fluorine in the material to be analysed are of interest for the widespread EDX analysis method. Herein, ionic liquids can be used for regular instrument performance checks according to the ISO-standard and the X-axis (energy scale of an EDX spectrum) can be efficiently calibrated as well. And the available mathematical-physical models for determining the elemental concentration in the energy range below 1 keV can be refined.

Next: analysis of plastics can also be improved using ionic liquids. Plastics play an important role in our daily lives. They are technically easy to produce in large quantities and have diverse properties. Their molecular mass and the width of molecular mass distribution, or in other words the length of the plastic chains and the number of chains of different lengths, is a parameter that significantly contributes to the large number of their applications. After all, the specific characteristic of the plastic depends on this. And here we are at Dr. Steffen Weidner's work area. The BAM scientist delves into a method to determine this parameter with high accuracy. For this, he uses MALDI-TOF mass spectrometry, matrix-assisted laser desorption/ionisation (MAL-

DI) coupled with a mass spectrometer with time of flight analyser (TOF).

For the analysis, the plastics are first dissolved in a solvent and mixed with another specific chemical compound. Experts call this compound a matrix. It is merely a tool and is not analysed itself. Its only task is to transmit the hot, i.e. energy-rich radiation of the laser needed for the analysis as gently as possible onto the plastic molecules.

It is now crucial for the accuracy of the result that the liquid mixture of the matrix and plastics is distributed as equally as possible and dries homogeneously. Otherwise, scientists obtain different results at different points of the sample.

“We use ionic liquids as a matrix. We can synthesise them quickly and easily to prevent segregation or inhomogeneities”, says Weidner. These ILMs (ionic liquid matrices), have another advantage: their high vacuum stability and extremely high viscosity quasi freeze the molecules in the sample and make them immobile – thus the sample remains homogeneous. The scientists were able to prove this using the MALDI imaging technique.



#### KONTAKT/CONTACT

Dr. Markus Holzweber

✉ [Markus.Holzweber@bam.de](mailto:Markus.Holzweber@bam.de)

6.8 Oberflächenanalytik und Grenzflächenchemie

6.8 Surface Analysis and Interfacial Chemistry



**WICHTIGE ZAHLEN BEDACHT**

**KEY FIGURES COVERED**



**PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE | PUBLICATIONS AND PRESENTATIONS: 1800**

**LEHRAUFTRÄGE UND PROFESSUREN | TEACHING POSITIONS: 150**

**PATENTE | PATENTS: 32**

**MITARBEITER | STAFF: 1637**

**DOKTORANDEN | PH.D. STUDENTS: 126**

**AUSZUBILDENDE | TRAINEES: 65**

**ETAT | BUDGET: 142 MIO €**

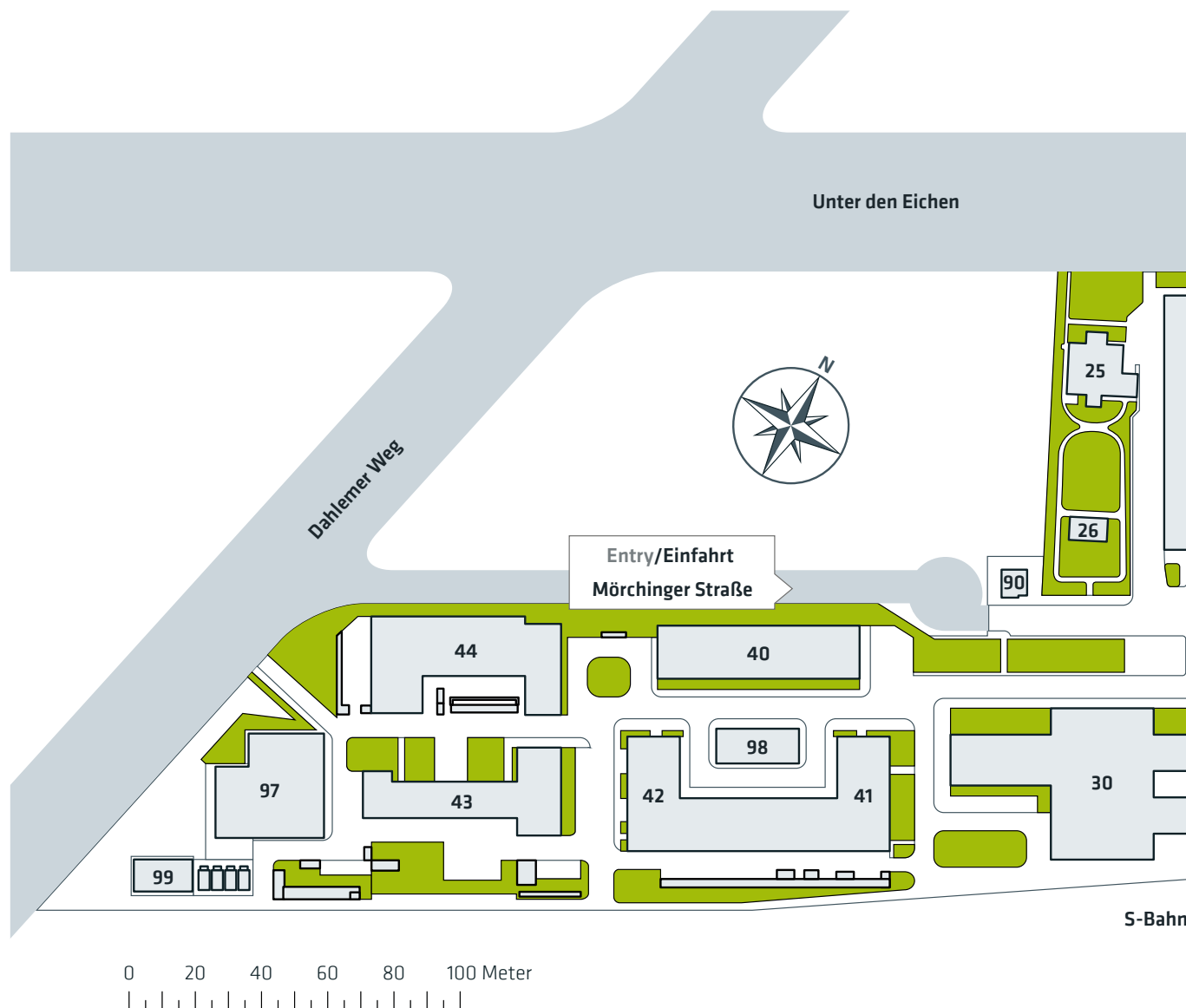
**GEBÜHRENEINNAHMEN | REVENUES FROM FEES: 11 MIO €**

