

Jahresbericht
Annual Report

'11

Mit ihrem Auftrag
gewährleistet
die Bundesanstalt:

Sicherheit in Technik und Chemie

Unser Auftrag

Wir gewährleisten als material-technische und chemisch-technische Bundesanstalt Sicherheit in Technik und Chemie durch

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

mit dem Ziel, die Entwicklung der deutschen Wirtschaft zu fördern.

Unsere Leitlinie

Sicherheit in Technik und Chemie

Unsere Fachaufgaben

- Hoheitliche Funktionen zur öffentlichen technischen Sicherheit, insbesondere im Gefahrstoff- und Gefahrgutrechtsbereich;
- Mitarbeit bei der Entwicklung entsprechender gesetzlicher Regelungen, z. B. bei der Festlegung von Sicherheitsstandards und Grenzwerten;
- Beratung der Bundesregierung, der Wirtschaft sowie der nationalen und internationalen Organisationen im Bereich der Materialtechnik und Chemie;
- Entwicklung und Bereitstellung von Referenzmaterialien und -verfahren, insbesondere der analytischen Chemie und der Prüftechnik;
- Unterstützung der Normung und anderer technischer Regeln für die Beurteilung von Stoffen, Materialien, Konstruktionen und Verfahren im Hinblick auf die Schadensfrüherkennung bzw. -vermeidung, den Umweltschutz und den Erhalt volkswirtschaftlicher Werte.
- Weiterentwicklung von Sicherheit und Zuverlässigkeit in Chemie- und Materialtechnik

Unsere nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Aufgaben der BAM für Technik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft erfordern eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Insofern arbeitet die Bundesanstalt mit Technologieinstitutionen des In- und Auslandes, insbesondere den nationalen Schwesterinstituten eng zusammen. Sie berät Bundesministerien, Wirtschaftsverbände, Industrieunternehmen sowie Verbraucherorganisationen und unterstützt mit Fachgutachten Verwaltungsbehörden sowie Gerichte. Daneben ist sie in die internationale technische Zusammenarbeit eingebunden und im Bereich „Messwesen – Normung – Prüftechnik – Qualitätssicherung“ (MNPQ) als nationale Institution für die Prüftechnik zuständig. Die Mitarbeiter der Bundesanstalt wirken in zahlreichen Fachgremien, gesetzlichen Körperschaften und normensetzenden Institutionen an der Aufstellung von technischen Regeln und Sicherheitsbestimmungen mit und vertreten die Bundesrepublik in nationalen und supranationalen Einrichtungen.

Unser Status

Die BAM ist als wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie Nachfolgeinstitution des 1871 gegründeten Staatlichen Materialprüfungsamtes sowie der 1920 gebildeten Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR). Sie hat dementsprechend die Funktion einer materialtechnischen und chemisch-technischen Bundesanstalt. In ihr sind etwa 1800 Mitarbeiter, darunter mehr als 1000 Wissenschaftler und Ingenieure, auf dem Stammgelände in Berlin-Lichterfelde sowie auf den Zweiggeländen in Berlin-Steglitz und Berlin-Adlershof tätig.

Jahresbericht
Annual Report
2011

Impressum/Editorial Information

Jahresbericht 2011/*Annual Report 2011*

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
Internet: www.bam.de

Redaktion/Editing:

Dr. Ulrike Rockland (verantwortl.), BAM-PST.2
Helga Maaßdorf, BAM-PST.2

Autor/Author:

Gideon Heimann
unter Mitarbeit zahlreicher Damen und Herren in den Abteilungen
with the help of numerous colleagues from the departments

Übersetzung/English by

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

Schlussbearbeitung/Final Editing: BAM

Layout:

BAM-PST.2, BAM-Z.8

Bilder und Grafiken/Illustrations:

Wenn nicht anders vermerkt:
BAM-Fachabteilungen und Referat Z.8

Druck und Verarbeitung/Print:

Druckerei Hermann Schlesener KG
www.schlesener.de

ISSN 0934-9456

Die Mitglieder des Kuratoriums der BAM

Dr. rer. pol. Sven Halldorn (Vorsitzender)

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Leiter der Abteilung Technologiepolitik, Berlin

Dr.-Ing. Torsten Bahke

Direktor des DIN, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Professorin Dr.-Ing. Christina Berger

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

Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München

Dr.-Ing. Matthias Fankhänel

BASF SE, Senior Vice President, Ludwigshafen

Dr. rer. nat. Thomas Grandke

Siemens AG, Corporate Technology, Berlin

Dr. rer. nat. Friedrich Heinemeyer

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

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. 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

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

Professor Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch

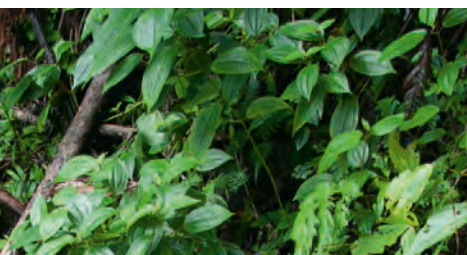
Geschäftsführender Direktor des IWT, IWT Stiftung Institut für Werkstofftechnik,
Leiter der Hauptabteilung Werkstofftechnik, Bremen

Contents

BAM in 2011	6
<i>The changing BAM: flexible structures for new challenges</i>	8
Topic	12
<i>A solid base for entrepreneurs</i>	12
<i>The right chemistry</i>	16
<i>Alumni</i>	20
<i>Great effort to measure a small world</i>	22
<hr/>	
Analytical Chemistry	24
<i>Learning „Multitasking“ diagnostic procedures</i>	26
<i>Identifying alcohol abuse reliably</i>	30
<i>Searching for the big bang in explosives</i>	34
<hr/>	
Safe handling of dangerous materials and dangerous goods	38
<i>The buzzing inspector</i>	40
<i>Preventing an explosion disaster</i>	44
<i>Serious cases of safety</i>	48
<i>An interim storage is no free space</i>	54
<i>Safety offers more fun at the fireworks</i>	60
<hr/>	
Safe and environmentally compatible use of materials	64
<i>Improve the protection for wood and the environment</i>	66
<i>Laser printing devices:</i>	
<i>Blue Angel against particle emissions</i>	70
<i>Lightweight concrete from old walls</i>	76
<i>Geosynthetics for landfills: Can they hold tight?</i>	80
<hr/>	
Safe operation of technical systems and processes	84
<i>A giant effect for tiny defects</i>	86
<i>Thin films for more comfort and safety when braking</i>	90
<i>Help you can rely on</i>	96
<i>„BetoScan“: precise and inexpensive testing of multi-storey car parks</i>	100
<i>Higher mathematics close to the wind</i>	104
<hr/>	
Damage mechanisms and damage analysis	108
<i>Early recognition of container damage</i>	110
<hr/>	
Appendix	116



Inhalt



Die BAM im Jahr 2011	7
Die BAM im Wandel: Flexible Strukturen für neue Herausforderungen	9
Thema	13
Ein fester Grund für Gründer	13
Hier stimmt die Chemie	17
Alumni	20
Großer Aufwand zur Vermessung der kleinen Welt	23
<hr/>	
Analytische Chemie	25
Diagnoseverfahren lernen „Multitasking“	27
Alkoholmissbrauch sicher erkennen	31
Auf der Suche nach dem Urknall im Sprengstoff	35
<hr/>	
Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen und Gefahrgütern	39
Bald surrt der Kollege Inspektor	41
Eine Explosionskatastrophe verhindert	45
Schwere Fälle für die Sicherheit	49
Ein Zwischenlager ist kein Freiraum	55
Mit Sicherheit mehr Spaß am Feuerwerk	61
<hr/>	
Sichere und umweltverträgliche Verwendung von Materialien	65
Den Schutz für Holz und Umwelt verbessern	67
Laserdrucker: Blauer Engel gegen Partikelemissionen	71
Leichter Beton aus alten Mauern	77
Geokunststoffe für Deponien: Können sie dichthalten?	81
<hr/>	
Sicherer Betrieb von technischen Systemen und Prozessen	85
Ein Rieseneffekt für winzige Defekte	87
Dünne Filme für mehr Komfort und Sicherheit beim Bremsen	91
Hilfe, die Vertrauen schafft	97
„BetoScan“: Parkhäuser präzise und preiswert prüfen	101
Hohe Mathematik hart am Wind	105
<hr/>	
Schädigungsmechanismen und Schadensanalyse	109
Frühzeitig Schäden am Behälter nachweisen	111
<hr/>	
Anhang	117
Lagepläne	118
Statistische Daten	122
Organigramm	124



 **BAM**
Bundesanstalt für Material-
forschung und -prüfung

 **BAM**
Bundesanstalt für Material-
forschung und -prüfung





These smart labels combine a QR code printed on a shape-memory polymer and serve a safe identification of goods. They are shown in their permanent and temporary shape.

Flexibel: Smart-Etiketten mit enthaltenem QR-Code auf Formgedächtnispolymeren in ihrer permanenten und temporären Form; sie dienen der sicheren Identifizierung von Waren.

The changing BAM: flexible structures for new challenges

Nano-technology, life sciences, energy security – our world with its pressing scientific and social issues gives the impression that it is rotating faster and faster. But this is deceptive because “nothing is as constant as change” as the Greek philosopher Heraclitus of Ephesus noted around 500 BC. And a look at BAM’s respectable 140-year history in fact shows that there were always periods when research made huge leaps in development to answer current problems. Scientists had to cope with an increase in the number of questions, and also in BAM’s organisation where its structures were constantly being adapted to change. Today the increased challenge in national and international competition with other scientific institutions compels us to do so again. Thus once again it’s time to face changing circumstances and this must be managed with organisational units that are more flexible than before.

For a better understanding, first let’s make a brief inventory. Including Ph.D. students, short term employees and interns, BAM currently has around 1,800 employees, three locations in Berlin and another one approximately 50 kilometres south of the city, in Horstwalde at Baruth in Brandenburg. That is the site of the Test Site ‘Technical Safety’ with its facilities, some of which are unique in the world. The motto that holds together all the functions like a clamp is “Safety in technology and chemistry.” They include sovereign functions in the field of technical safety (hazardous substances, hazardous materials law), working on legal regulations

(standards, limiting values) as well as advising government and industry. For this, BAM’s staff members participate in the development of standards and technical regulations for the early detection and prevention of damage, environmental protection and the preservation of economic values. In addition, they provide reference materials and procedures in the field of chemistry and test methods.

There is a huge number of tasks and all of them require scientific expertise – but what does this mean for the organisational structure of a body such as BAM which is expected to respond appropriately to new problems? How can the necessary flexibility be provided that is needed to manage new projects? How can one acquire and further expand the skills under the pressure of the scarce and possibly shrinking government funds? How can an exchange with the rest of the research system be ensured? The foundation of all solutions is improved communication which begins “at the top”, and the previously vertical decision-making levels are spread “sideways” to have a larger number of people involved. The three-member presidential board will subsequently be supported by an executive board which includes the heads of all eleven departments. This binds the expertise in one body whose responsibility will be to take well-founded strategic decisions and guide the divisions. All in all, many problems of safety in technology and chemistry can only be solved using interdisciplinary methods.

Die BAM im Wandel: Flexible Strukturen für neue Herausforderungen

Nanotechnik, Life-Sciences, Sicherheit der Energieversorgung – unsere Welt mit ihren drängenden wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen erweckt den Eindruck, als drehe sie sich immer schneller. Doch das täuscht, denn „nichts ist so beständig wie der Wandel“, wie schon der griechische Philosoph Heraklit von Ephesus um 500 vor unserer Zeitrechnung anmerkte. Und der Blick in die immerhin bereits gut 140-jährige Geschichte der BAM zeigt tatsächlich, dass es immer wieder Phasen gab, in denen die Forschung zur Beantwortung jeweils aktueller Probleme gleichsam Entwicklungssprünge vollzog. Dem Zuwachs an Fragen mussten die Wissenschaftler auch damals schon gerecht werden, und mit ihnen die Organisation der forschenden Oberbehörde: Ihre Strukturen mussten sich beständig an den Wandel anpassen. Heute drängt die verstärkte Herausforderung im nationalen und internationalen Wettbewerb mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen dazu. Deshalb ist es wieder soweit, den sich verändernden Gegebenheiten zu stellen, dies nun mit Organisationseinheiten, die flexibler als bisher aufgebaut sind.

Zum besseren Verständnis vorab eine kurze Bestandsaufnahme: Inklusive der Doktoranden, Zeitkräfte und Praktikanten zählt die BAM derzeit rund 1800 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, drei Standorte liegen in Berlin und einer etwa 50 Kilometer südlich der Stadt, im brandenburgischen Horstwalde bei Baruth. Dort liegt das Testgelände Technische Sicherheit mit seinen zum Teil weltweit einmaligen Anlagen. Das Motto, das alle Aufgaben wie eine Klammer zusammenhält, lautet: „Sicherheit in Technik und Chemie“. Dazu gehören hoheitliche Funktionen im Bereich der technischen Sicherheit (Gefahrstoff-, Gefahrgutrecht), die Mitarbeit an gesetzlichen Regelungen (Standards, Grenzwerte) sowie die Beratung von Politik und Wirtschaft. Hierfür wiederum beteiligen sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Entwicklung von Normen und technischen Regeln für die Schadensvermeidung und -früherkennung, für den Umweltschutz und die Erhaltung volkswirtschaftlicher Werte. Darüber hinaus erstellen sie Referenzmaterialien und -verfahren auf dem Gebiet der Chemie und der Prüftechnik.

Eine Fülle von Aufgaben und alle benötigen wissenschaftlichen Sachverstand – doch was bedeutet das für die Organisationsstruktur einer solchen Einrichtung, die auf neue Problemstellungen angemessen reagieren soll? Wie verschafft man sich die benötigte Flexibilität, mit der neue Projekte bearbeitet werden? Wie erhält man sich die Kompetenzen, baut sie weiter aus, wenn man überdies dem Druck ausgesetzt ist, mit den vorhandenen oder gar mit schrumpfenden Zuwendungen der Öffentlichen Hand hauszuhalten? Wie sichert man den Austausch mit dem übrigen Wissenschaftssystem? Am Anfang aller Lösungen steht eine verbesserte Kommunikation, die „oben“ beginnt, mit einer Verlagerung der bislang vertikalen Entscheidungsebenen „in die

Breite“, auf deutlich mehr Beteiligte: Das dreiköpfige Präsidium wird daher nun durch ein Direktorium unterstützt, dem die Leiterinnen und Leiter der insgesamt elf Abteilungen angehören. Dies bündelt das Fachwissen an einer Stelle, die strategisch fundierte Entscheidungen zu treffen und an die Fachbereiche (bisher: Fachgruppen) weiter zu leiten hat. Schließlich lassen sich viele Probleme der chemisch-technischen Sicherheit nur noch interdisziplinär lösen.

Und da sich im Lauf der Jahre in einigen der Abteilungen recht heterogene Aufgabenstellungen zusammengefunden haben, ist auch hier eine Umstrukturierung notwendig, hin zu einer größeren Anzahl insgesamt kleinerer Fachbereiche. Das ist nur konsequent, denn auch die Wissenstiefe der einzelnen Bereiche vergrößert sich beständig.

In einem Fall wird daraus sogar eine neue Fachabteilung, neu hinzu kommt daher die Abteilung „Komponentensicherheit“ unter der Leitung von Vizepräsident Prof. Dr. Thomas Böllinghaus. Hierin wurden, neben dem bisherigen wissenschaftlichen Gerätebau, die aus der Abteilung „Werkstofftechnik“ ausgegliederten früheren Fachgruppen „Betriebsfestigkeit und Bauteilsicherheit“ sowie „Sicherheit gefügter Bauteile“ und „Fügetechnische Konstruktion“ zusammengefasst. Aus den beiden fügetechnischen Fachgruppen wurden nun Fachbereiche der „Schweißtechnischen Ferti-

Ähnlich wie dieses Leichtbaupaneel wird auch die neue Organisationsstruktur der BAM Belastungsproben bestehen müssen.

BAM's new organisation structures has to sustain the load testing like this lightweight panel.





BAM – a synonym for technical safety

Die BAM – ein Synonym für technische Sicherheit

Since some rather diverse tasks have been merged in some of the departments over the years, restructuring is also necessary to create a greater total number of smaller divisions. This is only logical because the depth of knowledge within each area is constantly increasing.

In one case, even a new department had to be established: the Department "Component Safety" headed by Vice-President Prof. Dr. Thomas Böllinghaus. In addition to Scientific Equipment Design, the new department includes the previous divisions "Service Loading Fatigue and Structural Integrity", "Safety of Joined Components" and "Joining Technology Design" outsourced from the Department "Materials

Engineering". Two new divisions, "Welding Technology" and "Weld Mechanics" have been established based on two previous divisions which dealt with joining technology. It is after all by making connections among individual components (to use the literal sense) that the assembled constituents create an even larger unit. And this can only be as stable as its interfaces which are of course the prime suspects in cases of damage.

Improving the interfaces is an important keyword in ensuring the next generation. Lastly, demographic change does not stop at science either. The problem is compounded by the remuneration structures in the public sector and competition from other research institutions and industry when it comes to attracting the best minds. Thus, the turnover of academic staff and managers has noticeably increased in the past years. And the upcoming generational change in the next few years at the managerial level will be well prepared not to let gaps occur in the first place. The creation of other divisions will provide an incentive for high-performance members of staff: career options will expand for those who want to prove their skills not only through independent work within BAM, but also through "visibility" outside. Not only does this refer to the presentation of research results in scientific journals but also to the transfer of knowledge into the industry. There are also important interfaces with colleges and universities – linking research and teaching has been intensively driven by BAM for a long time. This, too, improves the communication about and for safety.

As hard as steel at the start

Flexibility and the ability to adapt to new subject areas and to integrate them organisationally is really nothing new for BAM. Before 1871, the decisive impetus for BAM's founding originated from scientific studies on the strength of steel and iron for mechanical and railway engineering. Thus the key issue from the beginning was to increase the technical safety in the operation of (railway) facilities. This also helped the manufacturers in improving their products and ensuring their acceptance among the people. Therefore, all parties were interested in a government institute that produced standards for iron and steel and, as a neutral institution, was available for official and private testing orders for a fee. But the „Royal Mechanical-Technical Research Institute“ headed by the railway engineer and metal researcher Adolf Martens (1850 – 1914) quickly broke the limits of metallurgy and engineering and soon dealt with issues where chemical relationships were more important.

It started in 1883 with a request by the state for help. Because important documents yellowed as fast as newspapers, they became illegible and therefore useless. The sci-

entists improved the quality of the paper –, hardly comprehensible by today's standards, but then it was an invaluable progress. In 1894, the test station for construction materials was allocated to the research institute. This acquired high esteem through constantly improved methods for determining the quality of cement. And finally, as the Chemical-Technical Research Institute was integrated, it was renamed the Royal Materials Testing Office in 1904. These are ancient roots from which, by integrating other institutes over the years, a powerful departmental research institute for the safety in technology and chemistry emerged.

At that time the various areas of science could certainly still perform research largely independently. Physics and chemistry lived peacefully side by side, their intersections were comparatively small. Today, the boundaries are softened, the branches of the tree of knowledge are numerous and the depth of research has been driven immeasurably forward. One may be convinced of the current extent of the scope by looking at the examples shown in this Annual Report.

gungsverfahren“ und der „Integrität von Schweißverbindungen“. Sind es doch die Verbindungen der einzelnen Bauelemente, die (um im Wortsinn zu bleiben) durch das Zusammenfügen zu Komponenten im Ergebnis eine noch größere Einheit bilden. Und diese kann immer nur so stabil sein wie ihre Nahtstellen, die deswegen in Schadensfällen zu den ersten Verdächtigen gehören.

Die Nahtstellen verbessern – ein wichtiges Stichwort auch für die Sicherung des Nachwuchses. Schließlich macht der demografische Wandel auch vor den Naturwissenschaften nicht Halt, erschwerend kommen die Vergütungsstrukturen im Öffentlichen Dienst sowie die Konkurrenz durch andere Forschungseinrichtungen und seitens der Wirtschaft hinzu, wenn es darum geht, die besten Köpfe zu gewinnen. So hat in den vergangenen Jahren die Fluktuation von wissenschaftlichen Mitarbeitern und Führungskräften spürbar zugenommen. Und der in den nächsten Jahren bevorstehende Generationenwechsel auf der Leitungsebene will gut vorbereitet sein, um Lücken gar nicht erst auftreten zu lassen: Mit der Schaffung neuer Fachbereiche bietet sich insgesamt ein Anreiz für leistungsstarke Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die Karriereoptionen erweitern sich für jene, die ihre Fähigkeiten nicht nur durch eigenständige Arbeit im Haus beweisen, sondern auch durch „Sichtbarkeit“ außerhalb. Das betrifft nicht nur die Präsentation von Forschungsergebnissen in Fachpublikationen sondern auch die Über-



Am jährlichen Girlsday hat der potenzielle „wissenschaftliche Nachwuchs“ Gelegenheit, erste Bekanntschaft mit der BAM zu schließen.

The annual "Girlsday" gives the potential scientific offspring the chance of a first encounter with BAM.

führung der Erkenntnisse in die Wirtschaft. Wichtige Nahtstellen gibt es auch zu Hochschulen und Universitäten – die Verknüpfung von Forschung und Lehre wird an der BAM seit langem schon intensiv vorangetrieben. Auch das verbessert die Kommunikation, mit und für die Sicherheit.

Stahlhart am Start

Flexibilität sowie die Fähigkeit, sich auf neue Fachgebiete einzustellen und sie organisatorisch zu integrieren, ist für die BAM wahrlich nichts Neues. Zwar erwachsen bis zum Jahr 1871 die entscheidenden Impulse für ihre Gründung zunächst aus wissenschaftlichen Untersuchungen über die Festigkeit von Stahl und Eisen für den Maschinen- und Eisenbahnbau. Von Anfang an ging es also darum, die technische Sicherheit im Betrieb von (Bahn-)Anlagen zu erhöhen. Dies half allerdings auch den Herstellern dabei, ihre Produkte zu verbessern und deren Akzeptanz in der Bevölkerung zu sichern. Daher waren alle Beteiligten an einer staatlichen Einrichtung interessiert, die Normen für Eisen und Stähle vorgibt und die als neutrale Institution gegen Gebühr auch für amtliche sowie private Prüfaufträge zur Verfügung steht. Doch die „Königliche mechanisch-technische Versuchsanstalt“ unter der Leitung des Eisenbahningenieurs und Metallforschers Adolf Martens (1850 – 1914) sprengte schnell die Grenzen der Metallurgie und Technik, sie befasste sich bald auch mit Themen, bei denen die chemischen Zusammenhänge immer wichtiger wurden.

Es begann ab 1883 mit einem Hilferuf des Staates, denn seine wichtigen Dokumente vergilbten ebenso schnell wie

Zeitungen, sie wurden unleserlich und damit unbrauchbar. Die Wissenschaftler verbesserten die Papierqualität – ein heute kaum nachvollziehbarer, aber damals unschätzbare Fortschritt. 1894 wurde der Versuchsanstalt die Prüfungsstation für Baumaterialien zugeordnet. Diese hatte es durch stetig verbesserte Verfahren zur Feststellung der Zementgüte zu hohem Ansehen gebracht. Und als schließlich die Chemisch-Technische Versuchsanstalt integriert wurde, folgte die Umbenennung zum Königlichen Materialprüfungsamt im Jahr 1904. Es sind diese alten Wurzeln, aus denen über die Jahre hinweg mit der Integration weiterer Einrichtungen eine leistungsstarke Ressortforschungseinrichtung für die Sicherheit in Technik und Chemie hervorgegangen ist.

Zu jener Zeit konnten die einzelnen Wissenschaftsbereiche freilich noch weitgehend eigenständig forschen. Physik und Chemie etwa lebten einträchtig nebeneinander her, ihre Schnittmengen waren noch vergleichsweise klein. Heute sind die Grenzen aufgeweicht, die Zweige des Wissensbaums vervielfacht, die Forschungstiefe immens vorangetrieben. Von der aktuellen Breite der Palette mag man sich an jenen Beispielen überzeugen, die in diesem Jahresbericht abgebildet sind.



Harvesting asparagus
in Beelitz

Spargelernte in Beelitz

A solid base for entrepreneurs

What does Beelitz asparagus have in common with a novel technique for joining ceramics? From the gourmet's perspective really not very much, but by way of scientific knowledge to everyday practice – everything: “EXIST”, a funding programme of the Federal Ministry of Economics and Technology (co-funded by the European Social Fund) initiated in 2009, is paving the way. As successful projects impressively prove, the start-up environment has improved at research institutions and the number of technology- and knowledge-based start-ups has increased. Because all too often, scientists develop solutions in university and non-university institutions which are urgently needed “outside” in industry, but for which, under certain circumstances, no immediate investor can be found. Do you have to put the new ideas on the pile of documents for subsequent resubmission? No, because EXIST offers two lines of support for such developers: the founders' scholarship and research transfer. This is a programme that propels outstanding, research-based start-up projects which are associated with complex and risky development work in to “spin-offs”.

Let's look at these two examples, first the ceramic-bonding technology. The procedure de-

veloped to application readiness at BAM solves a manufacturing problem which had plagued the technicians in connection with this material: complicated forms could simply not be manufactured, individual parts could not be fitted into a single complex structure. At the same time, this material has an immense advantage over others that wear out too quickly. Ceramics can withstand corrosive chemicals and are much less sensitive to high temperatures than metal. And in terms of wear resistance, they may compete with many metals or even exceed them depending on their composition.

Physicist Carl Paulick from the BAM Department Materials Engineering (5) therefore improved an existing injection moulding method (Low Pressure Injection Moulding, LPIM) to the extent that the resulting ceramic intermediate product (green body) can be strongly bound together simply by temperature and pressure. This produces the desired, complex structured entity where, after further processing stages in the kiln (debinding, sintering), the bonding zones become (almost) as solid as the base material itself. Paulick had his process patented and, with two BAM colleagues, founded the company Fügetechnik Berlin-Brandenburg

Ein fester Grund für Gründer

Was hat Beelitzer Spargel mit einer neuartigen Füge­technik für Keramik zu tun? Aus dem Blickwinkel des Gourmets wirklich nicht viel, aber vom Weg der wissenschaftlichen Erkenntnis in die Alltagspraxis hinein alles: „EXIST“, ein 2009 aufgelegtes Förderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (vom Europäischen Sozialfonds kofinanziert), ebnet diesen Weg. Wie erfolgreiche Projekte eindrucksvoll belegen, wird damit das Gründungsklima an Forschungseinrichtungen verbessert und die Zahl der technologie- und wissensbasierten Unternehmensgründungen gesteigert. Denn allzu oft entwickeln Wissenschaftler an universitären und außeruniversitären Einrichtungen Problemlösungen, die „draußen“, in der Wirtschaft, dringend benötigt werden, für die sich jedoch unter Umständen kein sofortiger Investor finden lässt. Muss man die neuartige Idee damit aber zur viel späteren Wiedervorlage auf den Aktenstapel legen? Nein, denn für solche Entwickler bietet EXIST zwei Förderlinien, das Gründerstipendium und den Forschungstransfer. Ein Programm also, um herausragende forschungsbasierte Gründungsvorhaben, die mit aufwändigen und risikoreichen Entwicklungsarbeiten verbunden sind, zu „Spin-Offs“ anzuschieben.

Sehen wir uns die beiden genannten Beispiele an, zunächst die Keramik-Füge­technik. Das an der BAM zur Anwendungsreife gebrachte Verfahren löst ein Fertigungsproblem, mit dem die-

ses Material die Techniker bislang quälte: Komplizierte Formen waren einfach nicht herstellbar, einzelne Teile ließen sich nicht zu einem einzigen komplexen Gebilde fügen. Dabei besitzt der Werkstoff immense Vorteile gegenüber anderen, die sich zu schnell abnutzen. Keramik hält etwa korrosive Chemikalien aus und ist viel unempfindlicher als Metall gegenüber hohen Temperaturen. Und in Sachen Verschleißfestigkeit kann sie je nach ihrer Zusammensetzung mit vielen Metallen mithalten oder diese gar noch übertreffen.

Diplom-Physiker Carl Paulick aus der BAM-Abteilung Werkstofftechnik (5) verbesserte daher ein vorhandenes Spritzgussverfahren (Low Pressure Injection Molding, LPIM) so weit, dass sich die daraus entstehenden keramischen Vorprodukte (Grünkörper) durch Temperatur und Druck gut miteinander verbinden lassen. Dabei entsteht das gewünschte, kompliziert aufgebaute Gebilde, das nach den weiteren Bearbeitungsstufen im Brennofen (Entbindern, Sintern) auch an den Füge­zonen (nahezu) so fest ist wie der Grundwerkstoff selbst. Paulick ließ sein Verfahren patentieren und gründete mit zwei BAM-Kollegen die Firma Füge­technik Berlin-Brandenburg, die kundenspezifische Produkte mit komplexen Geometrien aus Hochleistungskeramik für den industriellen Einsatz fertigen – als Einzelstücke oder in Serie.



Das Gründer-Team der Firma Füge­technik Berlin-Brandenburg (v.l.n.r.): C. Paulick, M. Feigl, N. Hatzijordanou, N. Hilker

The founder team of the company Füge­technik Berlin-Brandenburg (f.l.t.r.): C. Paulick, M. Feigl, N. Hatzijordanou, N. Hilker



Dr. Martin Rosner working at the thermal ionisation mass spectrometer

Dr. Martin Rosner
bei Arbeiten am
Thermionen-Massen-
spektrometer

(Berlin-Brandenburg Joining Technology), which produces customised high-performance ceramic products with complex geometries for industrial use – single copies or mass produced.

Now, back to the asparagus, the success of the founder scholarship can be shown in this example. Beelitz is a town in the southwest of Berlin, about 50 kilometres from the capital's centre. On the fields around Beelitz the noble vegetable grows very well – so well that the cropland appears to produce a multiple of what nature alone is able to do. This means that many a stalk which is sold at stalls in Berlin (labelled as originating from Beelitz), may have resided there for a short while but were not grown there. "Fraudulent labelling" the layman calls it and wonders while shopping, whether possibly cheaper imported goods have been foisted as a high quality indigenous product.