**DRITTMITTEL | EXTERNAL FUNDS: 16 MIO €**

# 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                  |

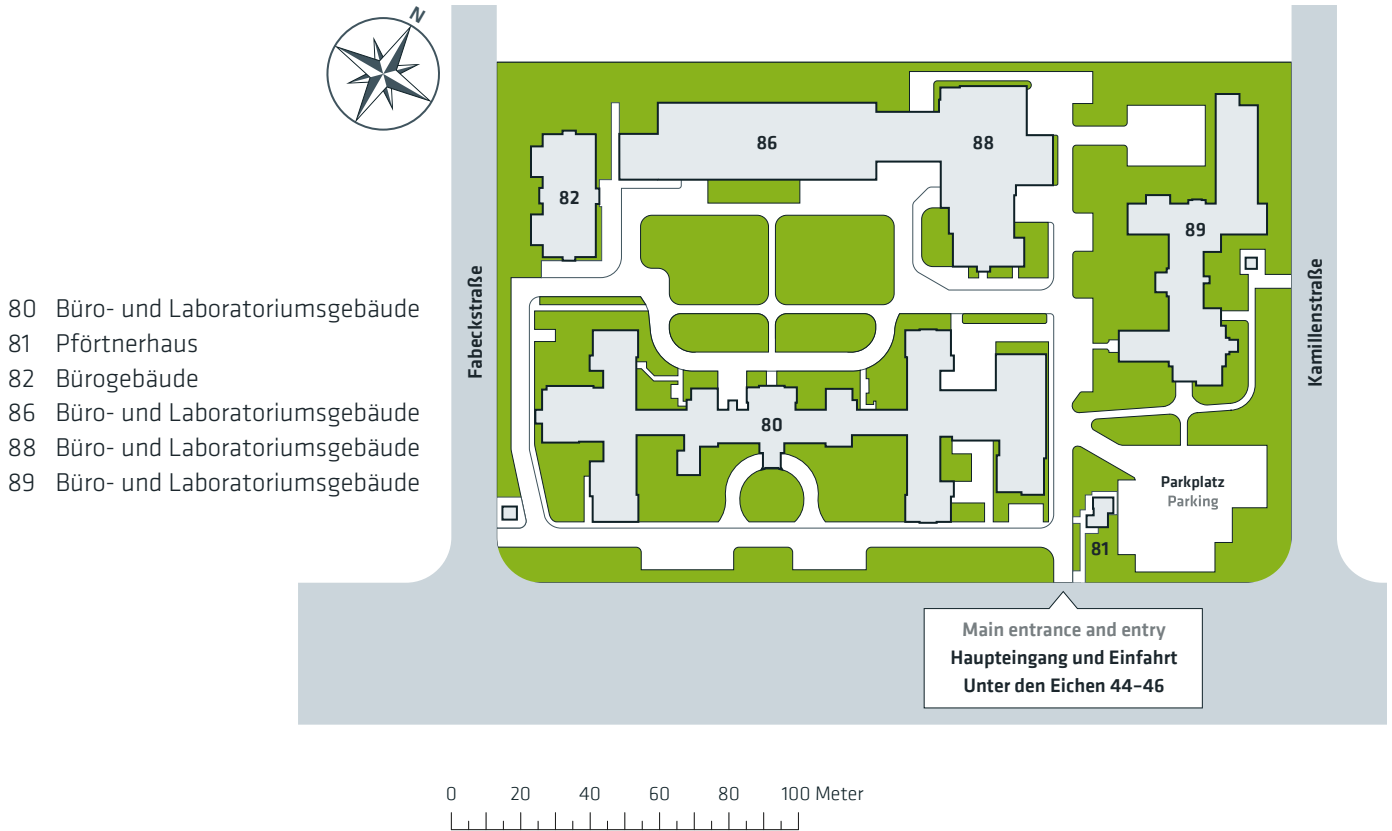


- |                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 40 Rimarski-Haus              | 93 Lager                          |
| 41 Wilhelm-Jost-Haus          | 94 Garagengebäude                 |
| 42 Wilhelm-Jost-Haus          | 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                |                                   |