And this is where modern trace analysis enters the picture. Eventually – even before the asparagus cutter starts his work – nature has left its fingerprints on, or rather in, the stems. It's about chemical isotopes that are from that soil in which the plant has thrived. As anyone knows who has ever seen one of today's popular forensic thrillers on TV, it only takes an almost invisible crumb from the ground to detect the presence of the criminals at the scene. In the present case on trial here the perpetrator sells, together with the asparagus, all those clues which will seal his conviction.

The place of the independent expert's investigation is the laboratory of IsoAnalysis UG (the abbreviation "UG" stands for Unternehmerge-

sellschaft or entrepreneurial company, a popular variant of GmbH or Ltd in start-ups) which was founded in 2010. Dr. Martin Rosner from the BAM Department Analytical Chemistry; Reference Materials (1) used his knowledge of isotope analysis to offer this unique service in commercial and complex analytical technology to the market. He is the first private provider for a service that was previously offered by government laboratories.

It's a private service with a future, since fraud with wrongly declared food is becoming more common and this harms consumers and retailers alike. But the evidence is approaching: studies on paprika, for example, have shown that those from Israeli organic farming are significantly different to those from Central European greenhouses.

But how can the researchers actually clarify the differences in origin? The keyword has already been given: isotopes. Many chemical elements occur with different nuclear masses (number of protons plus neutrons), for example, carbon. By far the most common C isotope is the one with mass number 12, just over one percent occurs as ¹³C (both are stable) and then there's the rare radioactive ¹⁴C isotope that is used for radiocarbon dating. While undergoing β-decay, it is transformed into the stable nitrogen atom (from which it originated due to cosmic radiation).

So much about the principle of isotopes. The scientists, however, are concerned with the elements boron, strontium and lead and with the variation of the frequency of their isotopes in the samples. The tiny quantities are analysed very precisely and with the help of thermal ionisation mass spectrometry (TIMS). First, the sample is "digested" so that the chemist can specifically extract that element from the material mix which he will then determine quantitatively. By heating the sample, the material that has passed the pre-sorting is ionised, the ions can be re-sorted into isotopes and counted in the mass spectrometer according to their nuclear mass (an analytical instrument, which is also used for metal-based diagnostic techniques, page 26).

This means a lot of precision work. But it is also a warning to supermarkets who believe they can handle origin labeling in a not quite kosher way – and not only for Israeli organic paprika.

Nun zum Spargel, an ihm kann der Erfolg des Gründerstipendiums belegt werden. Beelitz ist eine Gemeinde im Südwesten Berlins, rund 50 Kilometer vom Zentrum der Hauptstadt entfernt. Auf den Feldern rund um Beelitz gedeiht das edle Gemüse besonders gut – so gut, dass die Anbauflächen ein Vielfaches dessen hergeben, was die Natur von allein erschaffen kann. Sprich: So manch ein Stängel, der an Buden in Berlin verkauft wird, hat vielleicht mal kurz bei Beelitz gelegen, ist da jedoch gar nicht gewachsen. „Etikettenschwindel“ nennt's der Laie, der sich beim Einkauf fragt, ob ihm womöglich preisgünstigere Importware als hochwertiges einheimisches Erzeugnis untergejubelt werden soll.

Da tritt die moderne Spurenanalytik auf den Plan. Schließlich hat – bevor noch der Spargelstecher zulangt – die Natur ihren Fingerabdruck auf, besser: in den Stangen hinterlassen. Es geht um chemische Isotope, die aus demjenigen Boden stammen, in dem die Pflanze gediehen ist. Wie jeder weiß, der schon einmal einen der heute so beliebten Forensik-Krimis im TV gesehen hat, genügt schon ein fast unsichtbarer Krümel Erdreich aus, dem Verbrecher die Anwesenheit am Tatort nachzuweisen. In dem hier zur Verhandlung anstehenden Fall freilich verkauft der Täter mit dem Spargel sogar all jene Indizien, die seine Verurteilung besiegeln.

Ort der gutachterlichen Ermittlung ist das Labor der im Jahr 2010 gegründeten IsoAnalysis UG (das Kürzel „UG“ steht für Unternehmergeellschaft, eine bei Firmengründungen beliebte Variante der GmbH). Dr. Martin Rosner aus der BAM-Abteilung Analytische Chemie; Referenzmaterialien (1) nutzte sein Wissen über Isotopenanalytik, um diese komplexe und kommerziell einzigartige Dienstleistung in der Analytik auf dem Markt zu offerieren. Erstmals ein privater Anbieter also für eine Nachfrage, die bisher von staatlichen Labors gedeckt wurde.

Ein privates Dienstleistungsangebot mit Zukunft, schließlich kommt der Betrug mit falsch deklarierten Lebensmitteln immer häufiger vor, was Konsumenten und Handel gleichermaßen schädigt. Doch der Nachweis naht: So ergaben beispielsweise Untersuchungen an Paprika, dass sich jene aus israelischem Bio-Anbau deutlich von denen aus mitteleuropäischen Gewächshäusern unterscheiden.

Aber wie können die Forscher tatsächlich die Herkunftsunterschiede ausmachen? Das Stichwort ist schon gefallen: Isotopen. Viele chemische Elemente kommen nämlich mit unterschiedlichen Kernmassen (Zahl der Protonen und Neutronen) vor, Kohlenstoff zum Beispiel. Das mit Abstand häufigste C-Isotop ist jenes mit der Massenzahl 12, gut ein Prozent kommt als ^{13}C vor (beide sind stabil) und dann gibt es noch jenes seltene Isotop, das als radioaktives ^{14}C für die Radiocarbonmethode zum Datierungsnachweis verwendet wird. Unter β -Zerfall wandelt es sich zum stabilen Stickstoffatom (aus dem es aufgrund kosmischer Strahlung auch mal entstanden ist).

Soviel zum Prinzip der Isotopie. Den Wissenschaftlern geht es hier jedoch um die Elemente Bor, Strontium und Blei, um die Variation der Häufigkeit ihrer Isotope in der jeweiligen Probe. Analysiert werden die winzigen Mengen dennoch sehr genau, und zwar mit Hilfe der thermischen Ionisationsmassenspektrometrie (TIMS). Zuvor wird die Probe „aufgeschlossen“, damit holt der Chemiker aus dem Materialmix gezielt jenes Element heraus, das er anschließend quantitativ bestimmen will. Durch das Erhitzen dieser Probe ionisiert der Stoff, der die Vorsortierung passiert hat, die Ionen können im Massenspektrometer entsprechend ihrer Kernmasse bis in die Isotopen hinein nachsortiert und gezählt werden (ein Analyseinstrument, das auch für metallbasierte Diagnoseverfahren eingesetzt wird, Seite 27).

Viel aufwändige Präzisionsarbeit, also. Aber eben auch ein Warnhinweis an Einkaufsmärkte, die glauben, sie könnten es mit der Herkunftsauszeichnung nicht ganz koscher zugehen lassen – und das nicht nur bei israelischem Bio-Paprika.

Kontakt/Contact

IsoAnalysis UG

info@isoanalysis.de

www.isoanalysis.de

Fügetechnik Berlin-Brandenburg GmbH

info@fuegetechnik-berlin.de

www.fuegetechnik-berlin.de



Topping out ceremony in Berlin-Adlershof; from left: Prof. Dr. Manfred Hennecke, President of BAM, Rita Ruoff-Breuer, President of the Federal Office for Building and Regional Planning and Assistant Secretary General Günther Hoffmann of the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development

Richtfest in Adlershof; von links: Prof. Dr. Manfred Hennecke, Präsident der BAM, Rita Ruoff-Breuer, Präsidentin des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Ministerialdirektor Günther Hoffmann, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

The right chemistry

Many a saying is often repeated without much thought of the tradition behind it, but sometimes they carry a deeper meaning. As was the case on 11 July last year at the topping out ceremony of the new BAM facility in Berlin-Adlershof, when the construction foreman Achmed Yonkus said in his speech: "May God bless the people who work here and preserve them from harm" This facility will house special laboratories for hazardous substances and trace analysis therefore the work performed here requires very special care. But the foreman's traditional plea for safety actually refers to a much larger scope, which extends far beyond Richard-Willstätter Street. For the tests performed here are supposed to protect people and their property outside, far beyond this building. After all, the knowledge gained here is often used for federal, European or even world-wide safety regulations.

When the three-storey building is completed as planned in autumn 2011, it will extend the two existing buildings at this BAM Adlershof science campus location by more than 14,000 square metres. This means room for approximately 150 employees who are currently working in rented, cramped quarters in the area, explained BAM president Manfred Hennecke. The Adlershof science campus now houses around 800 companies and institutions, includ-

ing Humboldt University (HU) science faculties. It is a place where the chemistry between all occupants is just right because of their different approaches.

Both HU and BAM benefit from their partnership cooperation, a particular advantage for BAM is having direct access to junior scientists, according to Hennecke. In order to improve research capabilities in analytical chemistry and to make the location more attractive for young people, BAM supports the HU proposal to create a graduate school for analytical sciences (abbr.: "SALSA" School of Analytical Sciences Adlershof) at this location. BAM's goal is to promote the integrated interdisciplinary cooperation of different disciplines (e.g. biology, physics and didactics) and to translate scientific results into practical applications.

The link between both institutions has existed for years - the director of BAM's Division 1 (Analytical Chemistry and Reference Materials), Ulrich Panne, is also a professor of chemistry at HU. And this is not an isolated case because the combination of targeted research and teaching junior scientists is generally high on BAM's priority list.

Consequently, the new building will therefore also include a pilot plant, a research facility

Hier stimmt die Chemie

Manch ein Spruch wird bei passender Gelegenheit zwar aus alter Tradition routinemäßig wiederholt, bisweilen trägt er jedoch eine tieferreichende Bedeutung. So auch am 11. Juli vergangenen Jahres, als der Polier Achmed Yonkus beim Richtfest des Neubaus der BAM in Berlin-Adlershof in seiner Ansprache die Bitte äußerte: „Möge Gott die Menschen, die hier arbeiten, vor Schaden bewahren!“ Nun entstehen an diesem Ort unter anderem Speziallabore für Gefahrstoff- und Spurenanalytik, die Arbeit darin erfordert also eine ganz besondere Sorgfalt. Aber der traditionelle Wunsch des Poliers nach Schadensvermeidung betrifft eigentlich einen viel größeren Geltungsbereich, weit über die Richard-Willstätter-Straße hinaus. Denn die Untersuchungen, die hier stattfinden werden, sollen ja Menschen und ihre Sachwerte schützen – draußen, außerhalb dieses Sondergebäudes. Schließlich fließen die hier gewonnenen Erkenntnisse oft in bundes-, europa- oder gar weltweit geltende Sicherheitsvorschriften ein.

Wenn das dreigeschossige Gebäude im Herbst dieses Jahres planmäßig fertiggestellt ist, dann ergänzt es die beiden bereits vorhandenen Bauten der BAM am Wissenschaftsstandort Adlershof um eine Nutzfläche von mehr als 14 000 Quadratmeter. Platz für etwa 150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die sich derzeit zum Teil in angemieteten, meist beengten Räumen in der Umgebung befinden, erläuterte BAM-Präsident Manfred Hennecke.

Der Standort Adlershof zählt inzwischen um die 800 Unternehmen und Einrichtungen, darunter auch naturwissenschaftliche Fakultäten der Humboldt-Universität (HU). Ein Ort, an dem die Chemie zwischen den Beteiligten gerade wegen der ganz unterschiedlichen Ansätze stimmen dürfte.

Von der Zusammenarbeit zwischen HU und BAM profitieren beide Partner; ein Vorteil für die BAM liegt laut Hennecke im direkten Zugang zum wissenschaftlichen Nachwuchs. Um die Forschungsmöglichkeiten in der Analytischen Chemie zu verbessern und die Attraktivität des Standortes für junge Leute zu steigern, unterstützt die BAM den Antrag der HU hier eine Graduiertenschule für analytische Wissenschaften einzurichten (Kürzel: „SALSA“ School of Analytical Sciences Adlershof). Ihr Ziel ist es auch, die interdisziplinäre Zusammenarbeit un-

terschiedlicher Fachrichtungen (etwa Biologie, Physik und Didaktik) zu fördern und die Ergebnisse in die praktische Anwendung zu überführen.

Die Verbindung beider Einrichtungen währt freilich schon seit Jahren, so ist der Leiter der BAM-Abteilung 1 (Analytische Chemie; Referenzmaterialien), Ulrich Panne, gleichzeitig Professor für Chemie an der HU. Und damit ist er kein Einzelfall, denn die Verbindung von anlassbezogener Forschung und der Lehre des Nachwuchses steht bei der BAM generell weit oben auf der Prioritätenliste.

Konsequenter Weise wird der Neubau daher auch ein Technikum erhalten, eine Forschungseinrichtung, die wichtige Erkenntnisse beim „Hochskalieren“ chemischer Abläufe ermöglicht. Denn was im Reagenzglas funktioniert, kann bei der großtechnischen Anwendung im Industriebetrieb Probleme bereiten. Insofern müssen sich Entwickler langsam an immer größere Verfahrenswege „herantasten“. Ein Technikum bietet alle notwendigen Apparaturen im dafür so wichtigen mittleren Bereich zwischen „winzig klein“ und „ganz groß“, Schwierigkeiten oder gar Gefahren können dabei schrittweise von Größenstufe zu Größenstufe erkannt und beseitigt werden.

Eine intensive Kooperation kennzeichnete bereits die Abläufe bis zur Fertigstellung des Rohbaus zwischen den Beteiligten: Der BAM, dem Architektenbüro kleyer.koblitz.letzel.freivogel, der ausführenden Firma BATEG Ingenieurbau GmbH und dem eigentlichen Bauherren, dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Immerhin finanziert der Bund die neue Einrichtung mit 40 Mio. Euro. Günther Hoffmann, der zuständige Abteilungsleiter des Ministeriums, wies denn auch auf die Herausforderungen hin, die dieser anspruchsvolle Spezialbau gestellt hat. So müssen jene Bereiche des Baukörpers von Erschütterungen abgekoppelt werden, in denen hochsensible Messgeräte (wie zum Beispiel ein Kernspinresonanzspektroskop) korrekte Ergebnisse liefern sollen. Und die Sicherheit im Umgang mit gefährlichen Stoffen musste bei der Planung der Räumlichkeiten ebenfalls berücksichtigt werden.

which will facilitate important research in the “up scaling” of chemical processes. Because what works in a test tube can cause problems when up scaled for operation in large industrial applications. Therefore, engineers have to move towards ever larger scale processes by increments. A pilot plant has all the necessary equipment for the important middle range between “tiny” and “very large” – difficulties or hazards can be identified and eliminated progressively, from stage to stage.

The process of completing the shell of the building has already been characterised by intensive cooperation between all parties: BAM, the architects from kleyer.koblitz.letzel.freivogel, the contractor, BATEG Engineering GmbH, and the actual building owner, the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development. After all, the federal government funded the new facility with 40 million euros. Günther Hoffmann, department head of the Ministry, pointed out some of the challenges in constructing this unique building. For example, parts of the structure where highly sensitive measuring instruments (such as a nuclear magnetic resonance spectroscopy instruments) have to deliver accurate results, must be totally isolated from vibration. Safety aspects of handling hazardous materials also had to be considered in the planning of the building.



The rewards of curiosity

The general public is also curious about the detective work in research analytical chemistry when the issues are presented in such a way that makes it apparent to lay people how exciting this work is. At the „Long Night of Science“ on 28 May 2010, the scientists in the Adlershof BAM laboratories captured the attention of almost 700 curious visitors. On that occasion, the objects examined were as valuable as the information: with the help of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), visitors learned about what metals euro coins are made of, and gold coins which the visitors had brought were tested for their actual precious metal content.

And who would have guessed that loudspeakers can keep fluids in a state of hovering? Well, ultrasound from special sources can capture droplets in an acoustic trap for analytical examination. The advantage is that the liquid and the substances dissolved in it are

suspended without contact. This is how chemical reactions can be examined without being compromised by the walls of vessels (adhesion, uneven distribution of micro quantities). This increases the accuracy of measurements, the precision of the analysis and, in the end, the accuracy of the result.



Neugierige vor!

Die oft schon detektivische Züge aufweisende Forschung in der Analytischen Chemie stößt ganz offensichtlich auf ein wachsendes Interesse in der Öffentlichkeit – wenn man die Themen so präsentiert, dass auch Laien merken, wie spannend die Arbeit ist. Zur „Langen Nacht der Wissenschaften“ am 28. Mai des vergangenen Jahres gelang es den Wissenschaftlern in den Adlershofer BAM-Laboren, die Aufmerksamkeit von knapp 700 Neugierigen zu fesseln. So wertvoll wie die Informationen waren allerdings auch die Gegenstände der Betrachtung: Da erfuhren die Besucher etwa mit Hilfe der Laserinduzierten Plasmaspektroskopie (LIBS), aus welchen Metallen die Euromünzen bestehen. Mitgebrachte Goldstücke konnten auf ihren wahren Edelmetallgehalt überprüft werden.

Und wer hätte geahnt, dass Lautsprecher Flüssigkeiten in der Schwebe halten? Gut, es ist Ultraschall aus speziellen Quellen, mit dessen Hilfe Tröpfchen für analytische Untersuchungen gleichsam in einer akustischen Falle gefangen gehalten werden. Der Vorteil: Die Flüssigkeit und die darin gelösten Substanzen schweben berührungslos. Untersuchungen von chemischen Reaktionen können hiermit ohne Beeinträchtigung etwa durch Gefäßwände (Adhäsion, unpräzise Verteilung von Kleinstmengen) stattfinden. Das erhöht die Genauigkeit der Messung, die Präzision der Analyse und zuguterletzt die Sicherheit der Aussage.

Ein Jahr nach der Grundsteinlegung (Bild auf Seite 18: Prof. M. Hennecke, Architekt A. Koblitz und G. Hoffmann, v.l.) nimmt der Neubau Gestalt an.

One year after laying the foundation stone (Figure on page 18: Prof. M. Hennecke, architect A. Koblitz and G. Hoffmann, f.l.) – the new building is taking shape.



Professor Dr.-Ing. Ulrich Krause | Institut für Apparate- und Umwelttechnik, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Das Thema Anlagensicherheit zieht sich wie ein roter Faden durch mein berufliches Leben. Anlagensicherheit in der Kernforschung, im Staubexplosions- und im Brandschutz sind die Bereiche, in denen ich wissenschaftlich tätig war. Kernforschung war Teil meines Studiums an der Technischen Universität Dresden. Mit dem Einstieg in die BAM 1991 begann ich, reaktive Prozesse durch numerische Simulationen zu untersuchen. Ein reaktiver Prozess konnte ein Schwelbrand in Kakaopulver, Lykopodiumstaub oder in einer Kohlehalde sein bis hin zu Explosionen von Stäuben. Die theoretischen Ergebnisse haben wir danach experimentell überprüft. Experiment und Simulation: beide zusammen sind wichtig.

Im Jahr 2006 wechselte ich innerhalb der BAM in den Bereich Brandschutz und leitete die Fachgruppe Brandingenieurwesen. Simulationen zur Brand- und Rauchgasentwicklung in Häusern, Fahrzeugen oder einem Verkehrstunnel waren nun Gegenstand meiner wissenschaftlichen Untersuchungen. Stolz kann die BAM auf ihren neuen Tunnelprüfstand sein, dessen Bau ich noch begleitet habe. Hiermit können Tunnelbauteile auf ihre Brandbelastung bei realitätsnaher Krafteinwirkung untersucht werden. Die BAM ist mit ihren Investitionsmöglichkeiten in der Forschungsinfrastruktur unvergleichbar gut. Ein Grund mehr für mich eng mit der BAM zu kooperieren. Mehrere meiner Doktoranden forschen derzeit in der BAM und weitere gemeinsame Forschungsvorhaben sind in Diskussion.

Professor Dr.-Ing. Ulrich Krause | Institute of Instrumental and Environmental Technology, Process and Systems Engineering Faculty at the Otto-von-Guericke-University Magdeburg

The topic of plant safety runs like a thread through my professional life. As a scientist I have worked in plant safety in nuclear research, in dust explosion and fire protection. Nuclear research was part of my studies at the Technical University of Dresden. When I joined BAM 1991, I began to

study reactive processes using numerical simulations. A reactive process might be a smoldering fire in cocoa powder, lycopodium powder or in a coal tip, or even a dust explosion. The theoretical results we then verified experimentally. Experiment and simulation – both are important. In 2006 I changed positions within BAM and became head of the Fire Engineering Division. My focus now was on simulations of fire and smoke propagation in homes, vehicles or tunnels. BAM can be proud of their new tunnel test stand, the construction of which I witnessed. In it, the exposure of tunnel components to fire can be examined under close to real life conditions. BAM is unparalleled in terms of its investment capabilities in research infrastructure, which is yet another reason for me to cooperate closely with BAM. Several of my post graduate students currently do research at BAM, and other joint research projects are being discussed.



Dr. Nazmir Presser | Leiterin der Abteilung Technologie-Entwicklung für Hochspannungsschaltanlagen SIEMENS AG, Berlin

Mich motivieren Aufgaben, die meine Kenntnisse erweitern. Einer der Gründe, als ich mich 1994 im Bereich Akkreditierung an der BAM beworben habe. Als frisch promovierte Festkörperphysikerin war diese Tätigkeit ein außergewöhnlicher Exkurs. Ich arbeitete damals für den Deutschen Akkreditierungsrat und beschäftigte mich mit der Vereinheitlichung der technischen Anforderungen und Angaben zu Unsicherheiten für die weltweit gegenseitige Anerkennung von Prüfberichten.

Nach viereinhalb Jahren Akkreditierung habe ich eine berufliche Veränderung gesucht. Ich wollte in die Wirtschaft und so wechselte ich zu SIEMENS. Mobilfunk mit UMTS-Standards, Business Development, Product Portfolio Management, Markteinführungsstrategien und Leitung einer Software-Entwicklungsabteilung waren dort die Kerninhalte meiner Tätigkeiten. Heute leite ich den Bereich Technology Research für die Entwicklung von Hochspannungsschalt-

anlagen. Elektrotechnik, Stromübertragung, Erwärmung, Kräfteeinwirkung sind jetzt meine Themen. Wir arbeiten daran, neue Technologien in ihrer Leistung und Funktionalität weiter zu entwickeln und gleichzeitig deren Einsparpotentiale zu evaluieren. Denn: Reduzierte Produktkosten beeinflussen das Systemgeschäft. Die Arbeit in einem Unternehmen wie SIEMENS ist zielorientiert und bietet umfangreiche Entwicklungsmöglichkeiten für den eigenen beruflichen Weg. Immer im Netzwerk zu denken und zu handeln: Das habe ich von der Zeit bei der BAM am meisten mitgenommen.

Dr. Nazmir Presser | Head of Power Transmission Division for High Voltage Substations at SIEMENS AG, Berlin

I am motivated by challenges which expand my knowledge – which is one of the reasons why I chose to apply to BAM's accreditation department in 1994. As a newly graduated solid-state physicist, this was an unusual step. At the time I was at the German Accreditation Council working on the standardisation of technical requirements and uncertainty specifications for the mutual worldwide recognition of test reports.

After four years in accreditation I was looking for a career change. I wanted to go into the business world and so joined SIEMENS. My work there included UMTS mobile phones, business development strategies, product portfolio management, market launch strategies and the management of a software development department. Today I lead the Technology Research department for the development of high voltage substations. Electrical engineering, power transmission, heating, and impact forces are my topics these days. We work on further enhancing new technologies in terms of performance and functionality while evaluating their savings potential – because reduced product costs affect the overall business system. Work at a company like Siemens is goal oriented and offers up extensive career path development opportunities. To always think and act while keeping the whole network in mind was my biggest takeaway from my time at BAM.

Dr. -Ing. Jarlath McHugh | BMW Group Labortechnik, Zuverlässigkeit und Schadenanalyse

Ich kam im Jahr 1996 aus London mit einem Bachelor-Abschluss in die BAM und wechselte 13 Jahre später als promovierter Ingenieur in die Wirtschaft. Dazwischen lag eine spannende Zeit mit viel Wissenschaft und persönlicher Weiterentwicklung.

Anfangs beschäftigte ich mich mit der Charakterisierung von Kunststoffen, woraus sich mein Thema für den Master in Science ergab. Danach forschte ich an der Entwicklung von Prüfmethode mit Hilfe der Ultraschallmesstechnik. Dieses Thema vertiefte ich dann in meiner Dissertation.



Frisch promoviert wechselte ich in ein mittelständiges Unternehmen als Entwicklungsingenieur CFK und Leichtbau. Heute bin ich bei BMW in Landshut tätig. Hier unterstütze ich die Fertigung von CFK-Bauteilen. BMW setzt diesen Werkstoff für Automobile mit Elektroantrieb ein. Die Serienproduktion soll im Jahr 2013 in Leipzig starten. Es ist für mich eine große Herausforderung an der Entwicklung dieses neuen Automobilkonzepts beteiligt zu sein. Dabei hilft mir mein an der BAM erlangtes Wissen zur Materialcharakterisierung und die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit meinen ehemaligen Kollegen sehr. Mit Dr. Wolfgang Stark arbeite ich derzeit zum Thema Harzsysteme und mit Dr. Volker Trappe über Fragen zu CFK-Bauteilen zusammen. Ich hoffe, dass wir diese Kooperation auch in der Zukunft weiter ausbauen können.

Dr. -Ing. Jarlath McHugh | BMW Group Laboratory Technology, Reliability and Failure Analysis

Armed with a bachelor's degree from London, I came to BAM in 1996, and then, 13 years later, with a doctorate in engineering went into private industry. The intervening time was exciting, filled with lots of science and personal growth. Initially I worked on the characterisation of plastics, which also became the topic of my Masters degree in Science. Then I researched the development of ultrasonic measurement test methods, the topic I focussed on in my dissertation. Right after graduation, I joined a medium-sized company as a CFRP and lightweight design development engineer.

Today I work for BMW in Landshut, in CFRP parts manufacturing. BMW uses this material in electric cars. The start of the series production is planned for 2013 in Leipzig. Being a part of the development of this new automobile concept is a big challenge for me. The materials science knowledge I acquired at BAM and the relationship of trust with my former colleagues continues to be a great help. I work now with Dr. Wolfgang Stark on resin systems and with Dr. Volker Trappe on CFRP components and hope to further expand our cooperation in future.



Today outdoor clothing and umbrellas are often coated with nanomaterials.

Wetterfeste Kleidung und Regenschirme sind heute oft nanobeschichtet.

Great effort to measure a small world

The world of nanotechnology is growing rapidly: everyday products increasingly contain additives whose particles measure only a few millionths of a millimetre – antibacterial or dirt-repellent coatings, paints, pharmaceuticals, cosmetics, textiles, and even food packaging can no longer “do” without them. However, no one knows what dangers these substances can produce. After all, materials often behave very differently at the nanoscale, both physically and chemically, than at the macro level. Therefore the Federal Institute for Risk Assessment (BfR), the Federal Environment Agency and the Association for Environmental and Nature Conservation of Germany (BUND) request that the manufacturers “avoid products which contain and may release nanomaterials as much as possible – as long as their effects on humans and the environment are largely unknown.” No one wants to prevent reasonable developments, the precautionary principle simply calls for restraint. Scientific studies show that nanoparticles can pass through cell membranes and move across other important barriers in the human body such as the blood-brain barrier. Reliable information on certain characteristics is only possible in individual cases and after thorough investigation. Where and how these particles act on organisms depends on many parameters.

These are all questions to which BAM has responded with its inter-departmental Working Committee “Nanotechnology”. The combined activities within this group provide a scientific basis for knowledge on which other evaluating institutions can rely. Finally, one must first characterise and classify any substance before one can make a statement on its behaviour in this or that environment. This requires a great deal of effort since a comprehensive physico-chemical

characterisation of nanoparticles includes the determination of properties such as size, shape, chemical composition, surface properties, agglomeration behaviour and stability. When regulation comes at the very end of the investigation and decision-making chain, all parties must be committed to the same procedures in the analysis. This is always the prerequisite of traceable measurement results everywhere. Thus BAM experts need to develop reliable test methods and reference materials. These developments help establish standards and technical rules on which legal regulation can be reliably founded. BAM’s research into aerosol emissions from laser printing devices shows how complicated this work can be in a particular case (page 70).

Of course, nanomaterials offer opportunities to improve the properties of materials. Fully in line with BAM’s fundamental tasks to enhance safety in engineering and chemistry, scientists undertake research on carbon nanotubes for example, which, as additives in plastics, can improve the flame retardant properties. Then, if used as impregnating agents for wood, nanocomposites containing titanium dioxide can meet several requirements. They can improve mechanical stability, resistance against harmful biological influences, flame protection and reduce water uptake. And carbon nanofibres can increase thermal conductivity, but reduce electrical conductivity in adhesives for microelectronic components.

The conclusion is, only those who recognise and minimise the risks of a technology can increase their benefits. A fast, comprehensive exchange of knowledge is indispensable.

Großer Aufwand zur Vermessung der kleinen Welt

Die Welt der Nanotechnik wächst rapide: Immer häufiger finden sich in Alltagsprodukten Zusatzstoffe, deren Partikel nur wenige Millionstel Millimeter messen – antibakterielle oder Schmutz abweisende Beschichtungen, Farbstoffe, Pharmazeutika, Kosmetika, Textilien, ja selbst Verpackungen für Nahrungsmittel kommen nicht mehr „ohne“ aus. Dabei weiß niemand, welche Gefahren solche Substanzen heraufbeschwören können. Immerhin verhalten sich Stoffe auf der Nanoskala physikalisch und chemisch meist ganz anders als auf der Makroebene. Daher fordern das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), das Umweltbundesamt sowie der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschlands (BUND) die Hersteller auf, „Produkte, die Nanomaterialien enthalten und freisetzen können – so lange ihre Wirkung auf Mensch und Umwelt weitgehend unbekannt ist – möglichst zu vermeiden.“ Niemand möchte sinnvolle Entwicklungen verhindern, aber das Vorsorgeprinzip verlangt Zurückhaltung. So zeigen wissenschaftliche Studien, dass Nanopartikel Zellmembranen und andere wichtige Barrieren im menschlichen Körper wie die Blut-Hirn-Schranke überwinden können. Verlässliche Aussagen zu bestimmten Eigenschaften sind jeweils nur im Einzelfall und nach eingehenden Untersuchungen möglich, da es von vielen Parametern abhängt, wo und wie diese Teilchen auf Organismen wirken können.