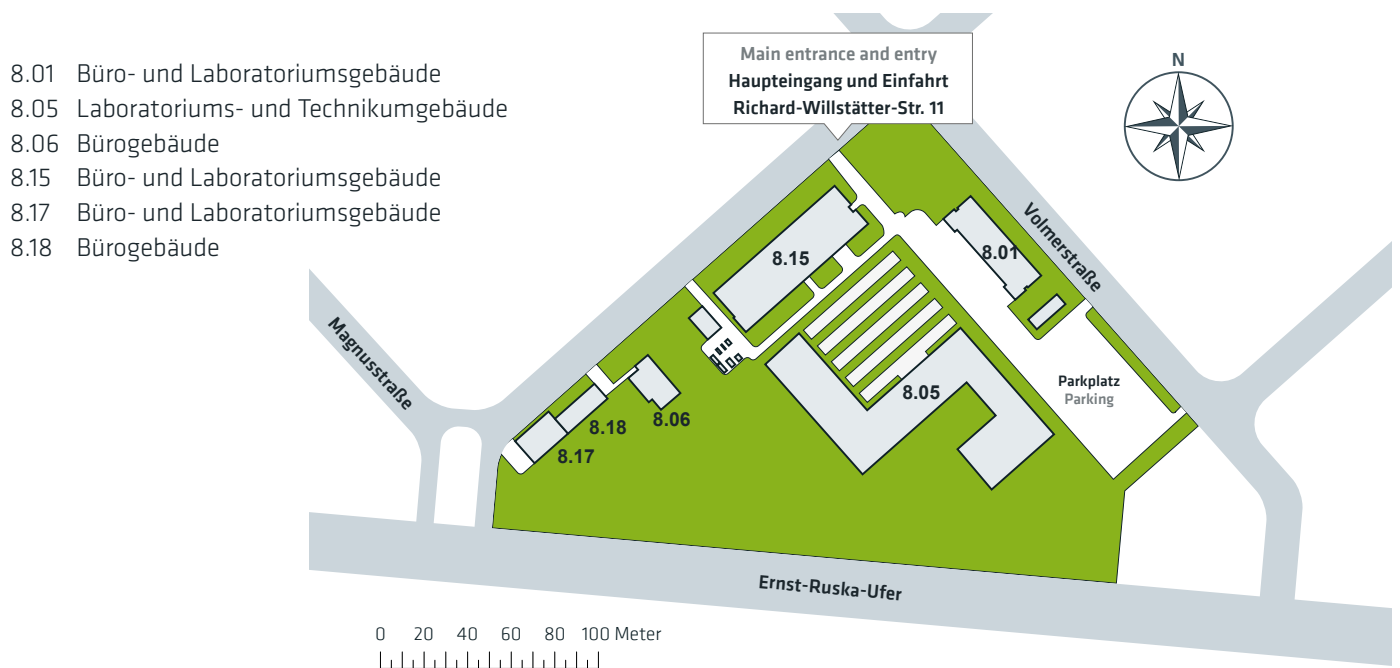
# LAGEPLÄNE

## SITEMAPS

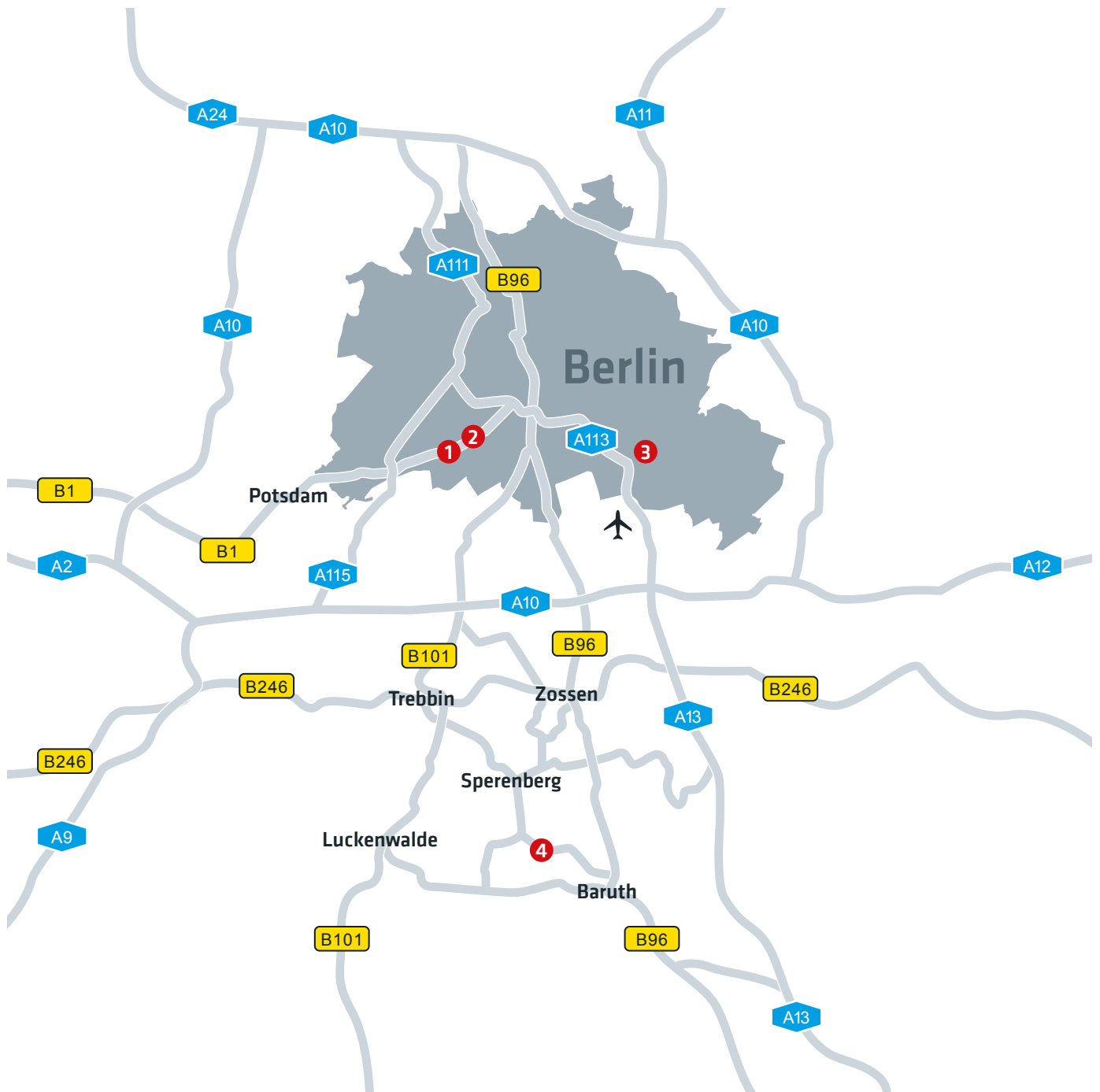
ZWEIGGELÄNDE/BRANCH FABECKSTRASSE | UNTER DEN EICHEN 44-46 | 12203 BERLIN



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







● **STANDORTE | LOCATIONS**

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

# AUFGABEN | STRUKTUR | ANSPRECHPARTNER

**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.  
**UNTERNEHMENS-KOMMUNIKATION**  
N. N.

**PRESSESPRECHERIN**  
Dr. U. Rockland  
Tel.: 1003 Fax: 3037  
Ulrike.Rockland@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. A. Erhard  
Tel.: 1300 Fax: 1307  
Anton.Erhard@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**

Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@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  
KORROSION UND  
KORROSIONSSCHUTZ**  
Dr. A. Burkert  
Tel.: 1731 Fax: 1737  
Andreas.Burkert@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  
GRUNDLAGEN DER  
KORROSION**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 1.3  