Fragen, auf die die BAM mit ihrem abteilungsübergreifenden Arbeitskreis Nanotechnologie reagiert. Die im Arbeitskreis gebündelten Aktivitäten der BAM liefern wissenschaftliche

Farben und Lacke enthalten oft auch Nanopartikel.

Paint and varnish often contain nanoparticles.



Grundlagen und Erkenntnisse, auf denen andere, bewertende Institutionen aufbauen können. Schließlich muss man jedwede Substanz zunächst charakterisieren und klassifizieren, bevor man eine Aussage zu ihrem Verhalten in dieser oder jener Umgebung machen kann. Dies erfordert einen hohen Aufwand, denn zu einer umfassenden physikalisch-chemischen Nanopartikel-Charakterisierung gehört die Erfassung von Eigenschaften wie etwa Größe, Form, chemische Zusammensetzung, Oberflächenbeschaffenheit, Agglomerationsverhalten und Stabilität. Wenn ganz am Ende der Untersuchungs- und Entscheidungskette aber eine Regulierung stehen soll, müssen alle Beteiligten auf die selben Vorgehensweisen in der Analytik verpflichtet werden, nur so kommt man stets und überall zu nachvollziehbaren Messergebnissen. Also müssen die BAM-Experten zuverlässige Prüfverfahren und Referenzmaterialien entwickeln. Diese Entwicklungen dienen der Erarbeitung von Normen und Technischen Standards, auf die sich rechtliche Regelwerke verbindlich beziehen können. Wie kompliziert diese Arbeit im Einzelfall werden kann, zeigt die BAM-Forschung an Aerosolemissionen aus Laserdruckgeräten (Seite 71).

Freilich bieten Nanomaterialien Chancen, die Eigenschaften von Werkstoffen zu verbessern. Ganz im Sinne der grundsätzlichen Aufgabe der BAM, die Sicherheit in Technik und Chemie weiterzuentwickeln, forschen die Wissenschaftler daher zum Beispiel an Nanoröhrchen aus Kohlenstoff, die als Zugabe in Kunststoffen unter anderem den Flammschutz erhöhen. Weiter: Als Imprägnierungsmittel für Holz erfüllen (titandioxid-haltige) Nanokomposite gleich mehrere Aufgaben. Sie verbessern die mechanische Stabilität, die Resistenz gegen biologische Schadeinflüsse, den Flammschutz und verringern die Wasseraufnahme. Und Carbon-Nanofasern erhöhen die thermische, aber senken die elektrische Leitfähigkeit in Klebstoffen für mikroelektronische Bauteile.

Fazit: Nur wer die Risiken einer Technik erkennt und minimiert, kann ihren Nutzen mehren. Ein schneller, umfassender Wissensaustausch ist dafür unabdingbar.

Kontakt/Contact

Dr. Mark A. Bader

mark-andreas.bader@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-3845

Arbeitskreis Nanotechnologie

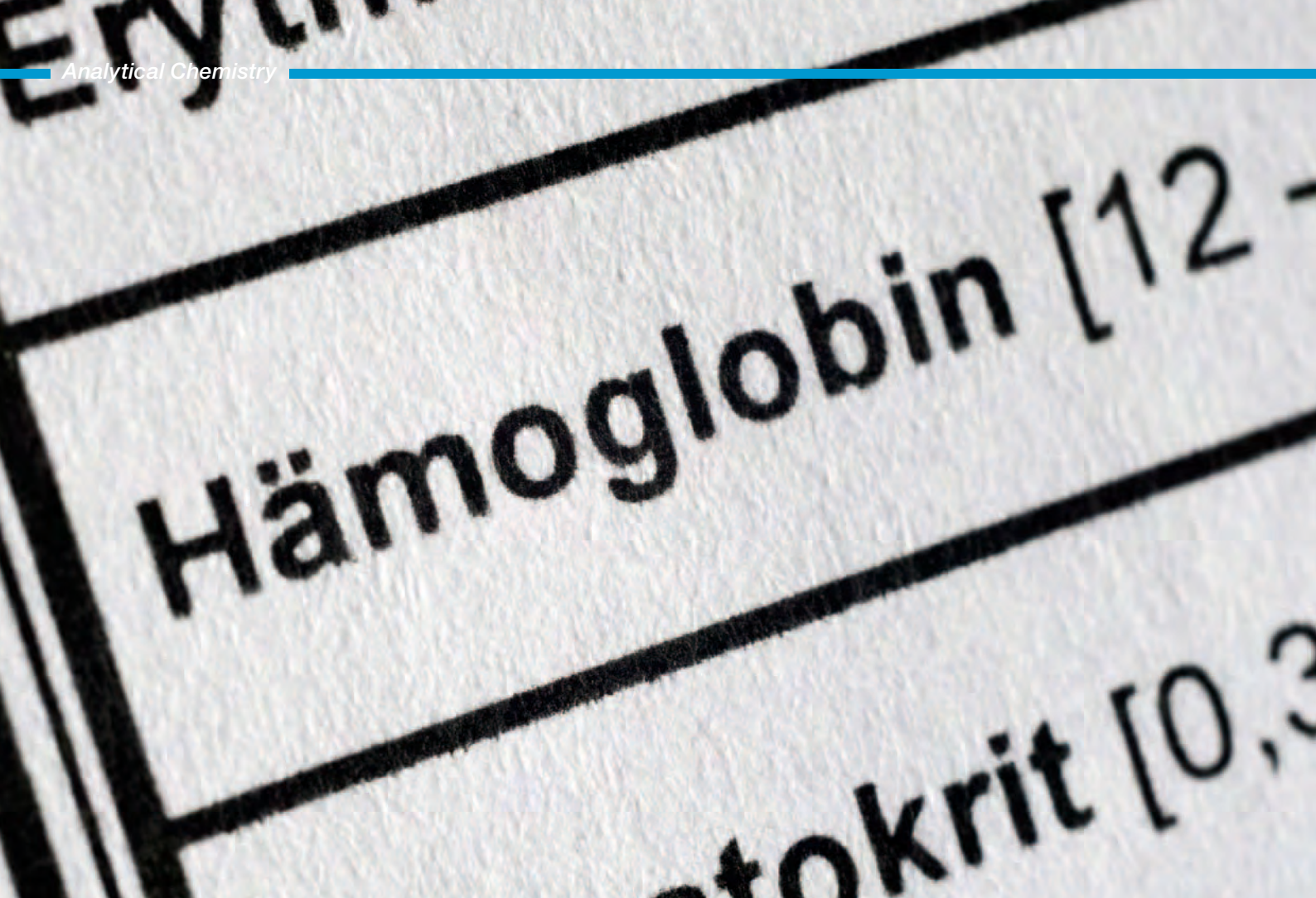
Working Committee Nanotechnology





Frucht- oder Farbstoffcocktail?
Markthalle in der Rambla Barcelona,
Spanien

*Fruit or dye cocktail?
Market hall in Las Ramblas in Barcelona,
Spain*



Detail of a diagnostic sheet

Detail eines Diagnoseblattes

Learning „Multitasking“ diagnostic procedures

Behind every good doctor there is a laboratory that provides the data needed for a correct diagnosis. But where do the methods come from and who is constantly improving them? It is increasingly the experts in analytical chemistry because this science has, for a long time, been indispensable in the development of increasingly sophisticated diagnostics in medicine. The aim is to obtain more information, faster, at a higher level of confidence and cheaper than before, always including prevention and early detection, so that a series of investigations on certain occupational or age groups becomes affordable – especially where previously common means of analysis are reaching their limits. Considerable progress has now been reported by Dr. Larissa Wöntig of the BAM Division 1.1 (Inorganic Trace Analysis). Together with an industrial partner, the Proteome Factory AG and Dr. Peter Roos from Leibniz Research Centre for Working Environment and Human Factors (IfADo), the researchers have been successfully working on the introduction of metal-based diagnostic procedures. Their advantage is that they can analyse up to 20 different parameters in one go. The research project runs under the framework of the MSTQ transfer which sup-

ports small and medium enterprises in the implementation of innovations in the areas of measurement, standards, testing and quality assurance.

Illnesses usually have a longer history; the organism resists even before physical impairment becomes noticeable. It has a whole series of protein molecules (proteins) of complex structure ready: the antibodies of the immune system are the best known. In addition, the body must break down pollutants, which happens predominantly in the liver. Specific biocatalysts are involved in this detoxification, for instance „cytochromes P450 (CYP)“. They form a whole family of enzymes of which there are currently 60 subtypes known.

Sometimes however, these enzymes cause more harm than good. One example is benzo[a]pyrene: a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), which develops due to incomplete oxidation of organic materials; it occurs in cigarette smoke and in barbeque food if charcoal is used. The enzyme subtypes CYP 1A1 and CYP 1B1 convert PAH, but into such degradation products that attack the DNA of cells, thus

MSTQ measurement, standards, testing and quality assurance

CYP cytochromes P450

PAH polycyclic aromatic hydrocarbon

Diagnoseverfahren lernen „Multitasking“

Hinter jedem guten Arzt steht ein Labor, das ihm die für eine korrekte Diagnose wichtigen Daten liefert. Doch woher stammen die Verfahren, wer verbessert sie beständig? Es sind in zunehmendem Maße die Experten der Analytischen Chemie, denn diese Wissenschaft ist bei der Entwicklung einer immer feineren Diagnostik in der Medizin schon lange unverzichtbar. Mehr erkennen, und das in kürzerer Zeit, mit größerer Nachweissicherheit und alles preiswerter als zuvor, stets auch Prävention und Früherkennung als Ziel vor Augen, damit Reihenuntersuchungen an bestimmten Berufs- oder Altersgruppen erschwinglich werden – gerade dort, wo die bislang gebräuchlichen Mittel der Analytik an ihre Grenzen stoßen. Von entscheidenden Fortschritten berichtet nun Dr. Larissa Wäntig aus dem BAM-Fachbereich 1.1 (Anorganische Spurenanalytik). Gemeinsam mit einem Industriepartner, der Proteome Factory AG und Dr. Peter Roos vom Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo), arbeiten die Forscher erfolgreich an der Einführung metallbasierter Diagnoseverfahren. Deren Vorteil besteht darin, in einem Arbeitsgang bis zu 20 unterschiedliche Parameter zu analysieren. Das Forschungsvorhaben läuft im Rahmen des MNPQ-Transfers zur Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen bei der Umsetzung von Innovationen in den Bereichen Messen, Normen, Prüfen und Qualitätssicherung.

Erkrankungen haben meist eine längere Vorgeschichte; schon bevor eine körperliche Beeinträchtigung spürbar wird, wehrt sich der Organismus. Er hält dafür eine ganze Reihe kompliziert aufgebauter Eiweißmoleküle (Proteine) bereit, am bekanntesten sind die Antikörper des Immunsystems. Darüber hinaus muss der

Körper aber auch Schadstoffe zerlegen, das geschieht vorrangig in der Leber. An dieser Entgiftung sind chemikalien-spezifische Biokatalysatoren beteiligt, etwa die „Cytochromen P450 (CYP)“. Sie bilden eine ganze Familie von Enzymen, derzeit sind 60 Subtypen bekannt.

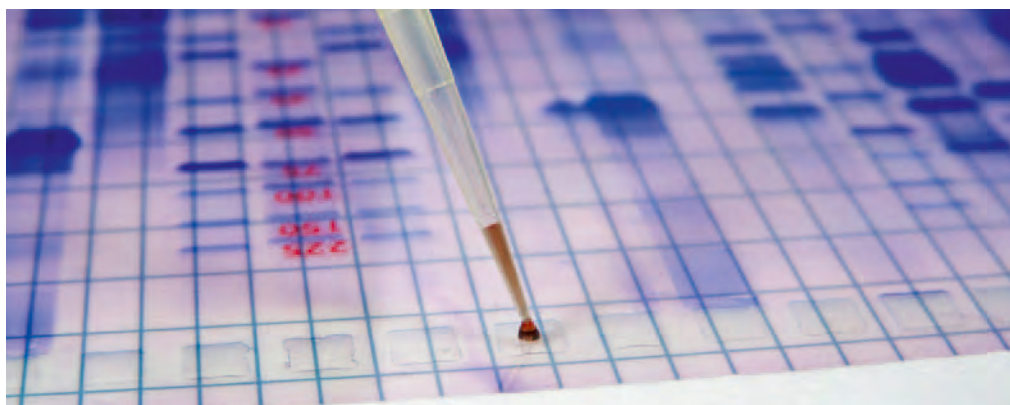
Bisweilen richten diese Enzyme allerdings mehr Schaden als Nutzen an – ein Beispiel: Benzo[a]pyren ist ein polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff (PAK), der bei unvollständiger Verbrennung organischer Stoffe entsteht; er ist im Zigarettenrauch enthalten und auf Grillgut, wenn Holzkohle verwendet wird. Die Enzym-Subtypen CYP 1A1 und CYP 1B1 wandeln den PAK um, aber ausgerechnet in solche Abbauprodukte, welche die DNS von Zellen angreifen, also Krebs auslösen können. Umso wichtiger ist es also, Menschen generell vor dem Einwirken des Benzo[a]pyrens zu schützen.

Nun werden auch die jeweiligen CYP von den Zellen erst dann in höheren Mengen synthetisiert, wenn es eine entsprechende Belastung gibt (Stichworte: Enzyminduktion und Proteinexpression). Daher ist für die Wissenschaftler der Umkehrschluss interessant: Finden sich im Blut beruflich exponierter Personen höhere Werte der spezifischen CYP, dann sind sie tatsächlich einer stärkeren Schadstoff-Immission ausgesetzt. Die Untersuchung stellt also ein Werkzeug zur Risikobewertung dar, mit dessen Hilfe am Arbeitsplatz angepasste Vorsorge- und Schutzmaßnahmen eingeleitet werden können. Aber wie zählt man denn nun etwa CYP-Moleküle im Blut/Serum präzise? Technisch ist das nur möglich, wenn man andere, markierte Eiweißmoleküle (Antikörper) dazu bewegt, an den CYP „anzudocken“. Bislang arbeitet die Diagnostik mit Fluoreszenzmarkern, um die Antikör-

MNPQ Messen, Normen, Prüfen und Qualitätssicherung

CYP Cytochromen P450

PAK polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff



Horizontale Gel-Elektrophorese zur Trennung komplexer Proteinproben im elektrischen Feld

Horizontal gel electrophoresis for the separation of complex protein samples in the electric field

triggering cancer. It is all the more important therefore to generally protect humans from the action of benzo[a]pyrene.

Now the respective CYPs are only synthesised by the cells in large amounts if there is an equivalent loading (keywords: enzyme induction and protein expression). Therefore scientists are interested in the reverse conclusion: if higher values of the specific CYP can be found in the blood of occupationally exposed persons, then they are actually being exposed to a greater pollutant emission. The study therefore provides a tool for risk assessment with the help of suitable workplace protection and prevention measures.

But, for instance, how can CYP molecules in the blood/serum be counted precisely? This is technically only possible when other labelled protein molecules (antibodies) are „docked“ to the CYP. Diagnostic methods have so far used fluorescence markers to make the antibodies visible and quantifiable which means only a maximum of four groups of biomolecules can be determined in one go. Therefore the metal-based method with up to 20 measurement parameters is becoming of great interest to researchers.

At this point, the lanthanides come into the play. They comprise 14 chemical elements, all metals such as cerium, neodymium and gadolinium, colloquially and incorrectly called „rare earths“. If certain metal atoms are attached to a specific antibody which is known to couple to the enzyme looked for then this becomes a significant characteristic later. Appropriate antibodies can for example be obtained from animals and the spectrum of tracers can still be extended with the help of other metals.

How this works can be best understood by looking at the system in context, as the scientists are developing not only new marker reagents, but also optimising the complete diagnostic system, including hardware and software. In simplified terms, this step by step is as follows:

Since the samples may contain several hundred proteins and enzymes, there must be a pre-sorting. For this purpose the material is dripped onto a carrier plate spread with a gel layer and placed under an electrical current (SDS PAGE gel electrophoresis). Driven by the electrical field, the molecules now migrate into the gel depending upon their size – the smaller ones penetrate deeper than the larger ones. In a further step, the different molecules are sorted according to their size and the distribution is transferred to a membrane as if they were spots (Western Blot). Meanwhile the antibodies – already provided with their metal markers – are prepared in a solution, a „reagent cocktail“ as it were. Then the protein sample present on the wet membrane is incubated so that the antibodies can dock specifically to the desired „protein spots“.

The important areas for investigation on the membrane are now removed as an aerosol by a high-power laser beam (laser ablation). The extremely hot gas arrives at the mass spectrometer with inductively coupled high-frequency plasma (ICP MS). At a temperature of 6000 °C all chemical compounds fragment and the atoms become ionised. Nothing is left of the protein and antibody molecules but this no longer matters. It is only their metal ions that play a key role. They are sorted based on their mass while passing through the device and detected and counted afterwards. Thus, which proteins were present in the original sample and in what number can be precisely identified.

Benzo[a]pyrene and CYP are used here only as an example of a pair for modelling the method. The research project aims to further develop the components so that cancer cells from thin tissue sections or even still in the body fluids can be provided with marked antibodies, determined and quantified. Even rapid tests could be developed based on the metal-based diagnostic method for implementing the European Chemical Regulation (REACH). The regulation makes the re-evaluation of the toxicity of approximately 100,000 chemicals necessary – a task that, without the ability of „multitasking, could probably not be mastered within a reasonable amount of time“.

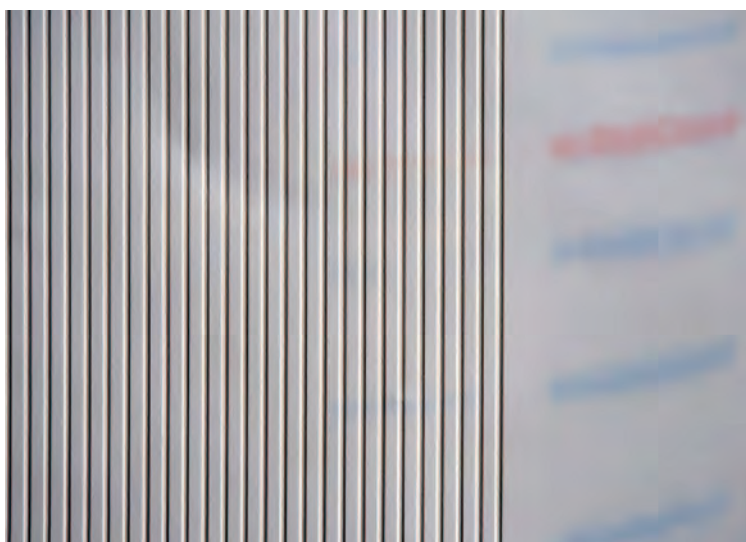
per sicht- und quantifizierbar zu machen. Damit lassen sich freilich in einem Durchgang nur maximal vier Biomolekülgruppen erfassen. Deshalb rückt jetzt das metallbasierte Verfahren mit seinen bis zu 20 Messparametern in den Fokus der Forscher.

An diesem Punkt kommen die Lanthanoiden ins Spiel. Das sind 14 chemische Elemente, allesamt Metalle wie etwa Cer, Neodym und Gadolinium, umgangssprachlich und fälschlich „seltene Erden“ genannt. Befestigt man bestimmte Metallatome an einem speziellen Antikörper, von dem man weiß, dass er an dem gesuchten Enzym ankoppelt, dann wird das später zum signifikanten Merkmal. Entsprechende Antikörper lassen sich zum Beispiel aus Tieren gewinnen und mit Hilfe weiterer Metalle lässt sich das Spektrum der Marker noch erweitern.

Wie das funktioniert, betrachten wir am besten im Systemzusammenhang, denn die Wissenschaftler entwickeln nicht nur neue Marker-Reagenzien, sondern optimieren das komplette Diagnosesystem, samt Hard- und Software. Vereinfacht dargestellt, sieht das Schritt für Schritt so aus:

Da die Proben mehrere hundert Proteine und Enzyme enthalten können, muss eine Vorsortierung stattfinden. Dazu wird das Material auf einen mit einer Gelschicht ausgestatteten Träger aufgetropft und unter elektrischen Strom gesetzt (SDS-PAGE Gel-Elektrophorese). Von dem elektrischen Feld getrieben, wandern nun die Moleküle je nach ihrer Größe in das Gel hinein – die kleineren tiefer als die größeren. In einem weiteren Schritt werden die nach der Größenverteilung sortierten, unterschiedlichen Moleküle gleichsam als Punkte auf eine Membran übertragen (Western-Blot). Derweil liegen die Antikörper – bereits mit ihren Metallmarkern versehen – in einer Lösung bereit, sozusagen als „Reagenz-Cocktail“. Und damit wird die auf der Membran vorliegende Proteinprobe benetzt, inkubiert, so dass die Antikörper spezifisch an die gesuchten „Proteinpunkte“ andocken können.

Die für die Untersuchung wichtigen Bereiche der Membran werden nun vom Strahl eines Hochleistungslasers als Aerosol abgetragen (Laser-Ablation). Das überaus heiße Gas gelangt zum Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Hochfrequenzplasma (ICP-MS).



Bei einer Temperatur von 6000 °C zerreißen alle chemischen Verbindungen, die Atome ionisieren. Von den Protein- und Antikörpermolekülen bleibt nichts mehr übrig, aber auf die kommt es jetzt nicht mehr an. Entscheidend sind nur ihre Metallionen. Sie werden beim Durchgang durch das Gerät anhand ihrer Masse sortiert und anschließend detektiert und gezählt. So lässt sich präzise erkennen, welche Proteine in welcher Anzahl in der Ursprungsprobe vorhanden waren.

Benzo[a]pyren und CYP dienen hier nur als Beispielpaar für den Ansatz des Verfahrens. Das Forschungsvorhaben zielt darauf, die Komponenten so weit fortzuentwickeln, dass damit Krebszellen aus dünnen Gewebsschnitten heraus oder sogar noch in den Körperflüssigkeiten mit markierten Antikörpern versehen, bestimmt und quantifiziert werden können. Auf Grundlage der metallbasierten Diagnostik könnten sogar Schnelltests für Untersuchungen entwickelt werden, die der Umsetzung der europäischen Chemikalienrichtlinie (REACH) dienen. Die Regelung macht die Neubewertung der Toxizität von rund 100 000 Chemikalien notwendig – eine Aufgabe, die ohne die Fähigkeit zum „Multitasking“ wohl kaum zeitnah zu bewältigen ist.

Farbige Proteinbanden auf einer Membran, welche mittels Laserstrahl bereits teilweise ablatiert wurden.

Coloured protein bands on a membrane, which have already been partially ablated by laser beam.

Kontakt/Contact

Dr. Larissa Wäntig

larissa.waentig@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-1113

Abteilung 1/Department 1

Analytische Chemie; Referenzmaterialien

Analytical Chemistry; Reference Materials





Champagne drinking is socially acceptable because "nobody would deny a respectable glass".

Sekt trinken ist gesellschaftlich akzeptiert, denn „ein Gläschen in Ehren kann niemand verwehren“.

Identifying alcohol abuse reliably

Alcohol abuse has become a "social disease": about 2.5 million Germans are dependent on alcohol. According to the official surveys, another eight million people in Germany consume such a large amount of alcohol that they are considered strongly at risk. That some people are ruining their health might be dismissed as a private matter but the coin flips when they threaten the health and welfare of others when in charge of a vehicle or aircraft or in the workplace. Since alcoholism is an addiction and the person's ability to reason is limited, controls and sanctions are unavoidable. Improving the accuracy and precision of detection methods for such controls is the objective of researchers like Dr. Roland Becker from the BAM Division 1.2 (Organic Trace Analysis).

applicant must convince the examiner that he has overcome his alcohol problems. EtG in blood only proves an alcohol intake over a period of eight hours, in the urine however, it is at least 80 to 120 hours – so it can be detected even when alcohol in the body has been degraded some time before. But if one wants to check whether abstinence orders have been complied with over the longer term, much longer periods of time are required for the assessment. EtG measurement in hair, mainly scalp hair, makes it possible to increase the window of detection by up to several weeks.

Hair behaves like a "log", hair-forming cells in the follicles store completely different substances which are in the blood serum, virtually in real-time, into the keratin. Head hair grows on average about one centimetre per month, thus successive phases of alcohol consumption can be attributed to a certain hair segment with some accuracy and – comparable to the sheet of a tachograph, chemical analysis of the sections shows different values especially when the subject in fact remained abstinent from a certain point in time. EtG gets into the hair if ethyl alcohol has been previously supplied to

EtG ethyl glucuronide

Ethyl glucuronide (EtG) is one of several substances produced in the body as metabolic products (metabolites) of alcohol and can be used as alcohol abuse markers. This EtG has already been employed as evidence in blood serum and urine samples, for example, when someone had lost his driving license due to alcohol problems and wants to re-gain it, a medical-psychological examination is needed. The

Alkoholmissbrauch sicher erkennen

Alkoholmissbrauch ist zur „Volkskrankheit“ geworden: Rund 2,5 Millionen Bundesbürger sind bereits alkoholabhängig. Weitere acht Millionen Menschen in Deutschland konsumieren den amtlichen Erhebungen zufolge so viel davon, dass sie als stark gefährdet gelten. Dass die Betroffenen damit ihre Gesundheit ruinieren, mag man als Privatsache abtun. Viel wichtiger wird das Thema jedoch, sobald sie das Wohlergehen anderer riskieren, etwa am Lenker eines Fahr- oder Flugzeugs sowie am Arbeitsplatz. Da es sich beim Alkoholismus um eine Sucht-krankheit handelt, ist die Einsichtsfähigkeit des Personenkreises recht begrenzt, Kontrollen und Sanktionen sind daher unverzichtbar. Die Richtigkeit und Präzision der Nachweismethoden für solche Kontrollen zu verbessern, dies ist das Ziel von Forschern wie Dr. Roland Becker aus dem BAM-Fachbereich 1.2 (Organische Spurenanalytik).

Es geht um eine von mehreren Substanzen, die im Körper als Stoffwechselprodukte (Metaboliten) des Alkohols entstehen und daher als Alkoholmissbrauchsmarker bezeichnet werden: Ethylglucuronid (EtG). Dieses EtG wird bereits als Nachweis in Blutserum- und Urinproben verwendet, zum Beispiel wenn es nach einem alkoholbedingten Verlust der Fahrerlaubnis gilt, sie nach einer Medizinisch-Psychologischen Untersuchung wieder zu erlangen. Der Antragsteller muss die Prüfer schließlich davon überzeugen, dass er seine Alkoholprobleme überwunden hat. Im Blut weist EtG eine Alkoholeinnahme über einen Zeitraum von nur acht Stunden hinweg nach, im Urin sind es immerhin 80 bis 120 Stunden – also auch noch dann, wenn der Alkohol im Körper schon längst abgebaut ist. Wer jedoch überprüfen will, ob Abstinenzanordnungen dauerhaft eingehalten worden sind, benötigt deutlich längere Zeitabschnitte für die Einschätzung. Mit EtG-Messungen in Haaren, vorrangig mit Hilfe der Kopfbehaarung, gelingt es inzwischen, das Zeitfenster für den Nachweis auf mehrere Wochen zu vergrößern.

Mehr noch: Haare verhalten sich wie ein „Fahrtenschreiber“, die haarbildenden Zellen in den Follikeln lagern ganz unterschiedliche Stoffe, die sich im Blutserum befinden, recht zeitnah in die Hornsubstanz ein. Kopfhaare wachsen im Durchschnitt etwa einen Zentimeter pro Monat, also lassen sich einem entsprechenden Haar-

segment mit einiger Genauigkeit auch jeweilige Phasen der Alkoholeinnahme zuordnen – dem Blatt eines Fahrtenschreibers vergleichbar, zeigen sich bei der chemischen Untersuchung der Abschnitte unterschiedliche Werte, vor allem dann, wenn der Proband von einem bestimmten Zeitpunkt an tatsächlich abstinent blieb. EtG gelangt eben nur ins Haar, sofern dem Organismus zuvor Ethylalkohol zugeführt worden ist, der in der Leber verarbeitet wird. Während andere Untersuchungen etwa des Blutes (Leberwerte) vergleichsweise langsam ablaufende Entwicklungen als eine Momentaufnahme darstellen, gelingt es bei der Haaranalyse, deutlich differenziertere Zustandsbeschreibungen abzubilden.

Gerade beim Alkoholkonsum, der in gewissen Grenzen gesellschaftlich akzeptiert ist, kommt es freilich nicht nur auf den pauschalen Nachweis an, sondern auf möglichst exakte Daten über die jeweils eingenommenen Mengen. Grundsätzlich erlaubt es die Analytik bereits, vier Stufen des Konsums zu unterscheiden. Sie reichen von „wahrscheinlicher Abstinenz“ (in der Diskussion ist ein EtG-Gehalt unterhalb von 10 Picogramm EtG pro Gramm Haarsubstanz) über „Nachweis erbracht“ (EtG leicht über 10 pg/g) und „moderater Trinker“ (unter 30 pg/g) bis hin zum „risikoreichen/chronisch-exzessiven Alkoholkonsum“ (über 30 pg). Picogramm, das sind Billionstel Gramm, also selbst für Fachleute aus der Analytischen Chemie nicht gerade sehr viel: Die Messunsicherheit der Verfahren kann bis zu 25 Prozent nach oben und unten betragen. Da mit dem Entzug der Fahrerlaubnis oft auch die wirtschaftliche Existenz des Betroffenen eingeschränkt ist, müssen diese Messunsicherheiten schon aus Gründen der juristischen Belastbarkeit der Daten so weit wie möglich verringert werden.

Für die übergeordnete Forschungsarbeit der BAM-Experten lautet das Stichwort daher: „Qualitätssicherung in der Analytik“, um Fehlerquellen jedweder Art zu erkennen und zu minimieren. So werden gegenwärtig mehrere Analyseverfahren zum EtG-Nachweis eingesetzt, die auf ihre Gleichwertigkeit überprüft werden müssen. Zur Qualitätssicherung gehört die Anfertigung von höchst präzisen Referenzmaterialien für die Kalibrierung von Messapparaturen der mit den Kontrollen befassten, meist privaten Analyselabore. Hier kooperiert die BAM mit der

EtG Ethylglucuronid

the organism and is then processed in the liver. While other tests e.g. blood (liver) provide snapshots of a comparatively slow process, hair analysis is capable of depicting different states and processes more clearly.

Since alcohol consumption is socially acceptable within certain limits, it is not only a fool-proof method that is needed, but accurate data on the amounts consumed. As it stands, analysis enables four levels of consumption to be distinguished. They range from “likely abstinence” (less than 10 picograms of EtG content per gram of hair substance, although this is currently being debated) through “verified” (EtG slightly above 10 pg/g) and “moderate drinker” (below 30 pg/g) to “high-risk/chronic-excessive alcohol consumption” (over 30 pg). The picogram is one billionth of a gram and even for analytical chemistry experts it is not really a large amount: measurement uncertainty can be 25 percent above and below. Since the withdrawal of a driving licence often results in a limited livelihood for those affected, these uncertainties must be reduced as far as possible for reasons of legal worth of the data.

For general research BAM's experts have the catchphrase “quality assurance in analysis technology” which aims to detect and minimise any kind of errors. Currently, several analytical methods are being used for EtG detection which must be checked for equivalence. Quality assurance includes the provision of highly accurate reference materials for the calibration of measurement equipment used in the tests by

Give-away: hair analysis provides information about the extent of alcohol consumption.

Verräterisch: Die Haaranalyse gibt Aufschluss über das Ausmaß des Alkoholkonsums.

mostly private analytical laboratories – an area where BAM cooperates with the company MEDICHEM Diagnostica. Correspondingly, BAM is involved in the development of hair reference materials, i.e. hair samples with known EtG concentrations for verification of the analytical methods in the laboratories. Moreover, BAM also plays a role in proficiency tests of such laboratories via interlaboratory comparisons.

But BAM scientists also want to obtain an insight into the incorporation mechanism of EtG into the hair. This could enable, for instance, the assessment of different methods of EtG incorporation. Alcohol metabolites can in fact get into the hair in different ways, the path considered so far is via the blood, but EtG can also enter via sweat.

Possibly a reliable immunochemical rapid test can be developed at some time in the future. Such methods work with proteins derived from animal organisms. These protein compounds react uniquely to certain substances as if they were part of the immune system of the organism. They dock to the alleged “intruder” creating a complex which can be made bioanalytically visible. Such rapid tests are now available for many drugs (and their metabolites, respectively) and for EtG in urine, but not just for EtG in hair.

The advantages of rapid tests are obvious: they can provide a cost-effective screening method that can also be used for purposes other than long-term monitoring of conspicuous alcoholics during their rehabilitation programme. Even particularly vulnerable professional groups for whom abstinence from alcohol or at least the absence of an alcohol problem is required can be easily checked. And finally, such a process would be helpful in clinical and addiction therapeutic practices for early detection of problematic alcohol use or for emerging and existing alcohol dependence. After all, it is important from a medical point of view to intervene as early as possible before organ damage occurs.





Geschnittene Haare zur Bestimmung des Alkoholmarkers Ethylglucuronid

Cut hair for the determination of the alcohol marker ethyl glucuronide

Firma MEDICHEM Diagnostica. Auch an der Entwicklung von Haarreferenzmaterialien, also Haarproben mit bekannten EtG-Gehalten für die Überprüfung des analytischen Verfahrens in den Laboratorien, ist die BAM beteiligt. Sie wirkt überdies an der Eignungsprüfung solcher Labore durch Ringversuche mit.

Doch die BAM-Forscher möchten auch Erkenntnisse über den Einlagerungsmechanismus von EtG in Haaren gewinnen. Damit ließen sich zum Beispiel individuelle Variationen der EtG-Einlagerung abschätzen. Metabolite des Alkohols können ja auf unterschiedlichen Wegen ins Haar gelangen, der bislang hauptsächlich betrachtete Weg führt übers Blut, EtG könnte aber auch über den Schweiß eingetragen werden.

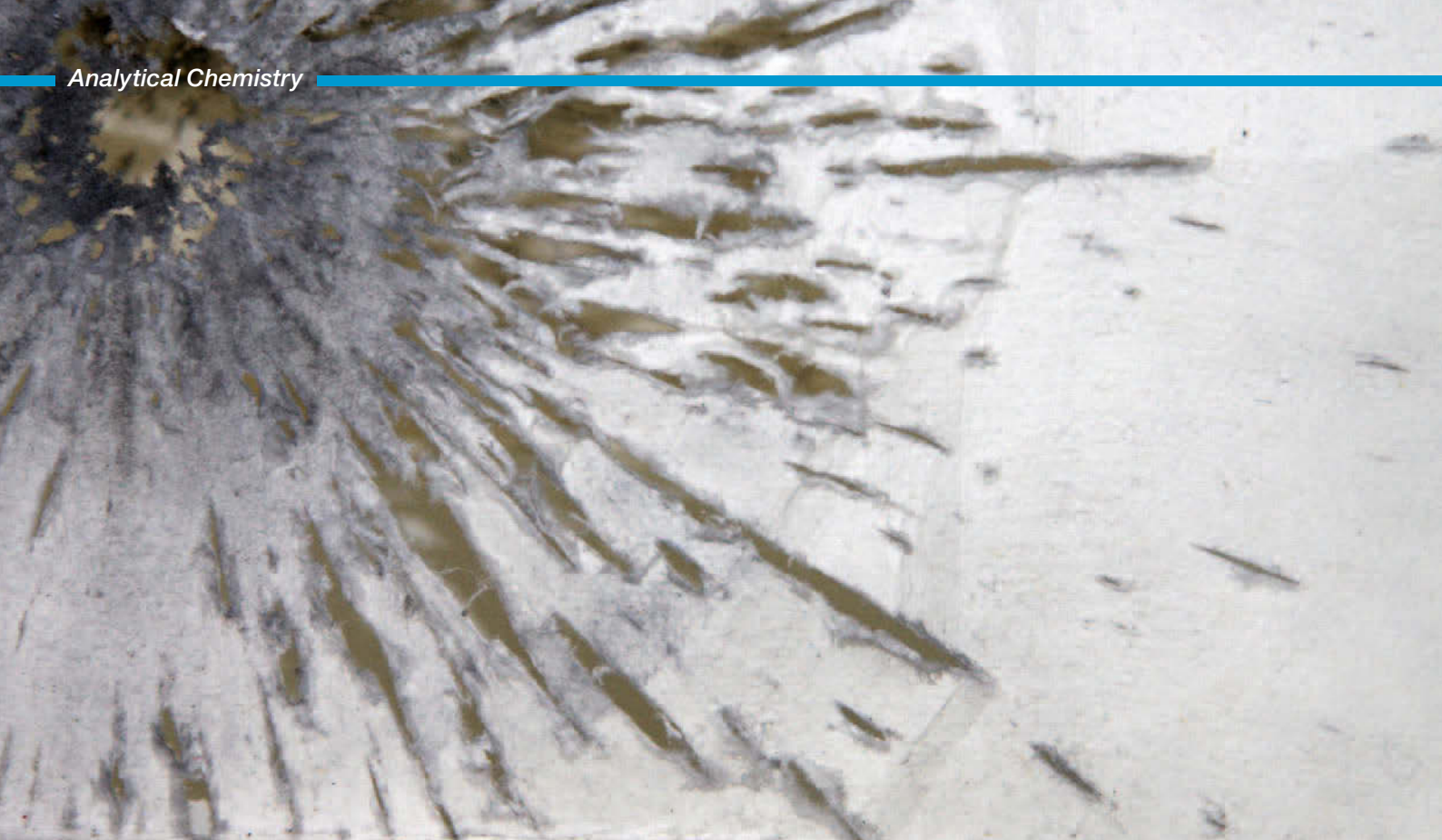
Womöglich lässt sich in einiger Zukunft auch ein zuverlässiger immunochemischer Schnelltest entwickeln. Solche Verfahren arbeiten mit Proteinen, die aus tierischen Organismen gewonnen werden. Diese Eiweißverbindungen reagieren auf bestimmte Substanzen eindeutig, so, als wären sie ein Teil der Immunabwehr eines Organismus. Sie koppeln an den vermeintlichen „Eindringling“ zu einem Komplex an, welcher sich bioanalytisch sichtbar machen lässt. Derartige Schnelltests gibt es mittlerweile für etliche Drogen (respektive ihre Metaboliten), auch für EtG in Urin, nur eben noch nicht für EtG in Haaren.

Die Vorteile eines Schnelltests liegen auf der Hand: Damit bietet sich eine kostengünstige Screening-Methode an, mit der nicht nur alkoholauffällige Personen während ihres Rehabilitationsprogramms längerfristig überprüft werden könnten. Auch besonders gefährdete Berufsgruppen, für die Alkoholabstinenz oder zumindest das Fehlen einer Alkoholproblematik gefordert ist, ließen sich einfacher kontrollieren. Und schließlich käme ein solches Verfahren auch der klinischen und der suchttherapeutischen Praxis entgegen, zur Früherkennung eines problematischen Alkoholkonsums, einer entstehenden und einer bestehenden Alkoholabhängigkeit. Denn aus medizinischer Sicht ist es wichtig, möglichst rechtzeitig einzuschreiten, noch bevor es zu Organschäden kommt.

Kontakt/Contact

Dr. Roland Becker
roland.becker@bam.de
Telefon/phone: +49 30 8104-1121

Abteilung 1/Department 1
Analytische Chemie; Referenzmaterialien
Analytical Chemistry; Reference Materials



Detonation art in the exhibition of the Brandenburg Art Association "Once upon a fraction of time and other stories" by Aoife van Linden Tol

Detonationskunstobjekt der Ausstellung im Brandenburgischen Kunstverein „Once Upon a Fraction of Time and other Stories“ von Aoife van Linden Tol

Searching for the big bang in explosives

"Energetic material" (EM), this is what specialists call substances which the layman refers to as "explosives". But applications often change over time: 2,4,6-trinitrophenol (picric acid) has been used as an explosive filling for shells since 1886, today however, it is primarily used as a base for paints. In any case, incorrect handling of such EM should be avoided as it can lead to devastating consequences. When anyone wants to improve safety precautions to reduce accidents, you have to know the critical states of such materials and the origins of the hazards.

Scientists have long been looking deeper and deeper into the matter – even into the molecular structure. With tools developed for this purpose they can now take a close look at EMs under the microscope and, so to speak, are on the trail of the "Big Bang". The experts of BAM's Department 6 (Materials Protection and Surface Technologies) are included with those researchers who explore this new territory in order to prevent damage. They are exploring the triggering mechanisms together with their colleagues from the Department of Chemical Safety Engineering. And because it goes down to the nanometre range, Professor Dr. Heinz Sturm, Head of the Divisions Macrotribology and Wear Protection and Nanotribology and Nanostructuring of Surfaces, is dealing with this topic. He also heads the topic of tribology (sci-

ence of friction) at the Institute of Machine Tools and Factory Management of the Berlin Technical University, where he teaches "Initiation of energetic crystals" and "Static and dynamic mechanical properties at interfaces".

Boundary surfaces, in this case with air, generally attract the focus of scientists because it is here where the first powerful activity takes place long before much more violent reactions start in deeper areas. Surfaces are in contact with the environment, molecular particles are dissolved and then transformed into vapour where they decompose if the physicochemical conditions permit or even trigger it. External mechanical, electrical or thermal effects (pressure, friction, sparks, heat) first create „hot spots“ on/in EMs. They trigger a threatening phase of chemical conversion of the substance. Since heat is released, the material finally ignites via a chain reaction, as soon as a certain spread has been reached. This again depends on the proximity of hot spots from each other and the time period of their „flare“. As long as the chemical decomposition is isolated and takes place intermittently, the material remains "peaceful".

One could irreverently refer to EMs as „resting avalanches“, they possess a high energetic potential which can be released by a comparatively small influence. These substances consist

Auf der Suche nach dem Urknall im Sprengstoff

„Energetische Materialien“ (EM), so nennen Fachleute Substanzen, die der Laie eher als „Sprengstoffe“ bezeichnet. Doch mit den Zeiten ändern sich oft die Anwendungen: Das 2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure) etwa wurde zwar ab 1886 als explosive Füllung für Granaten genutzt, heute ist es aber vor allem ein Grundstoff für Farben. In jedem Fall gilt es, den falschen Umgang mit solchen EM zu vermeiden, da er zu verheerenden Folgen führen kann. Wer die Sicherheitsvorkehrungen gegen Unfälle verbessern will, muss also die kritischen Zustände solcher Stoffe und die Ursprünge von Gefahren kennen.

Seit einigen Jahren blicken Wissenschaftler immer tiefer in die Materie – bis hinein in den Molekülaufbau. Mit den dafür entwickelten Werkzeugen können sie jetzt auch EM genauer unters Mikroskop nehmen, hier sozusagen auf die Spur des „Urknalls“ gehen. Zu den Forschern, die dieses Neuland erkunden, um Schaden zu verhüten, gehören die Experten der BAM-Abteilung 6 (Materialschutz und Oberflächentechnik). Gemeinsam mit den Kollegen der Abteilung für chemische Sicherheitstechnik untersuchen sie die Auslösemechanismen intensiv. Und da es um den Bereich der Nanometer geht, ist der Leiter der Fachbereiche Makrotribologie und Verschleißschutz und Nanotribologie und Nanostrukturierung von Oberflächen mit diesem Thema befasst: Professor Dr. Heinz Sturm. Er vertritt überdies das Fachgebiet Tribologie (Reibungskunde) am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, wo er über die „Initiierung energetischer Kristalle“ sowie über „statische und dynamische mechanische Eigenschaften an Grenzflächen“ lehrt.

Grenzflächen, hier zur Luft, sind generell im Blickfeld der Wissenschaftler, weil dort meist starke Aktivität stattfindet, schon lange bevor es zu weit heftigeren Reaktionen in tieferen Bereichen kommt. Oberflächen stehen in Kontakt mit der Umgebung, hier lösen sich molekulare Partikel, gehen in Dampf über, hier zersetzen sie sich, falls es die physikalisch-chemischen Bedingungen gestatten oder gar auslösen. Bei EM entstehen hier durch äußere mechanische, elektrische oder thermische Einwirkung (Druck, Reibung, Funken, Erhitzung) zunächst die „Hot Spots“. Mit ihnen beginnt die chemische Umsetzung der Substanz bedrohlich zu werden.

Da Wärme freigesetzt wird, zündet das Material schließlich wie in einer Kettenreaktion durch, sobald eine bestimmte Ausbreitung erreicht ist. Diese ist wiederum abhängig von der Nähe der Spots zueinander und von der Zeitdauer ihres „Aufflackerns“. Solange der chemische Zerfall zu vereinzelt und zu kurzzeitig stattfindet, bleibt das Material „friedlich“.

EM könnte man respektlos als „ruhende Lawinen“ bezeichnen, sie besitzen ein hohes energetisches Potenzial, welches sich durch einen vergleichsweise geringen Anstoß freisetzen lässt. Diese Substanzen bestehen aus nicht sonderlich stabilen Verbindungen, die sich nach der Auslösung unter starker und schneller Energiefreisetzung zerlegen (Explosion mit Hitzeentwicklung und Druckwelle, Ausbreitungsgeschwindigkeit oberhalb der des Schalls: Detonation), wobei sich ihre Bausteine zu stabilen, gasförmigen Verbindungen umgruppieren. Beifügungen können helfen, die Auslöseschwelle des Zerfalls zu erhöhen, damit es nicht zu ungewollten Reaktionen kommt. Ein Beispiel: Alfred Nobel „zähmte“ das empfindliche Nitroglycerin durch Einlagerung in Kieselgur, er erfand 1867 das handhabbare Dynamit.

Zurück zu den „Hot Spots“: Wodurch entstehen sie? Kann man ihre Ursachen auf der Nanoskala untersuchen? Das Werkzeug der Wahl nennt sich Rastersondenmikroskop. Seine aus nur wenigen Atomen bestehende Spitze tastet die Probe ab wie die Nadel eines Plattenspielers die Rille der Vinylscheibe. Zudem wird die Spitze in Schwingungen versetzt, bis zu 300 000 Mal pro Sekunde. So oft kann sie an der Probe entweder „anklopfen“ (tapping mode), oder – in aufgesetzter Betriebsart – auf ihr in verschiedenen Richtungen reiben (contact mode). Für ein präzises dreidimensionales Abbild wird die Oberfläche mit der Tastspitze nur leicht berührt, das genügt der bildgebenden Elektronik zur Auswertung.

Zu den EM, die damit untersucht wurden, gehört das oben erwähnte 2,4,6-Trinitrophenol (TNP). Im Ersten Weltkrieg wurde die kristalline Substanz militärisch genutzt, besonders brisant sind seine Metallverbindungen (Salze, Pikrate). So explodierte am 6. Dezember 1917 im Hafen von Halifax (Kanada) ein Frachter mit 2300 Tonnen Pikrinsäure – 2000 Menschen starben, die halbe Stadt wurde verwüstet. Heute wird der

EM Energetische Materialien

TNP 2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure)

of not very stable compounds: they decompose after the trigger effect by a strong and rapid energy release (explosion with heat development and pressure wave, propagation exceeding the speed of sound: detonation), while their modules rearrange themselves to stable, gaseous compounds. Additives can help to increase the minimum trigger level of decomposition so there are no unwanted reactions. For example: Alfred Nobel "tamed" the sensitive nitroglycerin by incorporating diatomite so inventing the manageable form of dynamite in 1867.

Back to the "hot spots": How do they develop? Is it possible to investigate their causes at the nano-scale? The tool of choice is called the scanning probe microscope. Its tip consists of only a few atoms which scan the sample like the needle of a record player in the groove of a vinyl disc. In addition, the tip oscillates up to 300,000 times a second. It can either "knock" on the sample (tapping mode), or – in an interactive mode – rub it in different directions (contact mode). For a precise three-dimensional image, the surface must only be lightly touched by the probe tip which is sufficient for the imaging electronics to evaluate.

The scientist
Dr. Alexander Kovalev
doing research
at the atomic force
microscope

Der Wissenschaftler
Dr. Alexander Kovalev
bei Untersuchungen am
Rasterkraftmikroskop

2,4,6-trinitrophenol (TNP) mentioned above is one of the EMs. In World War One, the crystalline substance was used by the military; its

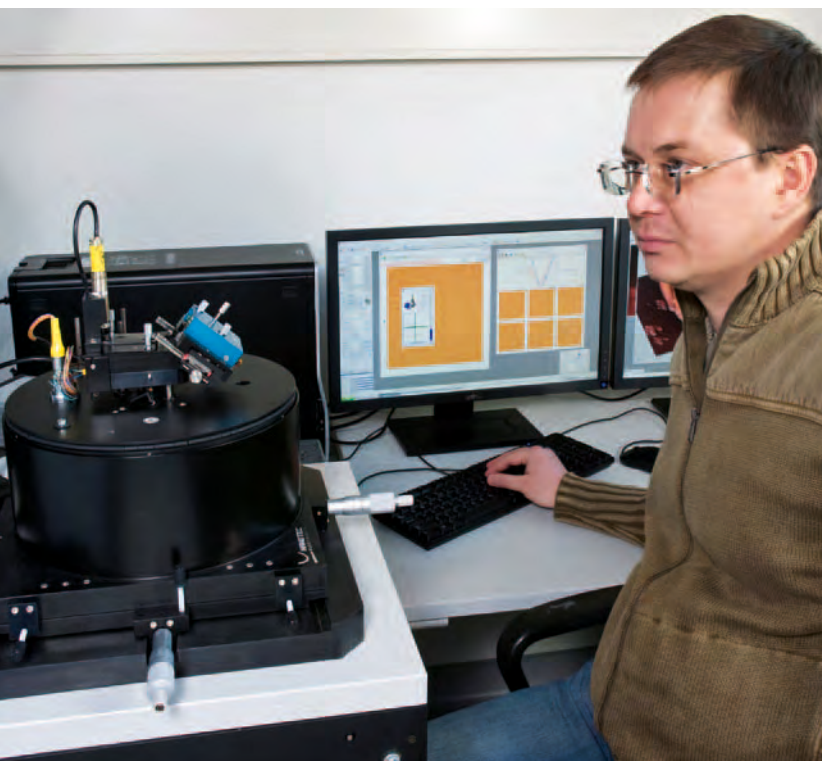
metal compounds (salts, picrates) being particularly explosive. Once, a freighter carrying 2,300 tons of picric acid exploded in the harbour of Halifax (Canada) on 6 December 1917 – 2,000 people died, half of the city was devastated. Today the material is only used (desensitised, "phlegmatised" with water) in the chemical industry and in organic analysis.

As the investigations of tiny samples under the scanning probe microscope showed, at normal pressure and temperature, movements constantly take place on the surface. The researchers observed for the first time spontaneous development of spherical nanoparticles. It was shown that heaps of molecules steadily separate themselves from the material (sublimation) primarily at the edges "of terraces" of the crystalline structure and they form a kind of vapour cloud at the surface. At other places however, adsorption (desublimation) was observed – the molecules visibly form new layers by self-assembly.

(Air) humidity, i.e. water which settles on the surface, encourages this process. A thin film develops within which the sublimated molecules are transported and from which the molecules can cross over to the surrounding gaseous phase. If this water film reaches its TNP saturation limit, some of the molecules group themselves together into round nanoparticles, however a large number of free TNP molecules still remain.

Still another important question remains: can the explosion be provoked at the nano-scale? The researchers tried it. They scratched the edge of a TNP crystal with the tip of the microscope. It reacted with the expected hot spots, but also with an immediate "self-healing": the scratch closed up again and the corner of the crystal disappeared so suddenly as if it had been literally blown off. However, the energy released was insufficient to ignite the EM completely and the chain reaction failed to materialise.

Nevertheless, the experiment was successful, the scientists could extend the model concept of hot spots by verifying its sub-processes. And in such a way they not only found traces of the "Big Bang" in the TNP, they also proved that scanning probe microscopy is a suitable tool for extending this knowledge. This also had to be proved.





Stoff nur (mit Wasser desensibilisiert, „phlegmatisiert“) in der chemischen Industrie und in der organischen Analytik eingesetzt.

Wie die Untersuchungen winziger Proben unter dem Rastersondenmikroskop zeigten, finden an der Oberfläche (bei Normaldruck und -temperatur) beständig Bewegungen statt. Die Forscher beobachteten erstmals die spontane Bildung kugelförmiger Nanopartikel. Es zeigte sich, dass sich vorrangig an den Kanten der „Terrassen“ des kristallinen Aufbaus fortlaufend Molekülhaufen vom Material lösen (Sublimation) und gleichsam eine Dampfwolke an der Oberfläche bilden. An anderen Stellen wiederum war eine Anlagerung (Desublimation) zu erkennen – die Moleküle bauen offenbar in Selbstorganisation neue Schichten auf.

(Luft-)Feuchtigkeit, also Wasser, das sich auf dieser Oberfläche niederschlägt, unterstützt diesen Vorgang. Es entsteht ein dünner Film, innerhalb dessen die sublimierten Moleküle transportiert werden, aus dem sie aber auch in die umgebende Gasphase übertreten können. Erreicht dieser Wasserfilm seine TNP-Sättigungsgrenze, gruppiert sich zwar ein Teil der Moleküle zu den runden Nanopartikeln zusammen, es bleibt aber immer noch eine große Zahl der freien TNP-Moleküle übrig.

Bleibt noch eine wichtige Frage: Lässt sich die Explosion auf der Nanoskala provozieren? Die

Forscher versuchten es. Sie kratzten mit der Tastspitze des Mikroskops über die Flanke eines TNP-Kristalls. Das reagierte mit den erwarteten Hot Spots, darüber hinaus aber mit sofortiger „Selbstheilung“: Der Kratzer wuchs wieder zu, wobei die Ecke des Kristalls so plötzlich verschwand, als wäre sie förmlich abgesprengt worden. Allerdings reichte die dabei freiwerdende Energie nicht, das EM komplett zu zünden, die Kettenreaktion blieb also aus.

Dennoch ist das Experiment gelungen, konnten die Wissenschaftler doch die Modellvorstellung des Hot Spots durch den Nachweis seiner Teilprozesse erweitern. Und so sind sie nicht nur dem „Urknall“ im TNP auf die Spur gekommen, sie haben zudem belegt, dass die Rastersondenmikroskopie ein gutes Werkzeug für diesen Wissenszuwachs darstellt. Auch das galt es zu beweisen.

Mit dem Rastersondenmikroskop werden Topographie und mechanische Eigenschaften einer Probe eines Energetischen Materials untersucht.

Atomic force microscope enables the topography and mechanical properties of a sample from an energetic material to be tested.

Kontakt/Contact

Prof. Dr. Heinz Sturm
heinz.sturm@bam.de
Telefon/phone: +49 30 8104-1810

Abteilung 6/Department 6
Materialschutz und Oberflächentechnik
Materials Protection and Surface Technologies



***Safe handling of dangerous materials
and dangerous goods***





Tankstelle in Pemuteran, Indonesien

Petrol station in Pemuteran, Indonesia



Robot character R2D2 (left) and C-3PO from the sci-fi series Star Wars

Roboterspielfiguren R2D2 (links) und C-3PO aus der Science-Fiction-Serie Star Wars

The buzzing inspector

Smart robots which buzz about autonomously while completing specified tasks as yet only exist in the movies. In reality, behind every manoeuvrable device which performs complex examinations is a human with a remote control. However, this will soon change if all goes well according to the plans of the participants in "Autonomics" which is subsidised with 50 million euros by the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). It comprises a total of twelve projects which are being researched by various consortia from universities, other institutions and private industry. One such project involves chemical safety and therefore requires the participation of experts on explosion protection and risk assessment in Division 2.1 (Gases, Gas Plants). This is where Dr. Ing. Abdel Karim Habib helps the "RoboGasInspector" to learn how to walk. The consortium is led by the University of Kassel and the project title is "Simulation aided design and evaluation of a human-machine system using autonomous mobile inspection robots for remote IR-optical gas leak detection and localisation in technical systems."

Just a few keywords for a big job, we therefore must first take a look at the problem. Chemical plants and the infrastructure of utility companies must not fail or sustain heavy damage, operational safety must be kept consistently high, and leaks in system components must be prevented at all times. According to legal regulations, extensive preventative and inspection programmes have been developed for this which require time consuming daily patrols to be completed by humans. Anyone who has ever seen an oil refinery, even from a distance, can imagine just how much effort is required to check this jungle of tubes down to the very last valve. No wonder then that the PCK refinery GmbH in Schwedt/Oder participates in the project. And such a highly visible facility is just one example of the complexity of technical structures with which the chemical industry works.

As complicated as such systems may be, for a human patrol, control quickly becomes monotonous. Moreover, it can be difficult to access some areas, and an inspector can only carry a limited amount of equipment. For routine inspections, he usually has to rely only on his senses and personal experience. But is that

Bald surrt der Kollege Inspektor

Schlaue Roboter, die eigenständig durch die Gegend surren und dabei vorgegebene Aufgaben erfüllen, die gibt es bisher nur im Kino. In der Wirklichkeit steckt bisher noch hinter jedem ortsbeweglichen Gerät, das komplizierte Untersuchungen vornimmt, ein Mensch an der Fernbedienung. Allerdings wird sich das bald ändern, wenn es nach dem Willen der Teilnehmer des Förderschwerpunkts „Autonomik“ geht, der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) mit 50 Millionen Euro bezuschusst wird. Er umfasst insgesamt zwölf Projekte, an deren Erforschung sich Teilnehmer aus universitären und außeruniversitären Einrichtungen sowie aus der Industrie zu Gruppen zusammengefunden haben. Eines dieser Vorhaben betrifft die chemische Sicherheitstechnik, und damit ist die Mitwirkung der Experten für Explosionsschutz und Risikobewertung im Fachbereich 2.1 (Gase, Gasanlagen) gefragt. Hier hilft Dr.-Ing. Abdel Karim Habib dabei, dem „RoboGasInspector“ das Laufen beizubringen. Geleitet wird das Konsortium von der Universität Kassel, der Titel des Projekts: „Simulationsgestützter Entwurf und Evaluation eines Mensch-Maschine-Systems mit autonomen mobilen Inspektionsrobotern zur IR-optischen Gasleck-Ferndetektion und -ortung in technischen Anlagen“.

Wenige Stichworte für eine große Aufgabe, betrachten wir daher zuerst das Problem: Anlagen der chemischen Industrie sowie die Infrastruktur der Versorgungsunternehmen dürfen nicht ausfallen oder gar havarieren. Die Betriebssicherheit muss beständig auf hohem Niveau gehalten werden; Undichtigkeiten und Lecks in Anlagenteilen sind unbedingt zu verhindern. Dazu werden – den rechtlichen Vorschriften gemäß – umfangreiche Präventions- und Inspektionsprogramme aufgestellt, sie machen jedoch zeitaufwändige, von Menschen täglich zu absolvierende Kontrollgänge erforderlich. Wer etwa eine Ö raffinerie selbst aus einiger Entfernung gesehen hat, kann sich vorstellen, wie groß der Aufwand ist, dieses Rohrgeschlängel bis zum letzten Ventilstutzen zu überprüfen. Kein Wunder also, dass die PCK Raffinerie GmbH in Schwedt an der Oder am Projekt teilnimmt. Und eine solche, weithin sichtbare Anlage ist ja nur ein Beispiel für die Komplexität der technischen Strukturen, mit denen die chemische Industrie arbeitet.