STRUKTURANALYTIK**  
Dr. F. Emmerling  
Tel.: 1133 Fax: 1137  
Franziska.Emmerling@bam.de

**Fachbereich 2.3  
EXPLOSIVSTOFFE**  
Dr. D. Eckhardt  
Tel.: 1230 Fax: 1237  
Dietrich.Eckhardt@bam.de

**Fachbereich 3.3  
SICHERHEIT VON  
TRANSPORTBEHÄLTERN**  
Dr. B. Droste  
Tel.: 1330 Fax: 1337  
Bernhard.Droste@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  
VERSCHLEISSCHUTZ**  
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.: 1230 Fax: 1207  
Kai.Holtappels@bam.de

**Fachbereich 3.4  
SICHERHEIT VON  
LAGERBEHÄLTERN**  
Dr. H. Völzke  
Tel.: 1340 Fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Fachbereich 4.4  
THERMOCHEMISCHE  
RESTSTOFFBEHANDLUNG  
UND WERTSTOFFRÜCK-  
GEWINNUNG**  
Dr. Ch. Adam  
Tel.: 1570 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**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1820 Fax: 1827  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 1.5  
PROTEINANALYTIK**  
Dr. M. G. Weller  
Tel.: 1150 Fax: 1157  
Michael.Weller@bam.de