So kompliziert eine Anlage auch aufgebaut sein mag, für einen Menschen werden Kontrollgänge schnell monoton. Zudem kann er manche Bereiche nur schwer erreichen, nur wenige Hilfs- und Analysegeräte tragen. Meist muss er sich bei der Routineprüfung allein auf seine Sinneswahrnehmung und auf persönliche Erfahrungen verlassen. Aber reicht das aus, oder lassen sich die Qualität und die Wirtschaftlichkeit der alltäglichen Inspektionen noch deutlich erhöhen? Kann man den Menschen von solchen – langweiligen – Tätigkeiten entlasten? Moderne Messtechniken dafür stehen durchaus schon zur Verfügung, sie können unerwünschte oder gar gefährliche Emissionen von Substanzen sogar auf größere Entfernungen aufspüren. So wurde ein erster Roboter-Prototyp bereits erfolgreich mit einem aktiven infrarot-optischen Methan-Gasfernmessgerät, einer Wärmebild-Kamera und einem Laser-Scanner ausgestattet.

Die Infrarot-Messtechnik stellt die wichtigste Komponente dar: Hierbei tastet ein gebündelter Laserstrahl die Bauteile der Anlage ab, er wird von Wänden, vom Boden oder anderen Gegenständen reflektiert. Ist alles in Ordnung, empfangen die Sensoren auf dem Roboter das komplette Spektrum der ausgesandten Wellen. Durchdringt der Laserstrahl auf seinem Weg jedoch Gase (hier: das Methan), dann absorbieren diese einen für sie genau definierbaren Teil des Wellenspektrums. Die Sensorik registriert die Abweichung vom Normalzustand, verfolgt die Gaskonzentration bis zur Quelle und schlägt Alarm. All das funktioniert noch in einem Abstand von bis zu 30 Metern zwischen dem Roboter und der Undichtigkeit in der Rohrleitung.

Die Wärmebildkamera wird nur als ergänzendes Mittel und als zusätzliche Option eingesetzt, um Lecks zu lokalisieren. Denn sie kann kleinere Gasaustritte auf so große Entfernungen (noch) nicht messen. Bringt man sie jedoch näher an die Schadensstelle heran, dann registriert sie das Leck aufgrund von Wärmeunterschieden: Dort ist es wegen der Wärmeaufnahme des Gases während seiner Entspannung (Druckentlastung) am kältesten – das physikalische Prinzip kennt jeder, der schon einmal das Aerosol auf der Haut gespürt hat, das aus einer Spraydose strömt. Und der Laser-Scanner? Mit ihm orientiert sich der Roboter in seiner Umgebung und erfasst Hindernisse.



BAM scientists Dr. Abdel Karim Habib (right) and Dr. Bernd Schalau (left) evaluating CFD Simulations

Die BAM-Wissenschaftler Dr. Abdel Karim Habib (rechts) und Dr. Bernd Schalau (links) bei Berechnungen mit einer CFD-Software

The RoboGas-Inspector project

(grant number 01MA09025) is funded by the "autonomics" program of the Federal Ministry of Economics and Technology based on a decision of the German Bundestag

enough, or can we significantly increase the quality and economic efficiency of daily inspections? Can we relieve people of boring activities? Modern measurement technology for this is already available. They can detect undesirable or even dangerous emissions of substances even from great distances. A first prototype robot has already been used successfully, equipped with an infrared-active optical remote methane gas monitor, a thermal imaging camera and a laser scanner.

The infrared technology is the most important component. A focused laser beam scans the components of the system and is reflected back from the walls, the floor or other objects. If everything is in order, the robot's sensors receive the complete spectrum of emitted waves. But if the laser beam passes through gases on its way (in this case, methane), then these will absorb a precisely defined part of the IR spectrum. The sensors register the deviation from the normal state, trace the gas concentration back to its source and sound an alarm. All this

still works at a distance of up to 30 meters between the robot and the leak in the pipeline.

The thermal imaging camera is only used as a supplementary tool and as an additional option to locate leaks because it cannot (yet) measure small gas emissions at such large distances. But if it is brought closer to the damage site, it can register a leak based on thermal differences. It is colder there because of the heat absorbed by the gas during its expansion (pressure relief) – the physical principle is known to everyone who has ever felt an aerosol spray on his skin. And the laser scanner? The robot uses it for orientation and detecting obstacles in its environment.

So much for the sensors, but it's not worth installing such a device at each potentially threatened point – there are too many of them. You have to combine the advances in measurement technology with those from automation and robotics, in other words, the measuring devices have to learn to walk. This sounds easier than it is in reality. After all, mobile technology is not supposed to become a threat but to precisely and accurately identify irregularities – without skipping even one relevant place in the operation.

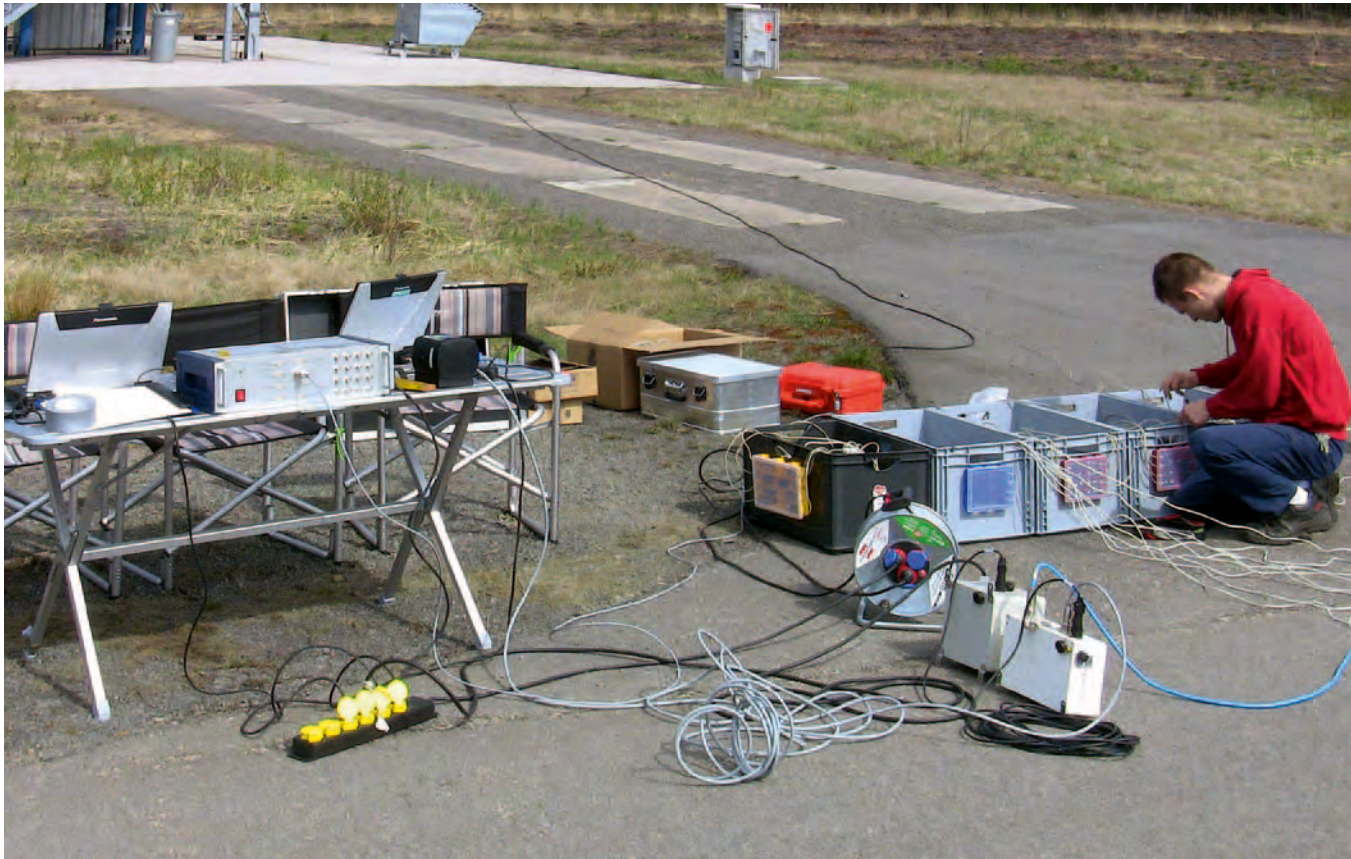
In addition to the aforementioned laser scanners for orientation in the environment and for detecting obstacles, the robot also has a map of the plant, GPS, position sensors (which detect tilting of the robot so that capsizing can be prevented), as well as a WLAN connection linking it to the control room. This is where all current information is processed, can be transmitted to the robot, and from where it can be remotely controlled.

This may sound easy, but the problems lie in the details. The analytical applications must recognise direct interference such as from the sun or lighting fixtures and screen them out, they must be able to distinguish diffuse sources (clouds), but also shadows and outlets (chimneys, exhaust stacks) from damaged areas. In order to avoid costly and time-consuming planning errors, the scientists first created a simulation environment in which early design alternatives could be examined. Based on these findings, several prototypes have been developed which must be proven in field tests by plant operators. So for now, the robots in the movies are still smarter than their real counterparts, but the clock is ticking ...



Oxygen sensor Dräger Polytron 7000

Sauerstoffsensoren Dräger Polytron 7000



Soviel zur Sensorik, doch lohnt es sich nicht, eine solche Apparatur an jeder potenziell bedrohten Stelle zu installieren, dazu gibt es ihrer zu viele. Man muss schon die Fortschritte in der Messtechnik mit denen aus der Automatisierung und der Robotik bündeln, sprich: Die Messgeräte müssen laufen lernen. Das wiederum klingt einfacher, als es in die Realität umzusetzen ist. Schließlich soll die herumrollende Technik ja selbst keine Gefahren verursachen, sondern präzise und fehlerfrei auf Unregelmäßigkeiten hinweisen – und zwar ohne auch nur eine relevante Stelle im Betrieb auszulassen. Hierzu verfügt der Roboter neben den schon erwähnten Laserscannern zur Orientierung in der Umgebung und zum Erfassen von Hindernissen auch noch über eine Karte der Anlage, GPS, Lagesensoren (mit denen die Schräglage des Roboters erkannt und ein Umkippen verhindert werden kann), sowie eine W-LAN Verbindung über die er mit der Leitwarte in Verbindung steht. Dort laufen alle aktuellen Informationen zusammen und können bei Bedarf dem Roboter mitgeteilt, bzw. dieser von dort aus ferngesteuert werden.

Klingt auch ganz einfach, aber die Probleme stecken in den Details: Die Auswertungsprogramme müssen direkte Störstrahlungen wie etwa von der Sonne oder von Beleuchtungskörpern erkennen und ausblenden, müssen diffuse Quellen (Wolken) aber auch Schatten

Versuchsstand zur Schwergasausbreitung auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit – Messstand zur Datenaufzeichnung

*Experimental setup for measuring dense gas dispersion at the BAM Test Site
Technical Safety – Data logging stand*

sowie Auslassöffnungen (Schornsteine, Abgaskamine) von relevanten Schadstellen unterscheiden können. Um teure und zeitraubende Planungsfehler zu vermeiden, haben die Wissenschaftler zunächst eine Simulationsumgebung geschaffen, an der sich Gestaltungsalternativen frühzeitig untersuchen lassen. Auf Basis dieser Erkenntnisse entstehen mehrere Prototypen, die sich in einem Feldtest bei den Anlagenbetreibern beweisen müssen. Noch sind also die Roboter im Film schlauer als ihre realen Kollegen, aber die Uhr tickt ...

Das **Projekt Robo-GasInspector** (Förderkennzeichen 01MA09025) wird im Programm „Autonomik“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Kontakt/Contact

Dr. Abdel Karim Habib
karim.habib@bam.de
Telefon/phone: +49 30 8104-3409

Abteilung 2/Department 2
Chemische Sicherheitstechnik
Chemical Safety Engineering



Firemen from the disaster management at the briefing

Feuerwehrmänner vom Katastrophenschutz bei der Einsatzbesprechung

Preventing an explosion disaster

It was judged to be a most serious accident which occurred on the Rhine on the 13 January 2011 when the motor vessel "Waldhof" capsized at St. Goar in the entrance to Lorelei harbour (553.7 Rhine kilometre) on its journey from BASF in Ludwigshafen to Antwerp. Two of a crew of four lost their lives. In its seven tanks, the 110 metres long and 10.5 metres wide ship carried 2,378 tons of concentrated sulfuric acid (96 percent H_2SO_4). According to the prosecutor's expert opinion the "Waldhof" was overloaded by 631 tonnes, other experts do not rule out that the cargo shifted during a manoeuvre which may have been the ship's undoing.

During the complicated and dangerous rescue work, the shipping on the river was seriously hindered and about 500 ships were held up for 32 days because shipping at this bend in the Rhine could only be recommenced in full on 14 February. Especially in the first few days, a great explosion hazard was threatened, so three divisions from BAM's Departments 2 (Chemical Safety Engineering) and 3 (Containment Systems for Dangerous Goods) were summoned for consultation: 2.2 (Reactive Substances and Systems), 2.1 (Gases, Gas Plants) and 3.2 (Tanks for Dangerous Goods and

Accidental Mechanics). The explosive threat came about because hydrogen (H_2) was forming in the tanks which could have been ignited by the smallest spark from the weakest electrostatic discharge. Molecular gaseous hydrogen mixed with air or oxygen is indeed called a "detonating gas" which describes its violent reaction with oxygen in air just as accurately as impressively. The Water Management Authority (Wasserwirtschaftsverwaltung) in the Rhineland-Palatinate Ministry of the Environment did not by any means rule this out, and in the worst case scenario, an explosion with "flying debris of individual parts could have reached distances of up to 200 metres".

Sulfuric acid and hydrogen? Everyone knows acids, don't they, it's there in almost every car battery and careless handling can eat holes in one's clothes. Wrong – and it becomes more complicated: the way an acid reacts depends largely on the degree of dilution with water. It is a rather "dilute" sulfuric acid (<90%, below 40% in the battery) which will release hydrogen when it comes into contact with most metals (except precious metals like gold and platinum). On the other hand, 96-percent concentrated sulfuric acid can be transported in stainless steel tanks without danger – similar to those

Eine Explosionskatastrophe verhindert

Sie gilt als die bislang schwerste Havarie, die auf dem Rhein stattgefunden hat: Am 13. Januar 2011 kenterte das Motorschiff „Waldhof“ bei St. Goarshausen vor der Einfahrt zum Loreleyhafen (Rheinkilometer 553,7) auf der Fahrt von der BASF in Ludwigshafen nach Antwerpen, zwei Mann der vierköpfigen Besatzung verloren ihr Leben. In seinen sieben Tanks hatte das 110 Meter lange und 10,5 Meter breite Schiff 2378 Tonnen konzentrierte Schwefelsäure (96 prozentige H_2SO_4) transportiert. Dem Gutachten der Staatsanwaltschaft zufolge war die „Waldhof“ um 631 Tonnen überladen, andere Fachleute schließen nicht aus, dass dem Schiff eine Bewegung der Fracht während eines Manövers zum Verhängnis wurde.

Während der komplizierten und gefährlichen Bergungsarbeiten war der Schiffsverkehr auf dem Fluss stark behindert, so lagen rund 500 Schiffe bis zu 32 Tage fest, denn die Schifffahrt an dieser Rheinschleife konnte erst am 14. Februar wieder vollständig freigegeben werden. Gerade in den ersten Tagen drohten so große Explosionsgefahren, dass Mitarbeiter dreier BAM-Fachbereiche aus den Abteilungen 2 (Chemische Sicherheitstechnik) und 3 (Gefahrgutumschließungen) zu den Beratungen herbeigerufen wurden: 2.2 (Reaktionsfähige Stoffe

und Stoffsysteme), 2.1 (Gase, Gasanlagen) und 3.2 (Gefahrguttanks und Unfallmechanik). Denn in den Tanks hatte sich Wasserstoff (H_2) gebildet, der durch den schwächsten Funken selbst von geringfügigsten elektrostatischen Entladungen hätte gezündet werden können. Molekularer, gasförmiger Wasserstoff im Gemisch mit Luft oder Sauerstoff wird ja auch „Knallgas“ genannt, was seine heftige Reaktion mit dem Luftsauerstoff ebenso korrekt wie eindrucksvoll beschreibt. Die Wasserwirtschaftsverwaltung im Rheinland-Pfälzischen Umweltministerium jedenfalls mochte nicht ausschließen, dass es im schlimmsten Explosionsfall zu einem „Trümmerflug einzelner Teile bis zu 200 Meter“ Entfernung hätte kommen können.

Schwefelsäure und Wasserstoff? Die Säure kennt man doch, sie befindet sich in so gut wie jedem Autoakku, unvorsichtiges Hantieren damit frisst allenfalls Löcher in die Kleidung? Falsch, und damit wird es wieder einmal kompliziert: Wie die Säure reagiert, hängt stark von ihrem Verdünnungsgrad mit Wasser ab. Eher „dünnere“ Schwefelsäure (< 90 %, im Akku: unterhalb von 40 %) setzt Wasserstoff frei, sobald sie mit den meisten Metallen in Berührung kommt (von Edelmetallen wie Gold und Platin abgesehen). Auf 96 Prozent konzentrierte



Das havarierte Schiff
The wrecked ship

that were originally on the "Waldhof". Below 10 °C, the acid can form crystals and solidify, at higher temperatures it forms an oily liquid. In any case, it takes up water very easily with rapid and violent heat development as a result.

As long as the tanks are in their intended position, everything is fine – but the vessel capsized and went aground with her port side in front of Lorelei harbour. Consequently, some of the acid was spilt and Rhine water entered the tanks, thus there was now dilute acid inside reacting with the tank metal. The dilemma of the rescue workers was how could they approach to take measurements of H₂ bubbles forming in the tanks, particularly if the smallest energy input can trigger a disaster? Under no circumstances could they open them by drilling or using a flex or cutting torches!

But "constant dripping wears away the stone", says the proverb, so this idea was used. Water jet cutting machines have been around for about 40 years whose use is preferred when solid materials must be machined with minimal heat generation. High-performance pumps provide a pressure of up to 6,000 bars, and nothing can resist that in the long run, not even the steel components of "Waldhof".



Openings cut into one tank

In einen Tank geschnittene Öffnungen

But beware: might even this low energy input be sufficient to bring about a hydrogen explosion? After all, even water when accelerated that much over the short distance between nozzle and the ship steel becomes electrostatically charged. Here the expertise of specialists from the BAM Department of "Chemical Safety Engineering" was requested. They have been dealing with safety characteristics of flammable and explosive substances and mixtures for many years. And their protocol of 19 January 2011 notes: "The operational management sees the need for neutral and independent safety advice; the Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), which has been increasingly advising the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (BMVBS) in safety issues on the transport of dangerous goods at the national and international level, is asked to support." The scientists arrived the next day and it took them until 15 February to complete their task successfully. In those 26 days, they helped to identify the conditions under which the tanks could be dealt with gradually and eventually emptied.

Again, more precisely, the minimum ignition energy of a mixture of hydrogen and air is a mere 0.017 millijoules (mJ). For comparison: to warm up just one gram of water by one degree (Kelvin/Celsius), needs 4.18 joules, a defibrillator even discharges 360 joules. But how can one guarantee in water jet cutting that the minimum ignition energy is never reached? Accurate calculations do the trick because the extent of electrostatic charge depends on the duration and mean free path of the cutting jet. In practice, time is the key, thus the BAM experts recommended a pulse-type cutting jet. Although this slows down the work progress, the intermittent "jet breaks" ensure that the charge and thus the total energy input remains low enough to avoid danger.

In this very cautious approach, first the tanks of "Waldhof" could be opened for sampling. Subsequently – and just as carefully – other small openings were created and nitrogen introduced. This non-hazardous (inert) gas displaced the hydrogen from the tanks, drove it out into the environment where it was quickly diluted to concentrations far below any dangerous thresholds. And only then were large holes cut into the tanks which allowed the salvage company to start their core business, i.e. pumping off the acid.

Schwefelsäure hingegen kann ohne diese Gefahr in Edelstahltanks transportiert werden – wie eben auch ursprünglich in jenen der „Waldhof“. Unterhalb von 10 °C kann die Säure sogar zu Kristallen erstarren, bei Temperaturen darüber bildet sie eine ölige Flüssigkeit. In jedem Fall aber nimmt sie sehr gern Wasser auf, was eine starke Wärmeentwicklung zur Folge hat.

Bleiben die Tanks in ihrer vorgesehenen Position, ist alles in Ordnung – nur war das Schiff eben gekentert und mit seiner Backbord-Seite vor dem Loreleyhafen auf Grund gegangen. Infolgedessen war ein Teil der Säure aus- und Rheinwasser in die Tanks hineingelaufen, drinnen befand sich nun also verdünntere mit dem Tankmetall reagierende Säure. Das Dilemma der Bergungshelfer: Wie kann man für Messungen an H₂-Blasen liegender Tanks herankommen, wenn schon der geringste Energieeintrag eine Katastrophe auszulösen vermag? Anbohren oder gar mit Flex und Schneidbrenner öffnen – keinesfalls.

Aber „steter Tropfen höhlt den Stein“, weiß der Volksmund, und nicht nur diesen: Wasserstrahl-Schneidemaschinen gehören seit rund 40 Jahren zu jenen Werkzeugen, die immer dann gern eingesetzt werden, wenn feste Materialien bei geringster Wärmeentwicklung bearbeitet werden sollen. Hochleistungspumpen sorgen für einen Druck von bis zu 6000 bar, und dem widersteht auf Dauer nichts, auch nicht die stählernen Bauteile der „Waldhof“.

Doch Vorsicht: Womöglich reicht auch dieser schwache Energieeintrag aus, den Wasserstoff zur Explosion zu bringen? Immerhin lädt sich das derart beschleunigte Wasser selbst auf seinem kurzen Weg zwischen Düse und Schiffstahl elektrostatisch auf. Hier war das Expertenwissen der BAM-Fachleute aus der Abteilung „Chemische Sicherheitstechnik“ gefragt. Denn sie bestimmen bereits seit vielen Jahren sicherheitstechnische Kenngrößen von brennbaren und explosionsfähigen Stoffen und Gemischen. Und so vermerkt ihr Protokoll vom 19. Januar 2011: „Die Einsatzleitung sieht die Notwendigkeit einer neutralen, unabhängigen sicherheitstechnischen Beratung; die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), die in verstärktem Maße auf nationaler und internationaler Ebene das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zu sicherheitstechnischen Fragen bei der Beförderung gefährlicher Güter berät, wird

um Unterstützung gebeten.“ Am Folgetag trafen die Wissenschaftler ein, erst am 15. Februar war ihre Aufgabe erfolgreich beendet. In diesen 26 Tagen halfen sie, die Bedingungen festzulegen, unter denen die Tanks schrittweise behandelt und schließlich entleert werden konnten.

Nochmal genauer: Die Mindestzündenergie eines Gemisches aus Wasserstoff und Luft beträgt ganze 0,017 Millijoule (mJ). Zum Vergleich: Um nur ein Gramm Wasser um ein Grad (Kelvin/Celsius) zu erwärmen, benötigt man schon 4,18 Joule; ein Defibrillator bringt es sogar auf bis zu 360 Joule. Wie aber kann man auch beim Wasserstrahlschneiden sichergehen, dass die Mindestzündenergie nie erreicht wird? Durch präzise Berechnungen, denn die Stärke der elektrostatischen Aufladung hängt von der Zeitdauer und der freien Weglänge des Schneidstrahls ab. Wirklich beeinflussbar ist vor allem die Zeit, also empfahlen die BAM-Experten hier ein impulsartiges Schneiden. Das verlangsamt zwar den Fortgang der Arbeit, doch sorgen die intermittierenden „Strahlpausen“ dafür, dass die Aufladung, und damit der Gesamtenergieeintrag, gering genug bleibt, um Gefahren zu vermeiden.

Auf diese sehr vorsichtige Vorgehensweise konnten die Tanks der „Waldhof“ zunächst für die Beprobung geöffnet werden. Anschließend wurden – ebenso sorgfältig – weitere kleine Öffnungen gesetzt und Stickstoff hineingeleitet. Dieses ungefährliche (inerte) Gas verdrängte den Wasserstoff aus dem Tank, trieb ihn hinaus in die Umgebung, wo er sich schnell auf Konzentrationen weit unterhalb jeglicher Gefahrenschwellen verdünnte. Und erst danach wurden jene großen Löcher in die Tanks geschnitten, die es den Bergungsfirmen erlaubten, mit ihrer eigentlichen Tätigkeit zu beginnen, mit dem Abpumpen der Säure.

Kontakt/Contact



Frank Krischok

frank.krischok@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-3707

Abteilung 2/Department 2

Chemische Sicherheitstechnik

Chemical Safety Engineering



A load of up to 200 tons can be suspended from this crane hook in the drop test facility at the BAM Test Site Technical Safety.

An diesen Kranhaken in der Fallversuchsanlage auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit können Lasten bis 200 Tonnen angehängt werden.

UF₆ Uranium hexafluoride

Serious cases of safety

A warning signal, a push of a button, then the cradle is released from its special suspension on the crane hook. The container system fastened to it – with its contents and protective casing or overpack weighing a good four tons – crashes down onto a steel mandrel poking up from the floor one metre below. The spike pierces the casing, becomes stuck in it so that the test item comes to rest at a seemingly very unstable inclination of about 45 degrees (see Figure on page 49). „Bar“, this is what the experts call this test equipment used for large containment systems for dangerous goods which have one thing in common: their contents must not be released under any circumstances. Then, if all tests have been completed successfully and the French licensing authority has issued a container design type approval and transport permission for France, the container systems built to this design will later carry dangerous freight. In this case, it is radioactive, highly toxic and chemically corrosive uranium hexafluoride, UF₆ (see graph on page 50).

This is BAM's drop test facility on the Horstwalde test site, 50 km south of Berlin. The 36-metre high tower structure went into operation

in September 2004, the hoist on the top is designed to carry maximum loads of up to 200 tons which can be dropped 30 metres down in free fall until they impact on an totally unyielding target (five-metres thick, 2,600-ton). This channels almost all the impact energy into the containment system being tested in order to simulate the impact in the worst possible accident. That is to say: the drop tests the scientists carry out causes extremely high stresses, virtually impossible to occur during subsequent use of the containment – even in a bad accident the container will hit softer surfaces. Any road or railway structure is more flexible than the target in BAM's drop test facility at Horstwalde.

Seeing that the container system remains perfectly sealed during the test is controlled by means of helium test gas. However, the scientists primarily focus their attention on how the overpack reacts to such an impact. Sensors determine the resulting stresses and strains inside the “test sample” and the data from the evaluation electronics are associated with images from a high-speed camera. A close look at the event's phases can reveal a lot: at what

Schwere Fälle für die Sicherheit

Ein Warnsignal, ein Knopfdruck, dann löst sich das Traggeschirr aus seiner speziellen Aufhängung am Kranhaken. Das daran befestigte Behältersystem – mit Inhalt und Schutzhülle gut vier Tonnen schwer – fällt einen Meter tief auf einen senkrecht am Boden verankerten, stählernen Pfahl. Der durchschlägt die Hülle, verhakt sich mit ihr, so dass die derart geprüfte Konstruktion in einer sehr instabil anmutenden Schräglage von rund 45 Grad darauf hängen bleibt (Bild unten). „Dorn“, so nennen die Fachleute diesen Prüfkörper für große Gefahrgutumschließungen, die eines gemeinsam haben: Ihr Inhalt darf unter keinen Umständen freigesetzt werden. Denn später, sofern alle Tests erfolgreich absolviert sind und die französische Zulassungs- und Genehmigungsbehörde eine Behälterbauartzulassung und Beförderungsgenehmigung für Frankreich erteilt, werden die nach dieser Bauart gefertigten Behältersysteme gefährliche Frachten tragen. In diesem Fall radioaktives, hochgiftiges und chemisch korrosives Uranhexafluorid, UF₆ (s. Grafik Seite 50).

Hier, das ist die Fallversuchsanlage der BAM auf ihrem Testgelände in Horstwalde, 50 km südlich von Berlin. Die 36 Meter hohe Turmkonstruktion ging im September 2004 in Betrieb, die Winde obenauf ist für Maximallasten von 200 Tonnen ausgelegt, die im freien Fall bis zu 30 Meter zurücklegen können, bis sie auf ein absolut unnachgiebiges Fundament aufschlagen (fünf Meter dick, 2600 Tonnen schwer). Dies leitet fast die gesamte Aufprallenergie in das zu prüfende Umschließungssystem, um die Belastung selbst bei schlimmsten Unfällen zu simulieren. Sprich: Die Fallversuche der Wissenschaftler verursachen extrem hohe Beanspruchungen, die beim späteren Einsatz der Umschließung praktisch ausgeschlossen sind – selbst bei einem schweren Unfall prallt der Behälter auf weichere Untergründe. Jede Straße, jede Bahngleiskonstruktion ist nachgiebiger als das Fundament der BAM-Fallversuchsanlage in Horstwalde.

Ob das Behältersystem dabei vollkommen dicht bleibt, wird mit Hilfe des Prüfgases Helium kontrolliert. Ihr Hauptaugenmerk richten die Wissenschaftler bei der Prüfung der Overpacks allerdings auf die Frage, wie die Schutzhülle auf den Aufprall reagiert. Sensoren ermitteln die entstehenden Beanspruchungen wie Spannungen und Dehnungen im Innern des „Prüflings“, die Daten werden von der Auswertungs elektronik den Bildern einer Hochgeschwindigkeitskamera zugeordnet. Denn der präzise Blick auf die Phasen des Geschehens sagt viel: In welchem Moment treten Verformungen oder gar Risse auf, bleiben sie noch im zulässigen Bereich? Lassen sie sich reduzieren, etwa durch eine Optimierung von Konstruktion und Material? Gibt es Möglichkeiten, Herstellungsverfahren und Verarbeitung zu verbessern? Das sind die Fragen, mit denen sich Dr.-Ing. Karsten Müller vom Fachbereich 3.3 (Sicherheit von Transportbehältern) befasst.