**Fachbereich 2.5  
KORROSIONSSCHUTZ  
UND OBERFLÄCHENTECHNIK**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 3.5  
SICHERHEIT VON  
LAGERBEHÄLTERN**  
Dr. H. Völzke  
Tel.: 1340 Fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Fachbereich 4.5  
KUNST- UND  
KULTURGUTANALYSE**  
Prof. Dr. O. Hahn  
Tel.: 1420 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.Thuennemann@bam.de

**Fachbereich 1.6  
ANORGANISCHE  
REFERENZMATERIALIEN**  
Dr. S. Recknagel  
Tel.: 1111 Fax: 1117  
Sebastian.Recknagel@bam.de

**Fachbereich 2.6  
KORROSIONSSCHUTZ  
UND OBERFLÄCHENTECHNIK**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 3.6  
SICHERHEIT VON  
LAGERBEHÄLTERN**  
Dr. H. Völzke  
Tel.: 1340 Fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Fachbereich 4.6  
KUNST- UND  
KULTURGUTANALYSE**  
Prof. Dr. O. Hahn  
Tel.: 1420 Fax: 1427  
Oliver.Hahn@bam.de

**Fachbereich 5.6  
GLAS**  
Dr. R. Müller  
Tel.: a5914 Fax: a5976  
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  
KORROSIONSSCHUTZ  
UND OBERFLÄCHENTECHNIK**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 3.7  
SICHERHEIT VON  
LAGERBEHÄLTERN**  
Dr. H. Völzke  
Tel.: 1340 Fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Fachbereich 4.7  
KUNST- UND  
KULTURGUTANALYSE**  
Prof. Dr. O. Hahn  
Tel.: 1420 Fax: 1427  
Oliver.Hahn@bam.de

**Fachbereich 5.7  
GLAS**  
Dr. R. Müller  
Tel.: a5914 Fax: a5976  
Ralf.Mueller@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  
KORROSIONSSCHUTZ  
UND OBERFLÄCHENTECHNIK**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 3.8  
SICHERHEIT VON  
LAGERBEHÄLTERN**  
Dr. H. Völzke  
Tel.: 1340 Fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Fachbereich 4.8  
KUNST- UND  
KULTURGUTANALYSE**  
Prof. Dr. O. Hahn  
Tel.: 1420 Fax: 1427  
Oliver.Hahn@bam.de

**Fachbereich 5.8  
GLAS**  
Dr. R. Müller  
Tel.: a5914 Fax: a5976  
Ralf.Mueller@bam.de

**Fachbereich 6.8  
OBERFLÄCHENANALYTIK  
UND  
GRENZFLÄCHENCHEMIE**  
Dr. W. Unger  
Tel.: 1823 Fax: 1827  
Wolfgang.Unger@bam.de

**Fachbereich 1.9  
CHEMISCHE UND OPTISCHE  
SENSORIK**  
Dr. K. Rurack  
Tel.: 1190 Fax: 1157  
Knut.Rurack@bam.de

**Fachbereich 2.9  
KORROSIONSSCHUTZ  
UND OBERFLÄCHENTECHNIK**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 3.9  
SICHERHEIT VON  
LAGERBEHÄLTERN**  
Dr. H. Völzke  
Tel.: 1340 Fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Fachbereich 4.9  
KUNST- UND  
KULTURGUTANALYSE**  
Prof. Dr. O. Hahn  
Tel.: 1420 Fax: 1427  
Oliver.Hahn@bam.de

**Fachbereich 5.9  
GLAS**  
Dr. R. Müller  
Tel.: a5914 Fax: a5976  
Ralf.Mueller@bam.de

**Fachbereich 6.9  
OBERFLÄCHENANALYTIK  
UND  
GRENZFLÄCHENCHEMIE**  
Dr. W. Unger  
Tel.: 1823 Fax: 1827  
Wolfgang.Unger@bam.de

**Fachbereich 1.10  
BIOPHOTONIK**  
Dr. U. Resch-Genger  
Tel.: 1134 Fax: 1157  
Ute.Resch@bam.de

**Fachbereich 2.10  
KORROSIONSSCHUTZ  
UND OBERFLÄCHENTECHNIK**  
Dr. G. Reiners  
Tel.: 1600 Fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Fachbereich 3.10  
SICHERHEIT VON  
LAGERBEHÄLTERN**  
Dr. H. Völzke  
Tel.: 1340 Fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Fachbereich 4.10  
KUNST- UND  
KULTURGUTANALYSE**  
Prof. Dr. O. Hahn  
Tel.: 1420 Fax: 1427  
Oliver.Hahn@bam.de

**Fachbereich 5.10  
GLAS**  
Dr. R. Müller  
Tel.: a5914 Fax: a5976  
Ralf.Mueller@bam.de

**Fachbereich 6.10  
OBERFLÄCHENANALYTIK  
UND  
GRENZFLÄCHENCHEMIE**  
Dr. W. Unger  
Tel.: 1823 Fax: 1827  
Wolfgang.Unger@bam.de

a: Einwahl +49 30 6392- statt +49 30 8104-

**VORSITZENDER DES KURATORIUMS**

 S. Schnorr  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie

**WISSENSCHAFTLICHE BEIRÄTE DER BAM**

ENERGIE Vorsitzender: N. N.	MATERIAL Vorsitzender: N. N.
INFRASTRUKTUR Vorsitzender: N. N.	ANALYTICAL SCIENCES Vorsitzender: N. N.
UMWELT Vorsitzender: N. N.	

**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**

 A.-M. Reindl  
Tel.: 2100 Fax: 2127  
Anke.Reindl@bam.de

**Fachbereich 7.2  
INGENIEURBAU**

 Dr. A. Rogge  
Tel.: 1700 Fax: 1727  
Andreas.Rogge@bam.de

**Fachbereich 8.2  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
SCHADENS DIAGNOSE 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**

 B. Malkewitz  
Tel.: 2120 Fax: 2127  
Bernd.Malkewitz@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**

 Th. Heckel  
Tel.: 3686 Fax: 1845  
Thomas.Heckel@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. M. Nitsche  
Tel.: 1900 Fax: 3755  
Michael.Nitsche@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  
SCHWEISSVERFAHREN**

 Prof. Dr. T. Kannengießler  
Tel.: 1551 Fax: 1557  
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat 5.5  
SCHWEISSVERFAHREN**

 Prof. Dr. T. Kannengießler  
Tel.: 1551 Fax: 1557  
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat Z.5  
BESCHAFFUNG,  
MATERIALWIRTSCHAFT**

 V. Bingöl  
Tel.: 2140 Fax: 2147  
Veli.Binguel@bam.de

**Fachbereich 8.6  
OPTISCHE UND  
FASEROPTISCHE  
VERFAHREN**

 Dr. K. Kребber  
Tel.: 1915 Fax: 1917  
Katerina.Kreber@bam.de

**Fachbereich 9.6  
INTEGRITÄT VON  
SCHWEISSVERBINDUNGEN**

 Prof. Dr. T. Kannengießler  
Tel.: 1551 Fax: 1557  
Thomas.Kannengiesler@bam.de

**Referat 5.6  
SCHWEISSVERFAHREN**

 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 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

**BAM-Zertifizierungsstelle  
Geschäftsstelle**

 Dr. R. Schmidt  
Tel.: 3715  
bzs@bam.de

**Referat Z.7  
BAUTEN**

 A. Scharlau  
Tel.: 2220 Fax: 2227  
Angelika.Scharlau@bam.de

**Akkreditierungsbeirat  
Geschäftsstelle**

 Dr. F. Behrens  
Tel.: 3711  
gs.akkreditierungsbeirat@bam.de

**Referat Z.8  
TECHNIK DER  
ÖFFENTLICHKEITSARBEIT,  
FACHINFORMATION**

 Th. Meyer  
Tel.: 2080 Fax: 2037  
Thomas.Meyer@bam.de

**Produktinfostelle  
Geschäftsstelle**

 O. Mätzner  
Tel.: 3748  
produktinfostelle@bam.de

**Referat Z.9  
SERVICEBEREICH  
FORSCHUNG**

 H. Saxowski  
Tel.: 2216 Fax: 2294  
Hagen-Joachim.Saxowski@bam.de

**Arbeitsschutz,  
betrieblicher Umweltschutz**

 U. Schmies  
Tel.: 1006  
Uwe.Schmies@bam.de

**Beauftragter für  
Korruptionsprävention**

 Dr. W. Daum  
Tel.: 1910  
Werner.Daum@bam.de

**Datenschutzbeauftragter**

 A. Nymtschefsky  
Tel.: 3773  
Arne.Nymtschefsky@bam.de

**Geheim- und Sabotage-  
schutzbeauftragter**

 Dr. F. Keidel  
Tel.: 3036  
geheimschutz@bam.de

**Gleichstellungsbeauftragte**

 K. Pachaly  
Tel.: 2310  
gleichstellungsbeauftragte@bam.de

**IT-Sicherheitsbeauftragte**

 R. Rogge  
Tel.: 3038  
Regina.Rogge@bam.de

**Personalrat (Vorsitzender)**

 B. Stoeck  
Tel.: 2500  
personalrat@bam.de

**Schwerbehinderten-  
vertretung**

 S. Proll  
Tel.: 2505  
Stefan.Proll@bam.de

**Qualitätsmanagement-  
beauftragte**

 Dr. M. Hedrich  
Tel.: 1941  
qmb@bam.de

# TASKS | STRUCTURE | CONTACTS

**INTERNAL AUDIT**

K. Simon  
Tel.: 3022  
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

Sektion UK.  
**CORPORATE COMMUNICATION**  
N. N.