Transport- und Lagerbehälter für radioaktive Substanzen, da denkt der Laie sofort an die großen Umschließungen abgebrannter Brennstäbe aus Kernkraftwerken, an die CASTOREN®. Auch ihre Prototypen werden hier geprüft, ebenso wie Baumuster von Behältern für leicht- und mittelradioaktive Abfallstoffe aus Krankenhäusern und Laboratorien. Denn die BAM ist im Rahmen von verkehrs- und atomrechtlichen Zulassungsverfahren für die



UF₆
Uranhexafluorid

IAEA International Atomic Energy Agency

moment do deformations or even cracks develop and do they remain inside the permissible range? Can they be reduced, maybe by an optimisation of the structure or change of material? Are there opportunities to improve the manufacturing methods and processing? Those are the questions, with which Dr.-Ing. Karsten Müller from the Division 3.3 (Safety of Transport Containers) is concerned.

Transportation and storage containers for radioactive substances – the layman immediately thinks of the large containments of spent fuel elements from nuclear power stations i.e. the CASTORs®. Their prototypes are tested in BAM, just like design types of containers for low and medium radioactive wastes from hospitals and laboratories. The reason is that under the framework of transport and nuclear legislative approval processes, BAM is responsible for the safety assessment of such containment systems for dangerous goods, and its safety research contributes to improving standards and regulations. In international research co-operations such as with the U.S. Nuclear Regulatory Commission, experimental and numerical data and evaluation methods are being exchanged.

In addition, the large drop test facility at Horstwalde is unique in the world so that even foreign companies use the local wealth of experience to have their development products tested – even if it is not a certification process in Germany. As an internationally accredited

testing laboratory, BAM accepts such international orders for testing.

The safety requirements of the container system obviously do not change because they are stipulated by the International Atomic Energy Agency (IAEA). The container must survive a free fall from a height of nine metres onto an unyielding target just as the described impact onto the steel bar and then a fire test for at least 30 minutes at 800 degrees Celsius – without its leak tightness being jeopardised even to an extremely minor extent. In the drop test sequence the drop position and orientation of the test specimen are selected so that the maximum possible damage can be expected in combination with the subsequent fire test.

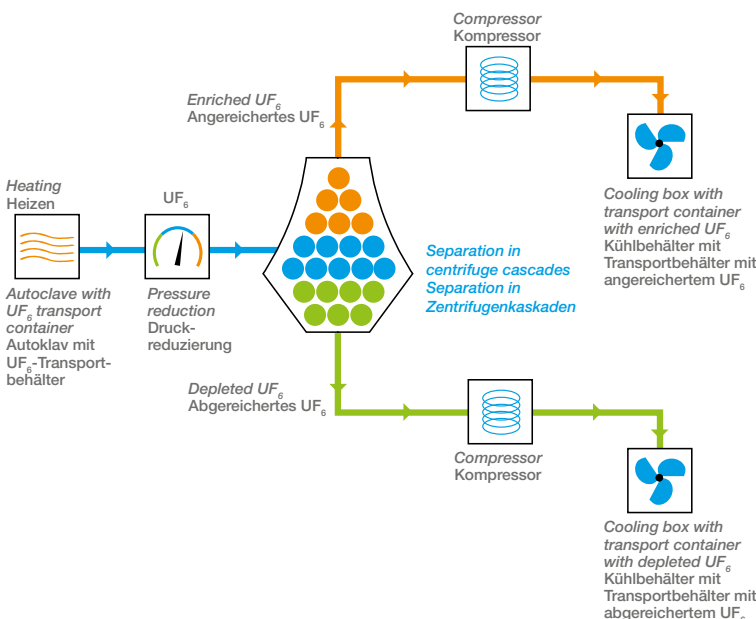
The current test order involves the safety of the entire UF₆ transport system, but mainly the newly developed overpack. This consists of two tub-shaped shells, joined and locked by hinges. The tubs are lined inside with polyurethane foam as a shock absorber for the enclosed steel transport cylinder. Its wall is more than ten millimetres thick, which is sufficient for any conceivable accident, say the experts. But one must load the cargo; therefore a welded connecting piece with a valve is at one end of the container – always a problem area. Therefore this area must be particularly well protected from mechanical and thermal impacts. Of course, the edge of the cylinder is rolled over, like a brim and this area is also lined with a steel cap in the casing.

The French manufacturer has checked the hypothetical maximum accident impact on the container system with the help of numerical finite element analysis. Nevertheless that is only a mathematical model which cannot fully consider quality control, material and above all manufacturing defects. “Therefore, there will always be a need for practical safety tests which can simulate the worst case”, explains Dr. Müller with a critical look at the deformation exhibited by one of the five test specimens. The drop tests of the overpack cylinders will keep the members of staff on experimental testing of containers busy for some time, since as a result of the first drop test sequence, where the most serious accident impacts were taken, the manufacturer intends to make design changes combined with optimisation of the welding technology.

Process of UF₆ enrichment
Source: URENCO

Anreicherung von UF₆
Quelle: URENCO

www.urencocom





Die große Fallversuchsanlage auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit

Large Drop Test Facility at the BAM Test Site Technical Safety

sicherheitstechnische Begutachtung solcher Gefahrgutumschließungen zuständig, zudem ist sie mit ihren Arbeiten zur Sicherheitsforschung an der Weiterentwicklung von Normen und Vorschriften beteiligt. In internationalen Forschungsk Kooperationen wie beispielsweise mit der U.S. Nuclear Regulatory Commission werden experimentelle und numerische Daten und Bewertungsmethoden ausgetauscht.

Darüber hinaus ist die große Fallversuchsanlage in Horstwalde weltweit so einmalig, dass selbst ausländische Firmen den hiesigen Erfahrungsschatz nutzen, um ihre Entwicklungen untersuchen zu lassen – auch wenn es gar nicht um ein Zulassungsverfahren in Deutschland geht. Die BAM übernimmt dann als international akkreditiertes Prüflaboratorium internationale Untersuchungsaufträge.

Die Sicherheitsanforderungen an das Behältersystem ändern sich damit freilich nicht, denn sie sind von der International Atomic Energy Agency (IAEA, deutsch: IAEO) vorgeschrieben. Es muss einen freien Fall aus neun Meter Höhe auf das unnachgiebige Fundament ebenso überstehen wie den geschilderten Aufprall auf den Dorn sowie anschließend die Brandprüfung für mindestens 30 Minuten bei 800 Grad Celsius – ohne dass seine Dichtigkeit auch nur minimal gefährdet wäre. Dabei werden in der Fallprüfsequenz die Fallposition und Orientie-

rung des Prüfmusters so gewählt, dass die maximal mögliche Schädigung in Kombination mit der nachfolgenden Brandprüfung zu erwarten ist.

Beim aktuellen Prüfauftrag geht es in letzter Konsequenz zwar um die Sicherheit des gesamten UF_6 -Transportsystems, aber vorrangig um die Schutzwirkung der neu entwickelten Umhüllung, um das „Overpack“. Es besteht aus zwei wannenförmigen Schalen, die mit Scharnieren zusammengefügt und verschlossen werden. Innen sind die Wannen mit Polyurethanschaum ausgekleidet, als Stoßdämpfer für den darin liegenden, stählernen Transportzylinder. Dessen Wandung ist mehr als zehn Millimeter stark, das reicht für jeden denkbaren Unfall aus, berichtet der Fachmann. Aber man muss das Transportgut ja hineinfüllen, also befindet sich an einem Ende des Gefäßes ein angeschweißter Stutzen mit einem Ventil – stets ein problematischer Bereich. Daher muss gerade diese Stelle besonders gut gegen mechanische und thermische Einwirkungen geschützt sein. Sicher, die Umrandung des Zylinders ist weiter hinaus gestülpt, wie eine Krempe. Und in der Schutzhülle ist dieser Bereich zusätzlich mit einer Stahlkappe ausgekleidet.

Die französische Herstellerfirma hat die maximalen hypothetischen Unfallbeanspruchungen des Behältersystems mit Hilfe numerischer

IAEO Internationale
Atomenergie-
Organisation

Packages for the transport of UF_6 in 30-B-cylinders with overpacks
Source: URENCO

Versandstücke zur Beförderung von UF_6 in 30-B-Zylindern mit Overpacks
Quelle: URENCO



Uranium hexafluoride (UF_6) is highly toxic and corrosive. It is used for an important processing step in the extraction of uranium for fuel rods in nuclear power stations: it is the uranium isotope with a mass number of 235 which is needed. First, natural uranium is extracted as an ore in mines, then separated from other rock and converted to a yellow powder, the so-called yellow cake. However, this uranium compound contains more than 99 percent of the 238 isotope, useless for nuclear fission, and only about 0.7 percent of uranium-235. Pressure and boiling-water reactors need a percentage of three to five percent of the lighter isotope in the fuel elements, and this ratio is obtained by enrichment.

To prepare for this, the yellow cake is chemically converted to UF_6 , which is then passed to a gas diffusion plant or ultracentrifuges. There the (desired) lighter molecules get separated from the useless, slightly heavier ones. Only then can the material be converted to an oxide, pelletised, sintered into fuel rods and these assembled into fuel elements.

But if uranium itself is as dangerous as that, why is it compounded with the even nastier fluorine? The answer is fairly straightforward: fluorine is an element of which only one isotope exists. Thus it solely depends on the mass of the uranium isotope for which way the respective UF_6 molecule goes during separation/enrichment. And therefore one cannot do without this chemical compound.

The containers, in which uranium hexafluoride is stored and transported between the processing steps must also fulfil special safety requirements due to the physical characteristics of the material. Because UF_6 is very volatile: its colourless crystals evaporate (sublimation from solids to gas) at normal pressure even at 56.5 degrees Celsius. And the vapour pressure is 153 millibars at 25 degrees Celsius (as a comparison: water reaches a vapour pressure of only 31.7 millibars at the same temperature).

Finite-Elemente-Analysen überprüft. Dennoch bleibt all das ein mathematisches Modell, das Bewertungs-, Material- und vor allem Verarbeitungsfehler nicht umfänglich berücksichtigen kann. „Schon deshalb wird es zur Sicherheit immer praktische Versuche, mit denen der worst case simuliert wird, geben müssen“, betont Dr. Müller mit einem kritischen Blick auf die Verformungen, die einige der fünf gelieferten Prüflinge bereits jetzt aufweisen. Die Fallprüfungen an den Overpack Zylindern werden die Mitarbeiter für experimentelle Behälteruntersuchungen noch einige Zeit beschäftigen, da im Ergebnis der ersten Fallprüfsequenz, bei der die schwersten Unfallbelastungen unterstellt wurden, der Hersteller Designänderungen in Verbindung mit schweißtechnischen Optimierungen vornehmen wird.



Kontakt/Contact

Dr. Karsten Müller

karsten.mueller@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-1331

Abteilung 3/Department 3

Gefahrgutumschließungen

Containment Systems for Dangerous Goods

Uranhexafluorid (UF_6) ist hochgradig giftig und korrosiv. Es wird für einen wichtigen Verarbeitungsschritt bei der Gewinnung von Uran für Kernkraftwerks-Brennstäbe eingesetzt, dabei geht es um das Uranisotop mit der Massenzahl 235. Zunächst wird das Natururan in Minen als Erz abgebaut, dann von anderen Gesteinsanteilen getrennt und zu einem gelben Pulver verarbeitet, zum so genannten Yellow Cake. Allerdings enthält diese Uranverbindung zu mehr als 99 Prozent das für die Kernspaltung unbrauchbare 238er Isotop, nur etwa 0,7 Prozent entfallen auf das U-235. Druck- und Siedewasserreaktoren benötigen einen Anteil von drei bis fünf Prozent des leichteren Isotops im Brennelement, und dieses Verhältnis erzielt man durch Anreicherung.

Zur Vorbereitung hierfür wird der Yellow Cake chemisch bis hin zum UF_6 umgewandelt, welches anschließend zu Gasdiffusionsanlagen oder auch Ultrazentrifugen gelangt. Dort trennen sich die (erwünschten) leichteren von den unbrauchbaren, geringfügig schwereren Molekülen. Erst danach lässt sich das Material zum Oxid konvertieren, pelletieren, sintern zu Brennstäben und diese zu Brennelementen konfektionieren.

Aber wenn das Uran an sich schon so gefährlich ist, warum dann die noch heiklere Verbindung mit Fluor? Ganz einfach: Fluor ist ein Element, welches nur in einem Isotop vorkommt. Während der Trennung/Anreicherung kommt es also allein auf die Masse des Uranisotops an, welchen Weg das jeweilige UF_6 -Molekül einschlägt. Und daher kann man nicht auf genau diese chemische Verbindung verzichten.

Die Behälter, in denen das Uranhexafluorid zwischen den Verarbeitungsschritten aufbewahrt und transportiert wird, müssen zudem auch auf Grund der physikalischen Eigenschaften des Materials besondere Sicherheitsanforderungen erfüllen. Denn UF_6 ist leicht flüchtig: Die farblosen Kristalle verdampfen (Sublimation vom Feststoff zum Gas) unter Normaldruck bereits bei 56,5 Grad Celsius. Und bereits bei 25 Grad Celsius beträgt der Dampfdruck schon 153 Millibar (zum Vergleich: Wasser erreicht bei derselben Temperatur nur einen Dampfdruck von 31,7 Millibar).



Gorleben is the German public's synonym for the storage of radioactive waste.

Gorleben steht in der deutschen Öffentlichkeit als Synonym für die Lagerung radioaktiver Abfälle.

An interim storage is no free space

The Fukushima reactor disaster in Japan has prompted the Federal Government to terminate the peaceful use of nuclear energy sooner than intended. This is a decision with far-reaching consequences because Germany has as yet, no final repository for highly radioactive waste. Even the old plan (Gorleben at the Elbe in Lower Saxony) is being widely debated again in an "open ended" way. Meanwhile, the materials are put into specially prescribed interim storage at the nuclear power plants as well as in the transport container storage at Ahaus (North Rhine-Westphalia, near the Dutch border) and at Gorleben. All in all, there are 16 sites in Germany with (as of 31/12/2010) 930 containers (mostly CASTORs®) holding a few thousand tons of highly radioactive material. In Gorleben alone more than 100 of these special containers are held.

For the predicted growing stockpiles, the Nuclear Safety Commission (Reaktorsicherheitskommission, RSK) issued basic safety guidelines back in 2001 and a number of licensing procedures for temporary storage at power plants were based on these principles. The hy-

pothetical events which must not damage the containers in any way whatsoever range from simple accidents resulting from it being dropped from the crane while in the interim storage to fire, earthquake, flood, explosions and plane crash.

At the heart of all procedures is the suitability of different container types to their equally diverse dangerous cargos (radioactive materials or complete irradiated fuel elements that have been processed and sealed in glass blocks). The same general protection goals apply to all containment systems for dangerous goods: an leaktight containment of the radioactive material, shielding radioactive emissions to the outside, the removal of decay heat and ensuring that the nuclear material is separated/segmented so that it can never reach a supercritical mass (subcriticality). Integrity is another important concept. It stands for the highest measure of reliability because the container must also uphold these safety standards in a severe accident. In addition, an expert opinion of the site-specific precautions is necessary for the approval of the respective interim storage.

RSK (Reaktorsicherheitskommission)
Nuclear Safety Commission

Ein Zwischenlager ist kein Freiraum

Die Reaktorkatastrophe im japanischen Fukushima hat die Bundesregierung veranlasst, die friedliche Nutzung der Kernenergie nun doch früher zu beenden als kurz zuvor noch beschlossen. Eine Entscheidung mit weit reichenden Konsequenzen, denn Deutschland besitzt bislang noch gar kein Endlager für hochradioaktive Abfälle. Selbst um die alte Planung (Gorleben in Niedersachsen, an der Elbe) wird wieder „ergebnisoffen“ diskutiert. Derweil gelangen die Stoffe in die dafür geschaffenen Zwischenlager an den Kernkraftwerken sowie in Transportbehälterlager bei Ahaus (NRW, an der holländischen Grenze) und bei Gorleben. Insgesamt geht es um 16 Standorte in Deutschland, an denen sich (Stand 31. 12. 2010) 930 Behälter (überwiegend CASTOREN®) mit einigen tausend Tonnen hochgradig strahlenden Materials befinden. Allein in Gorleben stehen inzwischen mehr als 100 dieser Spezialbehälter beisammen.

Der absehbar wachsenden Lagerhaltung begegnete die Reaktorsicherheitskommission (RSK) schon im Jahr 2001 mit grundlegenden sicherheitstechnischen Leitlinien, zahlreiche Genehmigungsverfahren für Zwischenlager an den Kraftwerksstandorten fußten auf diesen Prinzipien. Die Palette der darin unterstellten Einwirkungen, von denen keine Gefahren für die Behälter ausgehen dürfen, reicht vom einfachen Umfallen von Behältern über den Absturz vom

Kran des Zwischenlagers bis hin zu Brand, Erdbeben, Hochwasser, Explosionen und einem Flugzeugabsturz.

Im Zentrum aller Verfahren steht die sicherheitstechnische Eignung der unterschiedlichen Behältertypen mit ihrem ebenso unterschiedlichen Gefahrgut (ganze bestrahlte Brennelemente oder Material, das bereits aufgearbeitet und in Glaskokillen eingeschmolzen ist). Für alle Gefahrgutumschließungen gelten dieselben generellen Schutzziele: Ein dichter Einschluss der radioaktiven Stoffe, die Abschirmung der radioaktiven Strahlung nach draußen, die Abfuhr der Zerfallswärme und die Gewährleistung dafür, dass das Material so separiert/segmentiert bleibt, dass es nie zu einer überkritischen Masse kommen kann (Unterkritikalität). Und noch ein wichtiger Begriff: Integrität. Sie steht für die weitestgehende Unversehrtheit, denn der Behälter muss diese Schutzziele auch bei einem schweren Unfall gewährleisten. Darüber hinaus ist für die Genehmigung des jeweiligen Zwischenlagers die Begutachtung der standortspezifischen Vorkehrungen notwendig.

Doch die Behälterdesigns entwickeln sich ständig weiter, ihre Auslastungsgrade wachsen. Hinzu kommen die Fortschritte von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der sicherheitstechnischen Nachweisführung und der Prüfmethoden. All dies muss bei den Zulassungs-

RSK Reaktorsicherheitskommission



Ein leerer Transport- und Lagerbehälter bei der Erprobung des Umladevorgangs von einem Schienen- auf ein Straßenfahrzeug
Foto: GNS

*An empty transport and storage container with the movement from rail to road vehicle being tested
Photo: GNS*

But container designs continue to develop and their utilisation rates grow. Add to this the progress of science and technology in terms of safety verification and test methods. All this must be considered technically and administratively in the certification and approval procedures. This means that all regulations should be reviewed to determine whether they are still appropriate to new developments, so that the containers are always safe – during transport as well as in interim storage.

But do the hazards of road or rail transport differ from those expected in an interim storage facility that much? If so, how? To answer this, one must test each container type several times according to the regulations for transport and traffic law and nuclear regulations. Are there better methods such as using computer simulation? These were the actual questions that had to be clarified concerning the new container series. The mere transfer of the safety evidence in the sense of “what is safe for the roads according to IAEA rules, will stand up to an accident in storage” was certainly no longer feasible. A simple example: during transport, cylindrical containers have shock absorbers mounted at each end to disperse the energy of an impact – in the storage they do not have these fitted due to lack of space. And special devices are used in the storage to manoeuvre

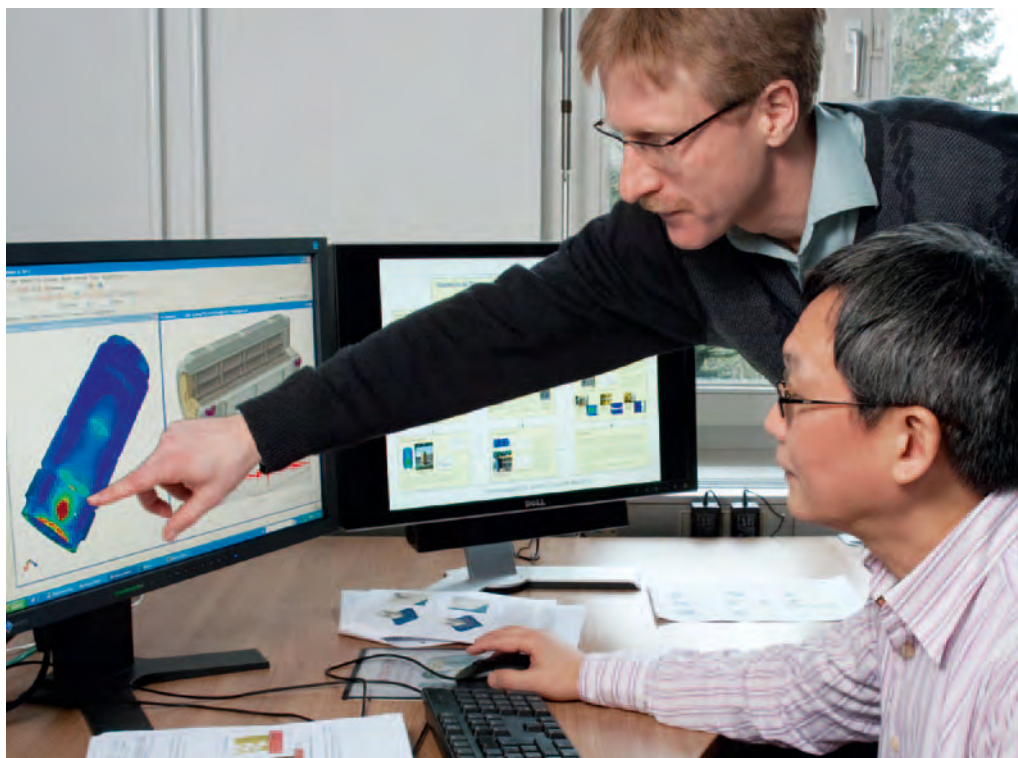
the containers, could they, in case of accidents, cause previously unknown threats to the integrity?

Questions which can only be assessed systematically: a task for the BAM Division 3.4 (Safety of Storage Containers) headed by Dr.-Ing. Holger Völzke. Systematically means that the results of experimental stress tests on the container material are reproduced and supplemented by computer models. Only then is it possible to simulate various physical constraints in order to recognise, for example, the influence of different temperatures, contents or crash positions. In short: the issue is to determine site-specific conditions typical of the storage and to investigate their interactions with the container and its materials and also whether its service life and integrity may change in an accident. Based on these findings, test methods can be improved and evidence standards enhanced which will then have to be met by the applicants.

“Durability” is the cue for further investigations which have an importance far beyond Germany’s borders. Eventually, those responsible for the regulations assumed that the interim storage of wastes would be finalised within 40 years and be replaced by final storage. This period is then used to specify the „shelf life” of

BAM scientists Dr. Linan Qiao and Dr. Holger Völzke evaluate the results of a finite-element analysis of transport and storage containers for radioactive materials by computer.

Die BAM-Wissenschaftler Dr. Linan Qiao und Dr. Holger Völzke werten die Ergebnisse einer Finite-Elemente-Analyse von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe am Rechner aus.





Nachbildung eines Druckwasserreaktor-Brennelements (Uran-Dioxid) mit 16x16 Brennstäben – Detail

Replica of a pressurised water reactor fuel element (uranium dioxide) with 16x16 fuel rods – detail

und Genehmigungsverfahren fachlich und administrativ berücksichtigt werden. Das heißt, dass alle Vorschriften darauf zu überprüfen sind, ob sie die Entwicklungen noch angemessen abbilden, damit die Behälter stets sicher sind – beim Transport ebenso wie bei der Zwischenlagerung.

Aber unterscheiden sich die Gefahren beim Straßen- oder Schienentransport von jenen, die in einem Zwischenlager zu erwarten sind, so erheblich voneinander? Wenn ja: wie? Muss man dann jeden Behältertypen mehrfach untersuchen, nach den verkehrsrechtlichen Transportvorschriften und nach dem Atomrecht. Gibt es verbesserte Methoden, etwa aus dem Bereich der Computersimulation? Genau das waren die Fragen, die nun bezüglich der neuen Behälterbaureihen geklärt werden mussten. Eine reine Übertragung der Sicherheitsnachweise im Sinne von „was nach IAEA-Regeln auf der Straße sicher ist, hält auch einen Unfall im Lager aus“ war jedenfalls nicht mehr möglich. Ein einfaches Beispiel dafür: Während des Transports tragen die zylindrischen Behälter an ihren Enden Stoßdämpfer, um Aufprallenergie zu verzehren – im Lager schon aus Platzgründen nicht. Und im Lager werden Spezialgeräte etwa zum Manövrieren der Behälter eingesetzt, könnten sie beim Unfall bisher unbekannte Gefahren für die Integrität verursachen?

Fragen, die sich nur systematisch beurteilen lassen, eine Aufgabe für den BAM-Fachbereich 3.4 (Sicherheit von Lagerbehältern) unter der Leitung von Dr.-Ing. Holger Völzke. Systematisch, das heißt, dass man die Ergebnisse experimenteller Belastungsversuche des Behältermaterials durch mathematische Rechenmodelle abbildet und ergänzt. Erst damit wird es möglich, zahlreiche physikalische Randbedingungen zu simulieren, um so zum Beispiel den Einfluss unterschiedlicher Temperaturen, Werkstoffdaten oder Absturzpositionen zu erkennen. Kurz: Es geht darum, ortsspezifische, für die Lagerung charakteristische Bedingungen zu ermitteln und sie auf ihre Wechselwirkung mit dem Behälter und seinen Materialien zu untersuchen, und auch darauf, ob sich seine Haltbarkeit, seine Integrität, bei einem Unfall verändern könnte. Aus solchen Erkenntnissen heraus lassen sich wiederum die Prüfmethode verbessern und die Nachweisstandards vertiefen, die der jeweilige Antragsteller zu erfüllen hat.

„Haltbarkeit“ ist denn auch das Stichwort für weitere Untersuchungen, die weit über Deutschlands Grenzen hinaus von Bedeutung sind. Schließlich gingen die Verantwortlichen, als sie die Regelwerke aufstellten, davon aus, dass die Zwischenlagerung der Abfälle spätestens nach 40 Jahren beendet sein und von der Endlagerung abgelöst sein dürfte. Dieser Zeit-



Replica of a pressurised water reactor fuel element (uranium dioxide) with 16x16 fuel rods

Nachbildung eines Druckwasserreaktor-Brennelements (Uran-Dioxid) mit 16x16 Brennstäben

the containers in the requirements for the manufacturers. But the longer the debate on a final storage continues without success, the nearer the CASTORs® filled in the past 20 years approach this projected (and still valid) time horizon.

But do the containers actually “age”? How does the metal behave after decades of impact from internal neutron and gamma radiation? How do the gaskets in the lids or plastic (polymer) shielding cope with this? Questions that are currently being discussed extensively both nationally and internationally. The researchers have realised that there is still a lack of knowledge and they need to develop the appropriate procedures. On the one hand control schemes are needed for containers stored over long periods and, on the other, test programmes must be established to ensure existing and new container designs will survive even longer periods of storage without damage.

All this is important with respect to transport law – at least during removal of old containers into the final repository. Unfortunately the IAEA regulations fail to make any distinction between a new shipping container and an old interim storage tank. It is undisputed however, that each container must easily withstand the specified damaging effects of an accident (“Serious cases for safety”, page 48). However, IAEA has been working on the case, of course, with the participation of BAM’s experts.

Complicated

The safety regulations are defined in the Atomic Energy Act (AtG), the Radiation Protection Ordinance (StrSchV) and in the Ordinance on the Transport of Dangerous Goods by Road, Rail and Inland Waterways (GGVSEB). The latter in turn uses the list of requirements from the International Atomic Energy Agency, IAEA (see also “Serious cases for safety”, page 48).

Now the regulations are incredibly complex and intertwined. Grossly simplified: the GGVSEB regulations (i.e. those of IAEA) apply to the transportation of dangerous goods containment systems. However, a site-specific approval procedure as per § 6 Atomic Energy Act must be performed for an interim storage. At least five participants are involved in the whole exercise: as the applicant, the container producer and the operator of the storage facility, the latter being the Nuclear Services Ltd (Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, GNS) for Ahaus and Gorleben who manage everything. The responsible

authority for design approvals in terms of transport regulations and intermediate storage permits under nuclear regulations is the Federal Office for Radiation Protection. The Federal Office for Radiation Protection commissions generally BAM’s Division “Safety of Storage Containers” being responsible for expert opinions on container safety, including quality assurance measures for container manufacture and operation.

In addition to BAM, testing institutions such as the Technical Inspection Association (TÜV) investigate storage containers with regard to sub-criticality, radiation shielding and heat dissipation. They also carry out the plant-specific assessment of the interim storage facility, including specification of the basic accident scenarios. When all issues are resolved and the licence for the storage facility has been issued, the authorities of the relevant Federal State then monitor the operation of the facility under the context of the nuclear regulatory inspection procedure.

raum bemisst denn auch die „Mindesthaltbarkeit“ der Behälter im Anforderungsprofil für die Hersteller. Je länger aber die Debatte um ein endgültiges Lager ohne Erfolg bleibt, desto näher rücken die in den vergangenen 20 Jahren befüllten CASTOREN® an diesen damals projektierten (und bis heute gültigen) Zeithorizont heran.

Aber „altern“ die Behälter tatsächlich? Wie verhält sich das Metall unter jahrzehntelanger Neutronen- und Gamma-Bestrahlung aus dem Inneren? Wie verkraften das die Dichtungen in den Deckeln oder Abschirmbauteile aus Kunststoffen (Polymeren)? Fragen, die zurzeit national und international intensiv diskutiert werden. Den Forschern ist klar, dass es hier noch an Wissen mangelt, sie sind dabei, die entsprechenden Vorgehensweisen zu entwickeln. So geht es einerseits um Kontrollverfahren für bereits lange gelagerte Behälter und andererseits um Untersuchungsprogramme, mit deren Hilfe sichergestellt werden kann, dass bestehende und neue Behälterdesigns auch noch längere Lagerzeiten unbeschadet überstehen.

All das ist auch verkehrsrechtlich von Bedeutung – spätestens beim Abtransport der alten Behälter ins Endlager. Denn die IAEA-Regeln machen bisher noch keinen Unterschied zwischen einem neuen Transportbehälter und einem gealterten Zwischenlagerbehälter. Unstrittig ist: Jeder Behälter muss die darin festgelegten Schädigungseinwirkungen eines Unfalls problemlos überstehen („Schwere Fälle für die Sicherheit“, Seite 49). Allerdings arbeitet die IAEA bereits an dem Thema, selbstverständlich unter Mitwirkung der BAM-Experten.