SPOKESWOMAN  
Dr. U. Rockland  
phone: 1003 fax: 3037  
Ulrike.Rockland@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. A. Erhard  
phone: 1300 fax: 1307  
Anton.Erhard@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**

Dr. G. Reiners  
phone: 1600 fax: 1607  
Georg.Reiners@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 ENGINEERING MATERIALS**

Dr. A. Kranzmann  
phone: 1510 fax: 1517  
Axel.Kranzmann@bam.de

**Division 6.1**  
**CORROSION AND CORROSION PROTECTION**

Dr. A. Burkert  
phone: 1731 fax: 1737  
Andreas.Burkert@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 BEHAVIOR OF MATERIALS**

Prof. Dr. B. Skrotzki  
phone: 1520 fax: 1527  
Birgit.Skrotzki@bam.de

**Division 6.2**  
**FUNDAMENTALS OF CORROSION**

Dr. G. Reiners  
phone: 1600 fax: 1607  
Georg.Reiners@bam.de

**Division 1.3**  
**STRUCTURE ANALYSIS**

Dr. F. Emmerling  
phone: 1133 fax: 1137  
Franziska.Emmerling@bam.de

**Division 2.3**  
**EXPLOSIVES**

Dr. D. Eckhardt  
phone: 1230 fax: 1237  
Dietrich.Eckhardt@bam.de

**Division 3.3**  
**SAFETY OF TRANSPORT CONTAINERS**

Dr. B. Droste  
phone: 1330 fax: 1337  
Bernhard.Droste@bam.de

**Division 4.3**  
**CONTAMINANT TRANSFER 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 GASES**

Dr. K. Holtappels  
phone: 3436 fax: 1207  
Kai.Holtappels@bam.de

**Division 3.4**  
**SAFETY OF STORAGE CONTAINERS**

Dr. H. Völzke  
phone: 1340 fax: 1337  
Holger.Voelzke@bam.de

**Division 4.4**  
**THERMOCHEMICAL RESIDUES TREATMENT AND RESOURCE RECOVERY**

Dr. Ch. Adam  
phone: 5670 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**

Dr. G. Reiners  
phone: 1820 fax: 1827  
Georg.Reiners@bam.de

**Division 1.5**  
**PROTEIN ANALYSIS**

Dr. M. G. Weller  
phone: 1150 fax: 1157  
Michael.Weller@bam.de

**Division 1.6**  
**INORGANIC REFERENCE MATERIALS**

Dr. S. Recknagel  
phone: 1111 fax: 1117  
Sebastian.Recknagel@bam.de

**Division 1.7**  
**FOOD ANALYSIS**

Dr. M. Koch  
phone: 1170 fax: 1177  
Matthias.Koch@bam.de

**Division 1.8**  
**ENVIRONMENTAL ANALYSIS**

Dr. R. Schneider  
phone: 1151 fax: 1157  
Rudolf.Schneider@bam.de

**Division 1.9**  
**CHEMICAL AND OPTICAL SENSING**

Dr. K. Rurack  
phone: 1190 fax: 1157  
Knut.Rurack@bam.de

**Division 1.10**  
**BIOPHOTONICS**

Dr. U. Resch-Genger  
phone: 1134 fax: 1157  
Ute.Resch@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 SCIENCE AND NANOTECHNOLOGY**

Dr. A. Thünenmann  
phone: 1610 fax: 1617  
Andreas.Thuenemann@bam.de

**Division 5.6**  
**GLASS**

Dr. R. Müller  
phone: a5914 fax: a5976  
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 6.7**  
**SURFACE MODIFICATION AND MEASUREMENT TECHNIQUE**

Dr. U. Beck  
phone: 1821 fax: 1827  
Uwe.Beck@bam.de

**Division 6.8**  
**SURFACE ANALYSIS AND INTERFACIAL CHEMISTRY**

Dr. W. Unger  
phone: 1823 fax: 1827  
Wolfgang.Unger@bam.de

a: dial-up at Branch Adlershof:  
replace +49 30 6392- for +49 30 8104-

**CHAIRMAN OF THE ADVISORY COUNCIL**

S. Schnorr  
Federal Ministry for  
Economic Affairs and Energy

**BAM'S SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEES**

ENERGY Chairman: N. N.	MATERIAL Chairman: N. N.
INFRASTRUCTURE Chairman: N. N.	ANALYTICAL SCIENCES Chairman: N. N.
ENVIRONMENT Chairman: N. N.	

**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  
INTERNAL 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**

A.-M. Reindl  
phone: 2100 fax: 2127  
Anke.Reindl@bam.de

**Division 7.2  
BUILDINGS AND  
STRUCTURES**

Dr. A. Rogge  
phone: 1700 fax: 1727  
Andreas.Rogge@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  
TEST DEVICES AND  
EQUIPMENT**

L. Zimne  
phone: 1930 fax: 1937  
Lutz.Zimne@bam.de

**Section 5.2  
ACCREDITATION AND  
CONFORMITY ASSESSMENT**

Dr. G. Dudek  
phone: 1942 fax: 1947  
Gabriele.Dudek@bam.de

**Section Z.2  
BUDGET**

B. Malkewitz  
phone: 2120 fax: 2127  
Bernd.Malkewitz@bam.de

**OCCUPATIONAL SAFETY  
AND HEALTH, IN-HOUSE  
ENVIRONMENTAL  
PROTECTION**

U. Schmies  
phone: 1006  
Uwe.Schmies@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  
PERSONNEL,  
PROFESSIONAL TRAINING**

S. Tschiersich  
phone: 2130 fax: 2137  
Sabine.Tschiersich@bam.de

**REPRESENTATIVE  
FOR PREVENTION OF  
CORRUPTION**

Dr. W. Daum  
phone: 1910  
Werner.Daum@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**

Th. Heckel  
phone: 3686 fax: 1845  
Thomas.Heckel@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. M. Nitsche  
phone: 1900 fax: 3755  
Michael.Nitsche@bam.de

**Section Z.4  
INFORMATION TECHNOLOGY**

Dr. B. Schmitz  
phone: 1920 fax: 1927  
Birte.Schmitz@bam.de

**INSPECTOR FOR DATA  
PROTECTION**

A. Nymtschefskey  
phone: 3773  
Arne.Nymtschefskey@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 NDE**

Prof. Dr. G. Bruno  
phone: 1850 fax: 1837  
Giovanni.Bruno@bam.de

**Division 9.5  
MICRO NDE**

Prof. Dr. G. Bruno  
phone: 1850 fax: 1837  
Giovanni.Bruno@bam.de

**Section 5.5  
ACCREDITATION AND  
CONFORMITY ASSESSMENT**

Dr. G. Dudek  
phone: 1942 fax: 1947  
Gabriele.Dudek@bam.de

**Section Z.5  
PURCHASING OFFICE**

V. Bingöl  
phone: 2140 fax: 2147  
Veli.Bingoel@bam.de

**CONFIDENTIALITY  
PROTECTION  
COMMISSIONER**

Dr. F. Keidel  
phone: 3036  
geheimsschutz@bam.de

**Division 8.6  
OPTICAL AND  
FIBRE OPTIC METHODS**

Dr. K. Krebber  
phone: 1915 fax: 1917  
Katerina.Krebber@bam.de

**Division 8.6  
OPTICAL AND  
FIBRE OPTIC METHODS**

Dr. K. Krebber  
phone: 1915 fax: 1917  
Katerina.Krebber@bam.de

**Division 9.6  
MICRO NDE**

Prof. Dr. G. Bruno  
phone: 1850 fax: 1837  
Giovanni.Bruno@bam.de

**BAM-CERTIFICATION BODY**

Secretariat  
  
Dr. R. Schmidt  
phone: 3715  
bzs@bam.de

**Section Z.6  
INTERNAL FACILITIES**

Th. Becker  
phone: 2030 fax: 2037  
Thomas.Becker@bam.de

**EQUAL OPPORTUNITIES  
REPRESENTATIVE**

K. Pachaly  
phone: 2310  
gleichstellungsbeauftragte@bam.de

**Division 8.7  
THERMOGRAPHIC  
METHODS**

Dr. Ch. Maierhofer  
phone: 1441 fax: 1845  
Christiane.Maierhofer@bam.de

**Division 8.7  
THERMOGRAPHIC  
METHODS**

Dr. Ch. Maierhofer  
phone: 1441 fax: 1845  
Christiane.Maierhofer@bam.de

**ACCREDITATION ADVISORY  
BOARD**

Secretariat  
  
Dr. F. Behrens  
phone: 3711  
gs.akkreditierungsbeirat@bam.de

**Section Z.7  
BUILDINGS**

A. Scharlau  
phone: 2220 fax: 2227  
Angelika.Scharlau@bam.de

**IT SAFETY REPRESENTATIVE**

R. Rogge  
phone: 3038  
Regina.Rogge@bam.de

**Section Z.8  
TECHNICAL SERVICES,  
INFORMATION**

Th. Meyer  
phone: 2080 fax: 2037  
Thomas.Meyer@bam.de

**STAFF COUNCIL (CHAIRMAN)**

B. Stoeck  
phone: 2500  
personalrat@bam.de

**Section Z.9  
RESEARCH SERVICES**

H. Saxowski  
phone: 2216 fax: 2294  
Hagen-Joachim.Saxowski@bam.de

**REPRESENTATIVE FOR  
SEVERELY DISABLED  
PERSONS**

S. Proll  
phone: 2505  
Stefan.Proll@bam.de

**BAM'S BOARD OF  
DIRECTORS**

**PRODUCT CONTACT POINT**

Secretariat  
  
O. Mätzner  
phone: 3748  
produktinfostelle@bam.de

**QUALITY MANAGEMENT  
REPRESENTATIVE**

Dr. M. Hedrich  
phone: 1941  
qmb@bam.de