Kontakt/Contact



Dr. Holger Völzke

holger.voelzke@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-1340

Abteilung 3/Department 3

Gefahrgutumschließungen

Containment Systems for Dangerous Goods

Recht kompliziert

Die Sicherheitsvorschriften sind im Atomgesetz (AtG), in der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) und in der verkehrsrechtlichen Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB) festgelegt. Letztere wiederum verwendet den Anforderungskatalog, der von der International Atomic Energy Agency, IAEA vorgegeben wird (siehe auch „Schwere Fälle für die Sicherheit“, Seite 49).

Nun sind die Regelwerke ebenso komplex wie miteinander verzahnt. Grob vereinfacht: Beim Transport der Gefahrgutumschließung gelten die Regelungen der GGVSEB (also letztlich der IAEA), für das Zwischenlager hingegen muss ein standortbezogenes Genehmigungsverfahren nach §6 AtG absolviert werden. Darin sind mindestens fünf Beteiligte einbezogen: Als Antragsteller der Behälterproduzent und der Betreiber des Lagers, wobei im Falle von Ahaus und Gorleben alles in Händen der Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS) liegt. Das Bundesamt für

Strahlenschutz ist für verkehrsrechtliche Bauartzulassungen und atomrechtliche Zwischenlagergenehmigungen zuständig, es vergibt die Begutachtung zur Behältersicherheit einschließlich der qualitätssichernden Maßnahmen für deren Herstellung und Betrieb meist an die BAM, an den Fachbereich „Sicherheit von Lagerbehältern“.

Neben der BAM untersuchen Prüfinstitutionen wie der Technische Überwachungsverein (TÜV) die Lagerbehälter hinsichtlich der Unterkritikalität, der Strahlenabschirmung und der Wärmeabfuhr. Weiterhin führen sie die anlagenspezifische Begutachtung des Zwischenlagers einschließlich der Festlegung der zu Grunde zu legenden Störfallszenarien durch. Sind alle Fragen geklärt und die Lagergenehmigung erteilt, dann überwachen die Behörden des jeweiligen Bundeslandes den Lagerbetrieb im Rahmen des atomrechtlichen Aufsichtsverfahrens.



Igniting a firecracker

Ein Feuerwerkskörper wird gezündet.

Safety offers more fun at the fireworks

New Year's Eve: set up your fireworks, light them and step aside – enjoy the sight. What may take a minute for the user, may mean years of effort for specialists. The key issue is safety, which must be guaranteed even in times of growing European trade. When someone manufactures within or imports fireworks into the EU, which are intended for sale in a Member State, they must observe strict regulations, whose compliance is supervised – for example by BAM. There are always new designs coming to market, which must be type tested by BAM. The manufacturers and importers additionally test random samples from the current supply for quality assurance to avoid risks from faulty production. The standard, (or rather series of standards) for all these controls has been established according to quality criteria which principally describes the test methods and the requirements for construction and performance of the fireworks. This is a continuation of a DIN standard which has now been completed (DIN EN 15947, replacement for EN 14035).

Since BAM as a senior federal chemical technical institute is the only official body in Germany which can assess the conformity of fireworks,

the employees of the Division Explosives (2.3) headed by Dr. Dietrich Eckhardt have adopted a leading role in the standardisation committee.

The work was initiated by Directive 93/15/EEG of 1993 "on the harmonisation of the provisions relating to the placing on the market and supervision of explosives for civilian purposes" and the entry into force of Directive 2007/23/EC of 2007 „on the placing on the market of pyrotechnic articles“. The EU Council issues directives and these have to be implemented in national legislation. The harmonisation efforts are generally aimed at reducing trade barriers, thus products which have been given an appropriate conformity assessment in one country, may be sold in every other Member State if possible without any restrictions. This is the idea behind it, but does it also work for fireworks? After all, the assortment of those items ranges from sparklers to rocket batteries, doesn't it?

Therefore the second part of the standard series deals with the categorisation of the articles. Category F1 stands for "fireworks, which present a very low hazard, exhibit a negligible

DIN EN 15947

*Pyrotechnic articles –
Fireworks, Categories 1, 2,
and 3*

Mit Sicherheit mehr Spaß am Feuerwerk

Silvesterabend: Feuerwerk platzieren, anzünden, beiseite treten, Anblick genießen. Was für den Anwender alles zusammen vielleicht eine Minute dauert, bedeutet für Fachleute einen jahrelangen Aufwand. In ihrem Fokus steht die Sicherheit, die selbst in Zeiten des gewachsenen europaweiten Handels gewährleistet bleiben muss. Wer auch immer wo auch immer in der EU Feuerwerkskörper produziert oder einführt, die in einem Mitgliedsland in den Verkauf gelangen sollen, muss strenge Regelwerke beachten, deren Einhaltung – zum Beispiel von der BAM – überprüft wird. Da immer neue Konstruktionen auf den Markt kommen, müssen Baumuster auch von der BAM geprüft werden. Zum Zweck der Qualitätssicherung, die Gefahren durch fehlerhafte Produktion vermeiden soll, untersuchen die Hersteller und Importeure zusätzlich Stichproben aus dem laufenden Angebot. Die Norm (besser: die Normenreihe) für all diese Kontrollen ist weitgehend nach Kriterien der Beschaffenheit gefasst, hier sind vor allem die Prüfverfahren sowie die Anforderungen an Konstruktion und Funktion der Feuerwerkskörper beschrieben. Es handelt sich um eine fortgeführte DIN-Norm, die jetzt fertiggestellt worden ist (DIN EN 15947, Ersatz für die EN 14035). Da die BAM als chemisch-technische Oberbehörde des Bundes die einzige amtliche Stelle in Deutschland ist, die die Konformität von Feuerwerkskörpern bewertet, hatten die Mitarbeiter des Fachbereichs Explosivstoffe (2.3) unter der Leitung von Dr. Dietrich Eckhardt eine führende Rolle in dem Normenausschuss übernommen.

Anlass der Arbeit sind die Richtlinien 93/15/EWG aus dem Jahr 1993 „zur Harmonisierung der Bestimmungen über das Inverkehrbringen und die Kontrolle von Explosivstoffen für zivile Zwecke“ sowie das Inkrafttreten der Richtlinie 2007/23/EG über das „Inverkehrbringen pyrotechnischer Gegenstände“ aus dem Jahr 2007. Der EU-Rat erlässt ja stets Richtlinien, die anschließend in nationales Recht übertragen werden müssen. Die Harmonisierungsbestrebungen zielen generell auf den Abbau von Handelsschranken, so dass Produkte, die in dem einen Land eine entsprechende Konformitätsbewertung erhalten haben, in jedem anderen Mitgliedsland möglichst ohne Einschränkungen verkauft werden dürfen. Soweit die dahinter steckende Idee, aber funktioniert sie auch bei Feuerwerk? Schließlich reicht doch die Palette

jener Gegenstände von der Wunderkerze bis zur Raketenbatterie?

Deshalb befasst sich bereits der zweite Teil der Normenreihe mit der Kategorisierung der Gegenstände. Kategorie F1 steht für „Feuerwerkskörper, die eine sehr geringe Gefahr darstellen, einen vernachlässigbaren Lärmpegel besitzen und die in geschlossenen Bereichen verwendet werden sollen, einschließlich Feuerwerkskörpern, die zur Verwendung innerhalb von Wohngebäuden vorgesehen sind“, also Knallbons, Tischfeuerwerke und eben auch die Wunderkerze, zum Beispiel. Es sind diese Produkte, deren Verkauf in der EU (von Land zu Land) keiner Einschränkung unterliegen soll. Aber dafür wurden Knall- und Blitzknallkörper generell aus der Kategorie F1 verbannt. Bisher durften sie dort eingruppiert werden, wenn sie nur geringe Mengen Nettoexplosivstoffmasse (NEM) enthielten.

Keine nationalen Einschränkungen beim Inverkehrbringen mehr möglich – das gilt ausdrücklich nur für die kleinsten Feuerwerkskörper (F1) und professionelles Großfeuerwerk (F4). Anders sieht es bei den Kategorien F2 (geringe Gefahr, geringer Lärmpegel, Einsatz im Freien, abgegrenzter Bereich) und F3 aus (mittlere Gefahr, Verwendung in weiten, offenen Bereichen im Freien, Lärmpegel gefährdet nicht die menschliche Gesundheit). Hier haben die Mitgliedsstaaten der EU die Möglichkeit, aus Gründen der öffentlichen Ordnung, der öffentlichen Sicherheit oder des Umweltschutzes Maßnahmen zum Verbot oder zur Beschränkung des Besitzes, der Verwendung und/oder des Verkaufs zu treffen.

Aber wie klärt man, ob zukünftige Feuerwerkskörper, die keinem der in der Norm aufgeführten Typen entsprechen, prinzipiell der Kategorie F1 zuzuordnen wären? Zum einen durch direkten Ausschluss bestimmter Feuerwerkstypen: Raketen und Knallkörper beispielsweise sowie Batterien und Kombinationen daraus dürfen nie als F1 eingeordnet werden. Hinzu kommen sechs Kriterien der Beschaffenheit und Funktion, beginnend mit dem äußeren Erscheinungsbild: Hat der Feuerwerkskörper etwa Ähnlichkeit mit einem Spielzeug oder einem Nahrungsmittel? Sprich: Kann er von einem Kind damit verwechselt werden? Dann folgen messbare Abgrenzungen, etwa der Schall-

NEM Nettoexplosivstoffmasse

DIN EN 15947
Pyrotechnische Gegenstände – Feuerwerkskörper, Kategorien 1, 2 und 3

noise level and are intended for use in confined areas, including use inside domestic buildings“, such as Christmas crackers, table bombs and sparklers. It is these products whose sale within the EU (from country to country) should not be subject to any restriction. But then bangers and flash bangers have generally been excluded from Category F1. Previously they could be included in this group if they contained only small net explosive contents (NEC).

NEC net explosive content

CE (Communautés Européennes) European Community

No national restrictions for placing on the market are possible – strictly speaking this applies expressly to the smallest fireworks (F1). The situation is different for categories F2 (low hazard, low noise level, outdoor use, defined area) and F3 (medium hazard, outdoor use, open areas, the noise level does not endanger human health). Here the Member States of the EU have the option to take measures prohibiting or restricting possession, use and/or sale for reasons of public order, public security or safety or environmental protection.

But how can you decide whether future fireworks, which do not correspond to the types specified in the standard, should in principle be assigned to category F1? On the one hand, by

The annual BAM press conference provides information about new EU regulations concerning New Year's Eve fireworks.

Die alljährliche Pressekonferenz der BAM informiert über neue EU-Regelungen auf dem Gebiet der Silvester-Pyrotechnik.



direct exclusion of certain firework types: for example rockets, bangers, batteries and combinations may never be classified as F1. In addition, there are six criteria of quality and performance, starting with the external appearance: Do the fireworks have any similarity with a toy or food? That is to say: can it be mistaken by a child? Then there are measurable limits, for instance the sound pressure level at a safety distance of one meter: is it greater than 120 decibels (A)? This level should never be exceeded, the prescribed and category-dependent safety distances of the fireworks are different: it is eight metres for F2 products and even 15 metres for F3. Furthermore: How do parts behave during burning, and does it leave residues afterwards? Do glowing/smouldering particles scatter horizontally beyond one metre, do they fly higher than half a metre? Only one clear “yes” in this list of questions leads to an exclusion from Category F1.

The user must observe certain safety distances, rules of conduct and comply with regulations of use. So the user knows what to do, clear instructions marked on the fireworks themselves and/or their primary pack are needed. These safety data are some of the minimum requirements stipulated by the standard just like information about the type of fireworks, their category, the minimum age of the user, the year of manufacture (only for F3), the net explosive content as well as data about the manufacturer/importer. Additionally, the inscription must contain a registration number valid across Europe as well as a CE label, so that the item or the product family can be traced any time. Apart from an indication of the category, the registration number also reveals which European notified body has tested this article. Furthermore, the CE label must be printed in combination with the identification number of the notified body which has audited the quality assurance of the articles.

“Requirements for construction and performance“: in this part of the standard can be found details of the materials used, structure and dimensions, characteristics before, during and after functioning as well as on packing. Materials which contain poisonous or environmentally hazardous substances have also been ruled out by the new standard. Specifically named and added are arsenic, lead and mercury as well as their chemical compounds, and a new substance, hexachlorobenzene (HCB).



Mitarbeiterinnen der BAM bei der Zulassungsprüfung von Feuerwerkskörpern auf dem BAM Testgelände Technische Sicherheit

BAM staff performing approval testing of fireworks at the BAM Test Site Technical Safety

druckpegel in einem Meter Sicherheitsabstand, ist er größer als 120 Dezibel (A)? Dieser Pegel darf nie überschritten werden, freilich ändern sich die vorgegebenen und kategorieabhängigen Sicherheitsabstände zu den Feuerwerkskörpern: Bei F2-Produkten beträgt er acht Meter, bei F3 sogar 15 Meter. Weiter: Wie verhalten sich Teile während des Abbrands, Reste danach? Streuen glühende/glimmende Partikel horizontal über einen Meter hinweg, fliegen sie mehr als einen halben Meter hoch? Nur ein einziges „Ja“ innerhalb dieses Fragenkatalogs führt zum Ausschluss aus der Kategorie F1.

Der Benutzer muss bestimmte Sicherheitsabstände, weitere Verhaltensregeln und Verwendungsbestimmungen einhalten. Damit er weiß, was zu tun ist, bedarf es eindeutiger Hinweise auf den Feuerwerkskörpern selbst bzw. auf ihren Ursprungsverpackungen. Zu den von der Norm geregelten Mindestanforderungen gehören diese Sicherheitsangaben ebenso wie Informationen über den Feuerwerkstyp, seine Kategorie, das Mindestalter des Verwenders, das Herstellungsjahr (nur für F3), die Nettoexplosivstoffmasse sowie Daten über den Hersteller/Importeur. Zusätzlich dazu muss der Aufdruck nun eine europaweit gültige Registriernummer sowie ein CE-Zeichen enthalten, damit der Artikel oder die Produktfamilie jederzeit zurückverfolgt werden kann. Aus der Registriernummer geht neben der Kategorieangabe auch hervor, welche benannte Stelle in Europa diesen Ge-

genstand geprüft hat. Des Weiteren ist das CE-Zeichen in Verbindung mit der Kennnummer der benannten Stelle aufzudrucken, die die Qualitätssicherung der Gegenstände auditiert hat.

„Anforderungen an Konstruktion und Funktion“, in diesem Normenteil finden sich beispielsweise Details zu den Werkstoffen, die verwendet werden dürfen, zu Aufbau und Abmaßen, zu den Eigenschaften vor, während und nach der Funktion sowie zu Verpackungen. Weiterhin ausgeschlossen bleiben auch nach der neuen Norm Inhaltsstoffe, die giftige oder umweltgefährdende Substanzen enthalten, zu nennen sind Arsen, Blei und Quecksilber sowie ihre chemischen Verbindungen, hinzu gekommen ist Hexachlorbenzol (HCB).

Kontakt/Contact

Dr. Christian Lohrer
christian.lohrer@bam.de
Telefon/phone: +49 30 8104-3249

Abteilung 2/Department 2
Chemische Sicherheitstechnik
Chemical Safety Engineering

**Safe and environmentally compatible
use of materials**



Sichere und umweltverträgliche Verwendung von Materialien

Dorfverbindungsweg auf Taveuni,
Fidschi

*Access road to a village on Taveuni,
Fiji*



Wooden groynes in the Baltic Sea

Buhnen aus Holz an der Ostsee

CE (Communautés Européennes)
European Community

CEN (Comité Européen de Normalisation)
Committee for European Standardization

CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
Scientific and Technical Centre for Buildings

Improve the protection for wood and the environment

When someone wants to build a weekend house or equip their home with a new balcony, they usually select wood as a material because it is easy to process. However, exterior wood is exposed to a variety of pests and is a popular source of food for fungi, bacteria and insects. Numerous chemicals offer protection, but these should not be able to be washed off by rain, otherwise they lose their efficacy in the material and pollute the environment. But how can the release of the materials be evaluated? A question, which Dr. Ute Schoknecht from the BAM Department 4 (Materials and the Environment) is tackling. She is dealing with the principles of leaching biocide agents from wood.

The key issue is to avoid environmental hazards and this concern has been incorporated in the European Building Product Directive (89/106/EEC). One of the requirements laid down even states that buildings must be designed and constructed so that no threat of water and/or soil pollution is posed. Even the timber must meet the CE technical specifications since only then will it be granted the CE label so that it becomes marketable in the EU without trade barriers.

Building products, which are exposed to weathering, must therefore be evaluated on the release of substances. Such investigations have to take place according to uniform European Union rules, based on harmonised test

methods. The task to develop these was given to the Committee for European Standardization CEN, or more precisely to one of its working groups (CEN TC 351/WG 1; Technical Committee "Construction products – Assessment of release of dangerous substances", Working Group 1: "Release from construction products into soil, ground water and surface water").

This is where BAM's experts come into the play. In collaboration with two French research establishments, the Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) in Grenoble and the Institut National des Sciences Appliquées (INSA) in Toulouse, it carries out fundamental studies into the leaching processes from wood. The experiments at BAM are supported by the German Academic Exchange Service (DAAD), it finances a three-month study leave of a CSTB Ph.D. student.

But how are processes, which take years in reality, estimated in just a few months? This is only possible using computer models which in turn are based on reality and must be verified by that means again. Available models must be adapted in such a way that they can be used to simulate and describe the leaching processes of different substances from wood. The researchers are hoping for a deeper understanding of the actual physicochemical processes – not only to make long-term forecasts, but also to explain existing experimental data.

Den Schutz für Holz und Umwelt verbessern

Wer sich ein Wochenendhäuschen errichten (lassen), oder sein Wohngebäude mit einem weiteren Balkon ausstatten will, wählt meist Holz als Material dafür, denn es lässt sich leicht verarbeiten. Allerdings ist Holz im Außenbereich einer Vielzahl von Schädlingen ausgesetzt, ist es doch eine beliebte Nahrungsquelle von Pilzen, Bakterien und Insekten. Schutz davor bietet eine Reihe von Chemikalien, doch diese dürfen nicht vom Regen herausgewaschen werden, sonst verlieren sie an Wirksamkeit im Material und belasten die Umwelt. Aber wie lässt sich das Freisetzen der Stoffe bewerten? Eine Frage, der Dr. Ute Schoknecht aus der BAM Abteilung 4 (Material und Umwelt) nachgeht. Sie befasst sich mit den Grundlagen der Auswaschung von bioziden Wirkstoffen aus Holz.

Schließlich geht es darum, Umweltgefahren zu vermeiden, diese Sorge hat sich schon in der Europäischen Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG) niedergeschlagen. Eine der dort festgelegten Anforderungen besagt denn auch, Bauwerke müssen so entworfen und ausgeführt sein, dass von ihnen keine Wasser- bzw. Bodenverunreinigung ausgeht. Selbst das Bauholz muss daher technische Spezifikationen erfüllen, denn nur dann wird ihm das CE-Kennzeichen erteilt, erst damit wird es ohne Handelsbarrieren in der EU vermarktungsfähig.

Bauprodukte, die der Bewitterung ausgesetzt sind, müssen also auf die Freisetzung von Substanzen hin bewertet werden. Solche Untersuchungen haben nach EU-einheitlichen Regeln stattzufinden, nach harmonisierten Prüfverfahren. Diese wiederum zu entwickeln ist der Auftrag, der dem Europäischen Normungsgremium CEN erteilt wurde, genauer: einer seiner Arbeitsgruppen (CEN TC 351/ WG 1; Technical Committee „Construction products – Assessment of release of dangerous substances“, Working Group 1: „Release from construction products into soil, ground water and surface water“).

Hier kommen die BAM-Experten ins Spiel. In Zusammenarbeit mit zwei französischen Forschungseinrichtungen, dem Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) in Grenoble und dem Institut National des Sciences Appliquées (INSA) in Toulouse führen sie grundlegende Untersuchungen zu Auswaschprozessen aus Holz durch. Die Experimente an der BAM werden vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) unterstützt, er finanziert den dreimonatigen Forschungsaufenthalt einer CSTB-Doktorandin.

Aber in nur wenigen Monaten Vorgänge einschätzen, die in der Realität Jahre benötigen? Das geht nur mit rechnerischen Modellen, die wiederum an der Wirklichkeit orientiert und an

CE (Communautés Européennes)
Europäische Gemeinschaft

CEN (Comité Européen de Normalisation)
Europäisches Komitee für Normung

CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
Wissenschaftliches und technisches Zentrum für Bauwesen



Der Autosampler eines Gaschromatographen wird mit Proben bestückt.

Samples are placed into the autosampler of a gas-phase chromatograph.

Collaboration combines important key skills: in France, they are already working on computer modelling of the leaching behaviour of inorganic components (for example copper, boron and trace amounts of zinc and trivalent chromium) from wood, while BAM experts have gained extensive experience from leaching tests on wood in connection with the development of test methods for biocide products. This was primarily to answer questions of water availability and the resulting transport processes.

Now biocide analysts want to have a detailed look at the chemical basis of the elution processes. Copper should be investigated as an inorganic component; the metal is toxic to many microorganisms, even in small concentrations, but only in higher doses to vertebrate animals. The researchers selected the chlorine-containing mycotoxin Tebuconazole as the representative for the organic agents – it is considered toxic to aqueous organisms and can cause harm in waters over long periods.

Back to the wood for the trees: they are veritable chemical factories for the scientist. The leaves carry out photosynthesis using their chlorophyll; vegetable organisms convert carbon extracted from air into polymer sugars (polysaccharides), which they use to form cell walls (cellulose) and also chain molecules from phenols. These are of importance in tree felling: they provide the supporting structure, the lignin. Dried wood consists of a large-pore composite material into which the protective agent is introduced in industrial processing by pressure impregnation.

Depending on their chemical characteristics, the active substances are bound to the wood matrix – the stronger this binding is, the less the active substance can be leached. Modern copper-based wood preservatives contain amines for example, which can form complex compounds with copper. These copper-amine complexes affect lignin; it attaches copper at the free ends of the polymer chains.

But wood does not solely consist of lignin and cellulose, it contains a number of organic substances: cyclic and aromatic alcohols, aldehydes, ketones and ether, carboxylic acids such as formic acid, acetic acid as well as tannins. Since all these materials may be involved in the binding of wood preservatives or have an intensifying effect on the elution of wood pre-

servatives, they must be investigated systematically. Special attention should be attributed to substances which are eluted simultaneously to the wood preservative components from the wood. These are investigated by the colleagues of the BAM's biocide analysts using chromatographic and spectroscopic methods.

The biocide analysts are supported by their colleagues from the organic trace analysis: they determine the elemental composition of wood extracts, experts on waste treatment and remedial engineering help with the determination of different elements and ions as well as organic carbon in the eluates.

All this information ultimately improves the computer models that make forecasting numerous interactions between the material and environment more accurate.



Test assembly for the investigation of leaching processes

Testansatz für eine Leaching-Untersuchung

ihr überprüft werden. Dafür sollen vorhandene Modelle so angepasst werden, dass sie für Simulationen zur Beschreibung von Auswaschvorgängen verschiedener Substanzen aus Holz dienen können. Die Forscher erhoffen sich davon ein tieferes Verständnis der tatsächlich ablaufenden physikalisch-chemischen Prozesse – nicht nur, um längerfristige Vorhersagen zu treffen, sondern auch dazu, bereits vorhandene experimentelle Daten zu erklären.

Die Kooperation bündelt wichtige Kompetenzen: In Frankreich fanden bereits Arbeiten zur rechnerischen Modellierung des Auswaschverhaltens anorganischer Bestandteile aus Holz (zum Beispiel von Kupfer und Bor sowie Spuren von Zink und dreiwertigem Chrom) statt, während die BAM-Experten im Zusammenhang mit der Entwicklung von Prüfverfahren für Biozidprodukte schon umfangreiche Erfahrungen aus solchen Leaching-Untersuchungen mit Holz gesammelt haben. Hierbei ging es vorrangig um Fragen der Wasserverfügbarkeit und der daraus entstehenden Transportprozesse.

Nun wollen die Biozidanalytiker die chemischen Grundlagen der Auswaschvorgänge näher betrachten. Als eine anorganische Komponente soll Kupfer untersucht werden, das Metall wirkt bereits in geringen Konzentrationen auf viele Mikroorganismen toxisch, auf Wirbeltiere jedoch erst in höherer Dosis. Die Forscher wählten das chlorhaltige Pilzgift Tebuconazol als Vertreter der organischen Wirkstoffe – es gilt als giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern sogar längerfristig schaden.

Zurück zum Holz, zu den Bäumen: Für den Naturwissenschaftler sind sie wahre Chemiefabriken. Die Blätter betreiben Photosynthese mit ihrem Chlorophyll; den damit aus der Luft geholten Kohlenstoff wandelt der pflanzliche Organismus zu polymeren Zuckern (Polysaccharide) um, mit denen er die Zellwände bildet (Zellstoff, Cellulose), aber auch zu Kettenmolekülen aus Phenolen. Diese sind für das Verholzen von Bedeutung, aus ihnen entsteht die Stützstruktur des Materials, das Lignin. Getrocknetes Holz besteht also aus einem porigen Verbundwerkstoff, in den das Schutzmittel bei der industriellen Verarbeitung per Druckimprägnierung eingetragen wird.

Die Wirkstoffe werden je nach ihren chemischen Eigenschaften in der Holzmatrix gebunden – je stärker diese Fixierung ist, desto weni-

ger Wirkstoff kann ausgewaschen werden. Moderne kupferhaltige Holzschutzmittel enthalten zum Beispiel Amine, die mit dem Kupfer Komplexe bilden. Diese Kupferamin-Komplexe wirken auf das Lignin ein, es fixiert das Kupfer an freien Enden der Polymerketten.

Aber das Holz besteht ja nicht allein aus Lignin und Zellstoff, es enthält eine Reihe von organischen Substanzen: Cyclische und aromatische Alkohole, Aldehyde, Ketone und Ether, Carbonsäuren wie Ameisensäure, Essigsäure sowie Tannine. Da all diese Stoffe an der Bindung von Holzschutzmittelwirkstoffen beteiligt sein oder einen verstärkenden Einfluss auf das Herauswaschen (eluieren) von Holzschutzmitteln haben könnten, muss man sie darauf systematisch untersuchen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf Substanzen, die parallel zu den Holzschutzmittelbestandteilen aus dem Holz ausgewaschen werden. Diese werden von den Biozidanalytikern der BAM mit chromatographischen und spektroskopischen Methoden untersucht.

Unterstützt werden die Biozidanalytiker von ihren Kollegen aus der organischen Spurenanalytik, sie ermitteln die Elementzusammensetzung der Holzextrakte, Experten aus dem Bereich Abfallbehandlung und Altlastensanierung helfen bei der Bestimmung verschiedener Elemente und Ionen sowie des organischen Kohlenstoffs in den Eluaten.

All diese Informationen verbessern letztlich auch die Rechenmodelle, mit deren Hilfe sich später wiederum zahlreiche Wechselwirkungen zwischen Material und Umwelt genauer prognostizieren lassen.



Kontakt/Contact

Dr. Ute Schoknecht

ute.schoknecht@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-1413

Abteilung 4/Department 4

Material und Umwelt

Materials and the Environment



Laser printing device in a 5 m³ emission test chamber.

Laserdrucker in einer 5-m³-Emissionsmesskammer

Laser printing devices: Blue Angel against particle emissions

Millions of laser printing devices (printers, copiers, faxes) are commonplace in offices and private households. For many years there has been a public debate about the fact that their use could cause harm to health. But which devices release what substances and in what concentrations? Which emissions should we pay particular attention to? The release of particles into the air is being widely discussed. It is generally assumed that the risk of respiratory and cardiac disease rises with increasing particulate concentration in breathing air. Epidemiological studies into air pollution by aerosols indicate the particularly harmful character of ultrafine particles in humans. Aerosol emissions from laser printers are in this range: the particles released have diameters from a few nanometres to approximately 300 nanometres. There are already many studies on this topic but they are too fragmented: so the questions, scenarios and studies of the technical measurement conditions vary too much in order to provide a systematic approach for the comparison of emissions and their potential impact. A direct threat by particle emissions from laser printers has so far not been clearly demonstrated.

In this situation safeguards and consumer information may help – an important tool is the “Blue Angel”, an ecolabel esteemed nationally and internationally. It is granted by the German Institute for Quality Assurance and Certification (NGO, RAL) commissioned by the Federal Environment Agency for health-friendly products with particularly low environmental pollution. This label can be obtained by product manufacturers on a voluntary basis. The “Blue Angel” offers health conscious consumers a choice of direction and assistance for selecting from the very wide market and gives an important incentive to manufacturers for product improvement. The procurement guidelines which are the basis of this award have been compiled and developed with BAM’s participation for many years.

“Blue Angel”’s assignment basis, currently valid for office equipment, identifies test methods and emission limits for volatile organic materials ((SVOC), ozone, benzene, styrene). However the emission of very small particles has so far not been considered. Therefore the scientists of the Department 4 (Materials and the Environment) in the BAM have been commissioned by the Federal Ministry for the Environment, Nature Protection and Reactor Safety within the

SVOC Semivolatile Organic Compounds

Laserdrucker: Blauer Engel gegen Partikelemissionen

Laserdruckgeräte (Drucker, Kopierer, Faxgeräte) sind in Büros und Privathaushalten millionenfach verbreitet. Seit vielen Jahren gibt es eine öffentliche Diskussion darüber, dass ihre Nutzung gesundheitliche Gefahren verursachen könnte. Aber welche Substanzen setzen die Geräte in welchen Konzentrationen frei? Auf welche Emissionen muss man besonders achten? Intensiv diskutiert wird über die Freisetzung von Partikeln in die Luft. Generell gilt, dass die Gefahr von Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen mit zunehmender Partikelkonzentration in der Atemluft steigt. Epidemiologische Untersuchungen zur Verunreinigung der Luft durch Aerosole weisen auf eine besondere Schädlichkeit ultrafeiner Partikel beim Menschen hin. Die Aerosolemissionen von Laserdruckern liegen in diesem Bereich, die freigesetzten Partikel haben Durchmesser von wenigen Nanometern bis zu etwa 300 Nanometern. Untersuchungen darüber gibt es bereits viele, doch sind sie zu uneinheitlich: So variieren die Fragestellungen, Untersuchungsszenarien und die messtechnischen Randbedingungen zu stark, um einen Ansatz für den systematischen Vergleich der Emissionen und ihrer möglichen Auswirkungen zu bieten. Eine direkte Gefahr durch Partikelemissionen aus Laserdruckern konnte bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden.

In dieser Situation hilft Vorsorge und Verbraucherinformation – ein wichtiges Werkzeug dafür ist der „Blaue Engel“, ein national wie international geschätztes Umweltzeichen, welches vom Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., RAL) im Auftrag des Umweltbundesamts für gesundheitsschonende Produkte mit besonders geringer Umweltbelastung verliehen wird. Dieses Siegel kann von Produktherstellern auf freiwilliger Basis beantragt werden. Der „Blaue Engel“ bietet dem gesundheitsbewussten Konsumenten eine Orientierungs- und Entscheidungshilfe bei der Auswahl aus dem umfangreichen Angebot des Marktes und gibt Herstellern einen wichtigen Anreiz für Produktverbesserungen. Die Vergaberichtlinien, die dieser Auszeichnung zugrunde liegen, werden seit vielen Jahren auch von der BAM mit erarbeitet und weiterentwickelt.

Die aktuell noch gültige Vergabegrundlage des „Blauen Engels“ für Bürogeräte benennt unter anderem Prüfmethode und Emissionsgrenzen

für flüchtige organische Stoffe ((SVOC), für Ozon, Benzol, Styrol). Die Emission sehr kleiner Partikel wurde bisher jedoch nicht berücksichtigt. Deshalb bekamen Wissenschaftler der Abteilung 4 (Material und Umwelt) in der BAM einen entsprechenden Arbeitsauftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Umweltforschungsplans (UFOPLAN, Förderkennzeichen-Nr.: 3708 95 301). Die Forscher unter der Leitung von Dr. Stefan Seeger erarbeiteten eine Prüfmethode und analysierten auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften der emittierten Partikel.

Sehr häufig wird die Besorgnis geäußert, dass Tonerpartikel oder Tonerstaub freigesetzt werden. Im Ursprungszustand haben Tonerpartikel so wie sie in den Tonerkartuschen vorhanden sind jedoch einen Durchmesser von mehr als 1 µm, sie bestehen aus Gemischen verschiedener Materialien (Pigmente, Wachse und Harze, Trennmittel und Additive). Ein wichtiges Teilergebnis des Forschungsprojekts ist der Nachweis, dass diese Partikel gar nicht in die Umgebungsluft gelangen. Beim Drucken „hinausgeblasen“ werden hingegen – neben gasförmigen Stoffen – Partikel, die sich aus Bestandteilen der Tonermaterialien, des Papiers sowie aus anderen Quellen zusammensetzen. Diese Partikel entstehen erst im Druckprozess, der die elektrostatisch aufs Papier gebrachten Tonerpartikel bei rund 200 °C fixiert.

Insgesamt wurden im Forschungsvorhaben zehn Druckgeräte unterschiedlicher Hersteller unter kontrollierten Bedingungen in Emissionsmesskammern untersucht. Wie die Messergebnisse belegen, ist die Gesamtmenge der Partikel unterhalb 300 Nanometer das entscheidende Kriterium für die Bewertung der Partikelemissionen. Und darin unterscheiden sich die untersuchten Geräte zum Teil erheblich. Einige Drucker emittieren besonders viele Partikel, nämlich bis zu 100.000 mal mehr als die umweltschonendsten Drucker.

Als Basisgröße wird der zeitliche Verlauf der Partikelanzahlkonzentration in der Luft während des Druckbetriebs gemessen. Als Ergebnis des Forschungsvorhabens stellte sich heraus, dass solche Messungen von akkreditierten Laboratorien in Emissionsmesskammern (je nach Größe des Druckers 1 m³ oder 5 m³ groß) reproduzier-

SVOC (Semivolatile Organic Compounds)
Mittelflüchtige organische Verbindungen



Particle emission test with a laser printing device in a 5 m³ environmental test chamber

Messung der Partikel-emissionen aus einem Laserdrucker in einer 5-m³-Emissionstest-kammer

Environmental Research Plan (UFOPLAN grant 3708 95 301). The researchers headed by Dr. Stefan Seeger have developed a test method and analysed the chemical and physical characteristics of the emitted particles.

Very often the concern is expressed that toner particles or toner dust are released. However, toner particles in their original state, as they are present in the toner cartridges, have diameters of greater than 1 µm, they consist of mixes of different materials (pigments, waxes and resins, separating agents and additives). An important result of the research project is to demonstrate that these particles do not enter the ambient air. However, during printing – beside gaseous materials – particles are “blown out” comprised of components of the toner materials, paper and from other sources. These particles are produced in the printing process which fixes the electrostatic toner particles placed on the paper at about 200 °C.

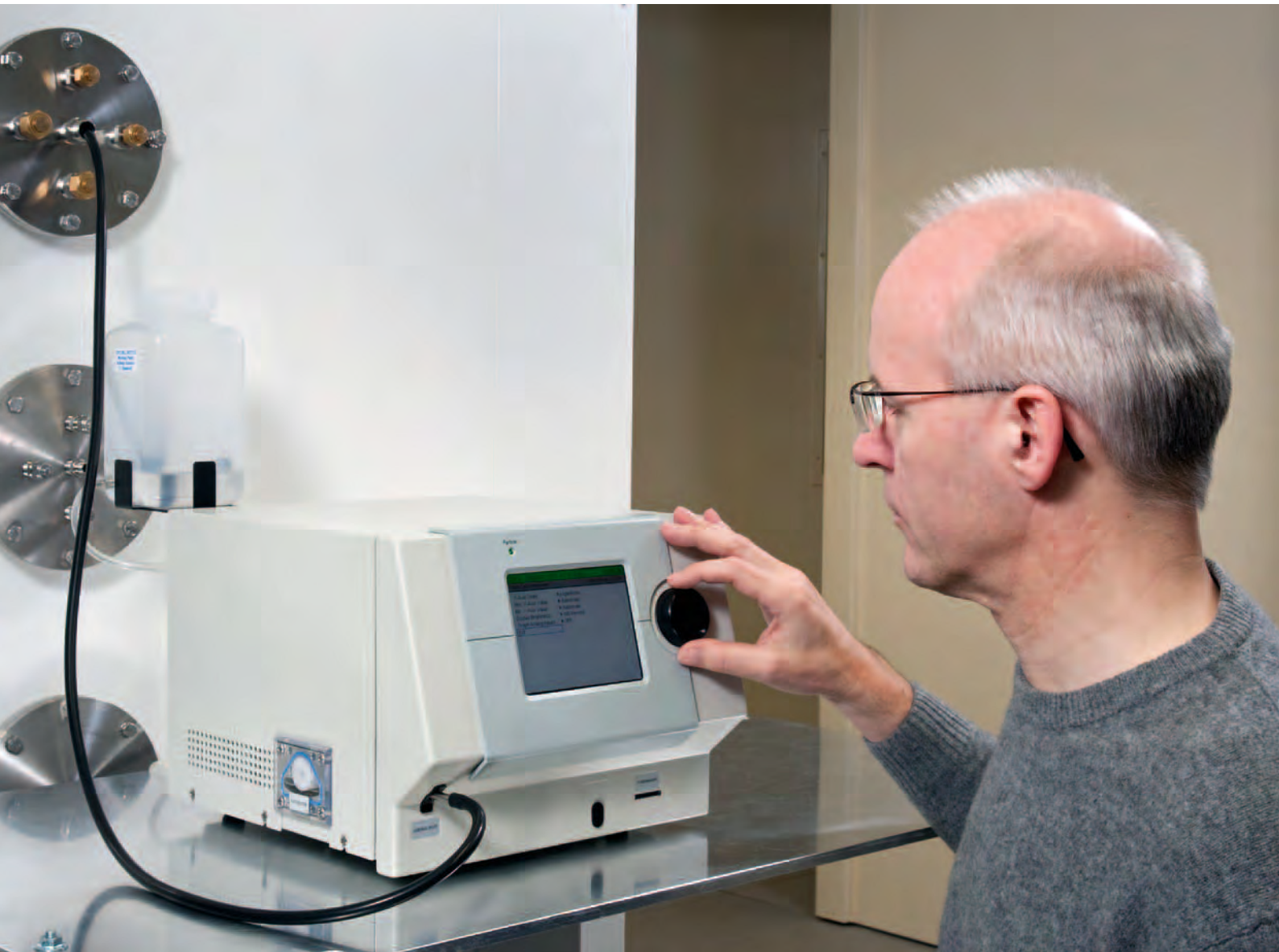
A total of ten laser printing devices from different manufacturers was tested in emission test chambers under controlled conditions in the research project. The test results have proved that the total amount of particles smaller than 300 nanometres is the basic criterion for the assessment of particle emissions. And in this respect the devices tested differ, in some cases by quite a lot. Some printers emit a large number of particles, up to 100,000 times more than the most environmentally friendly ones.

During printing, the concentration of particles in air is measured as a basic parameter. The research project has shown that such measurements by accredited laboratories in emission test chambers (1 m³ or 5 m³, depending on the printer's size) can be carried out reproducibly and reliably. The newly developed test method describes all measurement and data evaluation details. On this basis, emissions can be quantitatively compared and the assignment criteria checked within the context of the “Blue Angel”.

The concentration of particles from laser printing devices in offices or other sites is significantly influenced by a great number of factors, such as room volume, prevailing air exchange rate, duration of printing and the number of pages as well as print speed. These factors may not all be considered in a test procedure for assigning the environmental label, which must be mainly practical, reproducible and precise. Therefore particle emissions determined in such product tests under standardised conditions must be generally regarded as reference values which do not in any way allow the estimation of the real pollution factor.

The researchers have found another important result in their work: bromine compounds were detected in the particle emissions in two out of the ten laser printers tested. They originate with high probability from flame retardants released from housings and other components.

The bottom line is that the analysis of quantities, sizes and chemical composition of the particles emitted from laser printer systems created the basis for assessing the context of “Blue Angel” as well as in comparison with other sources of aerosol emissions.



bar und verlässlich durchgeführt werden können. Die neuentwickelte Prüfmethode beschreibt sämtliche Details der Messung und der Datenauswertung. Auf dieser Basis sind der Vergleich der Emissionen und die Überprüfung von Vergabekriterien im Rahmen des „Blauen Engels“ möglich.

Die durch Laserdrucker verursachten Partikelanzahlkonzentrationen in Büros oder an anderen Aufstellungsorten werden von sehr vielen Faktoren entscheidend beeinflusst, unter anderem vom Volumen des Raumes, vom dort herrschenden Luftwechsel, von der Dauer und der Seitenzahl der Druckaktivität sowie der Druckgeschwindigkeit. Diese Faktoren können nicht alle sinnvoll in einem Prüfverfahren für die Vergabe eines Umweltzeichens berücksichtigt werden, welches in erster Linie praktikabel, reproduzierbar und präzise sein muss. Die in einer solchen Produktprüfung unter standardisierten Bedingungen ermittelten Partikelemissi-

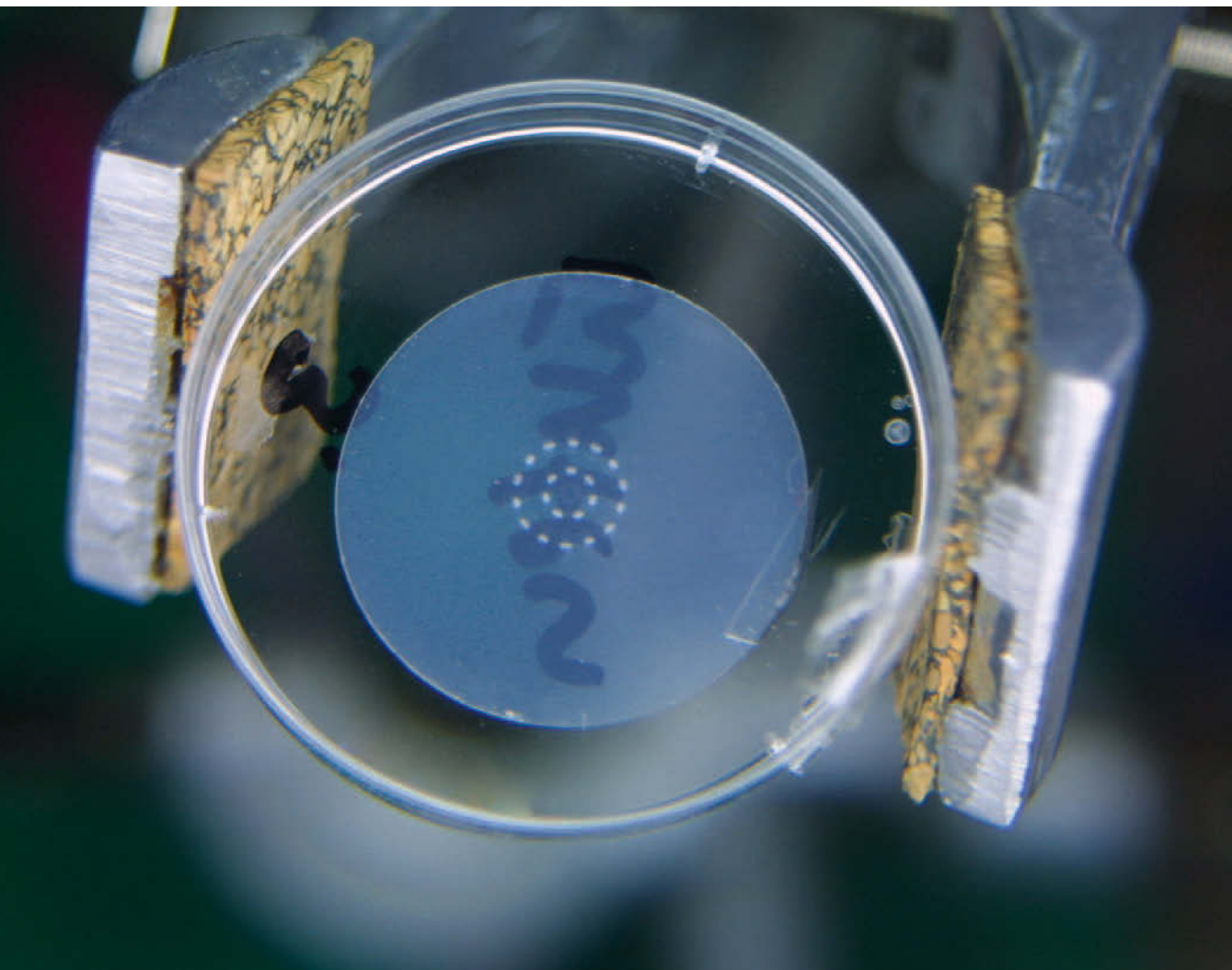
onen sind daher generell als Vergleichswerte zu verstehen und erlauben in keiner Weise die Abschätzung realer Belastungen.

Bei der Arbeit der Forscher trat eine weitere wichtige Erkenntnis zutage: Bromverbindungen waren in den Partikelemissionen von zwei der zehn untersuchten Laserdrucker nachweisbar. Sie stammen mit hoher Wahrscheinlichkeit aus Flammenschutzmitteln, freigesetzt aus Gehäusen und anderen Bauteilen.

Insgesamt wurde durch die Analyse von Mengen, Größen und chemischen Zusammensetzungen der aus Laserdrucksystemen emittierten Partikel eine Grundlage für eine Bewertung im Rahmen des „Blauen Engels“ sowie im Vergleich mit anderen Aerosolemissionsquellen geschaffen.

Die Partikelanzahlkonzentration in der Emissionsmesskammer wird mit einem Kondensationspartikelzähler (CPC) gemessen.

The particle number concentration in the test chamber is measured with a condensation particle counter (CPC).



Particles emitted from a laser printing device were sampled with an aerosol cascade impactor for chemical analysis. This sample from stage 3 contains particles with 100 nm diameter. The particles are deposited in dots forming a regular pattern on the substrate.

Aus einem Bürogerät emittierte Partikel wurden mit einem Aerosol-Kaskadenimpaktor für die chemische Analyse gesammelt. Gezeigt ist eine Probe aus der Impaktorstufe 3, die Partikel um 100 nm Durchmesser abscheidet. Die Abscheidpunkte sind auf dem Substrat als regelmäßiges Muster zu erkennen.

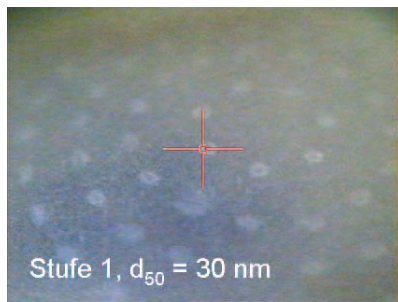
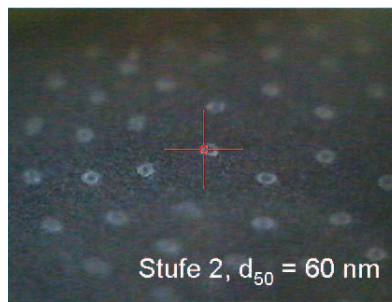
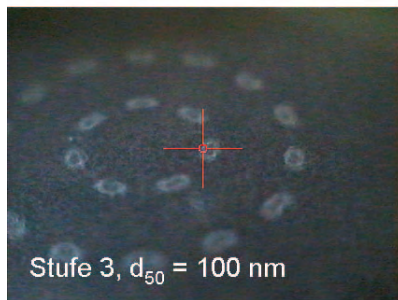
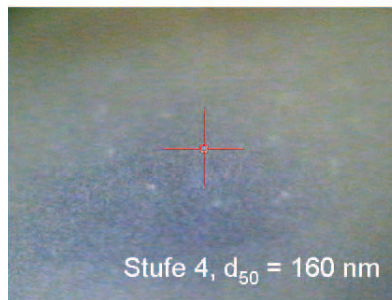
Analysis methods

Only knowledge of the chemical composition of the particles enables one to pursue the causes of their release and possibly develop strategies for their reduction or avoidance. For this purpose, particle samples were obtained with the help of a 13-stage cascade impactor from an aerosol and subjected to a size-dependent qualitative chemical analysis. Micro x-ray fluorescence spectroscopy (μ XRF, sensitive to elements) and thermodesorption gas chromatography with mass spectrometry (TD-GC-MS, sensitive to volatile organic substances) were used.

The μ XRF analyses found the elements silicon (Si), sulfur (S), chlorine (Cl), calcium (Ca), titanium (Ti), chromium (Cr), iron (Fe), bromine (Br) and traces of nickel (Ni) and zinc (Zn). The tests on paper, toner and structural components of the printers by means of

μ XRF enabled the identification of particle sources: Ca-containing particulate matter was primarily attributed to paper abrasion, while particles with Si, Cr, Fe, Ni and Zn components originated from toner materials.

TD-GC-MS-analyses enabled the detection of alkanes, alkenes, siloxanes, phthalates and esters as organic particle components. It was also possible to identify the sources of particles: alkanes primarily originated from the toner material; esters and, to some extent, alkenes originated from the paper. Plastic parts are suspected to be the origin of phthalates, while the detection of siloxanes is attributed to their use as lubricants.

Stufe 1, $d_{50} = 30$ nmStufe 2, $d_{50} = 60$ nmStufe 3, $d_{50} = 100$ nmStufe 4, $d_{50} = 160$ nm

Aerosolproben aus den Impaktorstufen 1 bis 4. Die Partikel haben Durchmesser zwischen 30 nm und 160 nm.

Particles sampled on cascade impaktor stages 1 to 4 (30 nm–160 nm particle diameter).

Kontakt/Contact

Dr. Stefan Seeger

stefan.seeger@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-3802

Abteilung 4/Department 4

Material und Umwelt

Materials and the Environment

Die Analysemethoden

Erst wer die chemische Zusammensetzung der Partikel kennt, kann den Ursachen ihrer Entstehung nachgehen, und kann möglicherweise Strategien zur Reduzierung oder Vermeidung entwickeln. Zu diesem Zweck wurden Partikelproben mit Hilfe eines 13-stufigen Kaskadenimpaktors aus dem Aerosol gewonnen und einer größenabhängigen qualitativen chemischen Analyse zugänglich gemacht. Hierfür wurden die Methoden Mikro-Röntgenfluoreszenzspektroskopie (μ XRF, sensitiv auf Elemente) und Thermodesorptions-Gaschromatographie-Massenspektrometrie (TD-GC-MS, sensitiv auf volatile organische Substanzen) eingesetzt.

Die μ XRF-Analysen fanden die Elemente Silizium (Si), Schwefel (S), Chlor (Cl), Calcium (Ca), Titan (Ti), Chrom (Cr), Eisen (Fe), Brom (Br) und Spuren von Nickel (Ni) und Zink (Zn).

Die Untersuchung von Papier, Toner und strukturellen Komponenten der Drucker mittels μ XRF machte die Identifizierung von Partikelquellen möglich: So werden die Ca-haltigen Partikelbestandteile in erster Linie dem Papierabrieb zugeschrieben, während Partikel mit Si-, Cr-, Fe-, Ni- und Zn-Bestandteilen aus den Tonermaterialien stammen.

Mit den TD-GC-MS-Analysen konnten vor allem Alkane, Alkene, Siloxane, Phthalate und Ester als organische Partikelbestandteile bestimmt werden. Auch hier gelang die Zuordnung zu Partikelquellen: Alkane stammen vornehmlich aus dem Tonermaterial, Ester, teilweise auch Alkene, stammen aus dem Papier. Als Ursprung der Phthalate werden die Kunststoffteile vermutet, während der Nachweis von Siloxanen ihrer Verwendung als Schmiermittel zugeschrieben wird.



Old building made from bricks

Altes Gebäude aus Mauerziegeln

Lightweight concrete from old walls

During demolition and renovation work on houses it is a matter of course to recover valuable materials for reuse. But is that also possible with materials from construction and demolition waste (CDW materials) – a mixture of bricks, sand-lime blocks, concrete and mortar? The answer is, yes, high-quality new building materials can be obtained from that, as evidenced by tests in which the BAM Department 7 (Safety of Structures) was significantly involved. Back in the 1990s, experts from the European Union funded the BRITE-EURAM project on “Technologies for recycling building materials for high-quality cement and concrete” were able to prove that concrete rubble can be recycled inexpensively and effectively – something now regularly practiced in the field. A recovery strategy for heterogeneous building waste with a high proportion of materials from masonry rubble was sought, and now the first positive results from the “Innovative technology to produce lightweight aggregates from CDW materials” integrated research project are available. The project is headed by the Bauhaus-University Weimar, F. A. Finger Institute for Building Material Science, Working Group Recycling in the “r² – Innovative Technologies for Resource Efficiency – resource-intensive production processes,” funding program by the Federal Ministry of Education and Research. Two manufacturing processes were examined for lightweight granules and the parameters for achieving the most favourable results. The Ber-

lin experts’ task was to examine the suitability of the granules as lightweight aggregates for concrete.

Shortly after the end of World War II, BAM scientists began looking for uses of masonry rubble – back then, the sheer lack of resources made it necessary to produce concrete and hollow stone blocks by adding cement to coarse crushed brick. Today, ecological approaches are the priority: resource conservation and reducing landfill volume. Because roughly 20 million tons of masonry rubble are produced nationwide annually, practically all of which can be refined into a high-quality, porous aggregate for lightweight concrete.

Lightweight concrete is a popular material: because of its large number of cavities (porosity) it insulates heat much better than solid material, and its low weight makes transport and manoeuvring of manufactured parts much easier. It becomes light because of the addition of natural or industrially produced lightweight aggregates such as pumice or expanded clay. The public know them from hydroponics – the granules weigh little because of the enclosed air. When used in concrete however, the material must be much more solid, resilient and more uniformly structured. In laboratory experiments, two grain size groups were used – two to four and four to eight millimetres particle size. Industrially produced granules are typically up to

Leichter Beton aus alten Mauern

Dass man bei Abriss- und Umbauarbeiten an Häusern wertvolle Materialien für die Wiederverwertung rettet, ist selbstverständlich. Aber geht das auch mit Mauerwerksbruch – also mit einem Gemisch etwa aus Ziegeln, Kalksandsteinen, Beton, Mörtel? Ja, auch daraus lassen sich hochwertige neue Baumaterialien gewinnen, dies belegen Untersuchungen, an denen die BAM Abteilung 7 (Bauwerkssicherheit) maßgeblich beteiligt ist. Den Experten gelang es bereits in den 90er Jahren, in dem von der Europäischen Union geförderten BRITE-EURAM-Projekt über „Technologien zum Baustoffrecycling für hochwertigen Zement und Beton“ nachzuweisen, dass Betonbruch preiswert und effektiv zu recyceln ist – was inzwischen auch in der Praxis geschieht. Jetzt war eine Verwertungsstrategie für heterogene Bauabfälle mit hohen Anteilen von Mauerwerksbruch gesucht, und nun liegen die ersten positiven Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts „Aufbaukörnungen“ vor. Geleitet wird es von der Bauhaus-Universität Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Arbeitsgruppe Recycling im Förderprogramm „r² – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Untersucht wurden zwei Fertigungsverfahren für Leichtgranulate sowie deren Einflussgrößen, mit denen man die jeweils günstigsten Zielwerte erreichen kann. Aufgabe der Berliner Fachleute war es, die Granulate auf ihre Eignung als leichte Gesteinskörnung für Beton zu prüfen.

An einer neuen Zukunft für Mauerwerksbruch forschten BAM-Wissenschaftler bereits gleich nach Kriegsende – damals drängte der schiere Mangel an Rohstoffen dazu, groben Ziegelsplitt durch Zementbeifügung zu Beton und Hohlblocksteinen zu verarbeiten. Heute stehen ökologische Ansätze im Vordergrund: die Ressourcenschonung und die Verringerung der Depo-niemengen. Denn bundesweit fallen jährlich rund 20 Millionen Tonnen Mauerwerksbruch an, davon kann noch ein großer Teil – im Prinzip eigentlich alles – veredelt werden, und zwar zu einem hochwertigen, porösen Zuschlagsstoff für Leichtbeton.

Leichtbeton ist ein beliebter Werkstoff: Wegen seiner Vielzahl an Hohlräumen (Porosität) dämmt er Wärme deutlich besser als Vollmaterial, eine erhebliche Gewichtsreduktion erleich-

tert den Transport und das Manövrieren von Fertigteilen. Leicht wird er durch die Zugabe natürlicher oder industriell gefertigter Leichtzuschläge wie beispielsweise Bims oder Blähton. Der Laie kennt sie von Hydrokulturen – das Granulat wiegt wenig, weil es viel Luft einschließt. Für den Einsatz im Beton muss das Material freilich viel fester, belastbarer und gleichmäßiger gestaltet sein. In den Laborversuchen wurden zwei Korngruppen verwendet, von zwei bis vier und von vier bis acht Millimeter Partikelgröße. Bei industrieller Fertigung werden üblicherweise Granulate mit Körnungen bis zu 16 mm hergestellt. Aber Granulate aus Rezyklat – stimmt denn da die Qualität? Ja, sie sind ihren aus herkömmlichen Rohstoffen gefertigten Geschwistern mindestens ebenbürtig: „Die Blähgranulate können als leichte Gesteinskörnungen zur Herstellung von Leichtbetonen eingesetzt werden, die gleiche oder höhere Festigkeiten als Betone mit kommerziellem Blähton aufweisen“, lautet eine der wichtigsten Feststellungen der Studie.

Zudem konnte eine weitere Befürchtung ausgeräumt werden: Selbst eine unterschiedliche Zusammensetzung des verwendeten Mauerwerksbruchs verändert das Verhalten bei der Verarbeitung nicht nennenswert. Eine Probe zum Beispiel enthielt knapp 71 % (alle Angaben in Masseprozent) Ziegel/Klinker und nur 23 % Beton und Gesteinskörnung, bei einer anderen lag das Verhältnis umgekehrt, bei 26 % zu 49 %. Dennoch verhielten sich beide Probenmengen im thermischen Erhärtungsverfahren bei der Erhitzung bis auf 1185 °C über den gesamten Temperaturanstieg hinweg nahezu gleich. Dieses gleichmäßige, von den Bestandteilen des Rohstoffs fast unabhängige Sinter- und Schmelzverhalten deutet auf eine chemische Ähnlichkeit der Materialien hin: Da nehmen Siliciumverbindungen mit etwa 70 % den größten Anteil ein, gefolgt von Calcium- und Aluminiumverbindungen, jeweils zwischen 9 % und 12 %. Hinzu kommen geringe Anteile von Eisen- und Magnesiumverbindungen, Alkalien und Sulfaten. Insofern verwundert das ähnliche Verhalten im Ofen also nicht.

Für die Verarbeitung, die an der Bauhaus-Universität Weimar erfolgte, ist es notwendig, alles zu einem gut vermischten Pulver zu zermahlen, mit Korngrößen kleiner als ein Zehntel Millimeter. Hinzu kommt das Blähmittel (bis zu 5 %),

16 mm in size. But granules from recycled material – are they of sufficient quality? Yes, they are at least equal in quality to their counterparts produced from conventional raw materials. One of the most important findings of the study was “Expanded granules can be used as lightweight aggregates for the production of lightweight concrete, which is of equal or greater strength than concrete from a commercial grade expanded clay”.

DIN EN 13055-1

Lightweight aggregates – Part 1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout

Another concern was also allayed. Even if the composition of the masonry rubble varies, the processing behaviour changes only negligibly. For example, one sample contained almost 71 % (all values in mass percent) brick/clinker and only 23 % concrete and aggregates, in another the ratio was reversed at 26 % and 49 %. Yet during the thermal hardening process, heating them up to 1185 °C, both samples behaved almost identically over the entire temperature range. This uniform sintering and melting behaviour, almost independent of the components of the raw material, suggests a chemical similarity of the materials with about 70 % silicon compounds making up the largest share, followed by calcium and aluminium compounds, between 9 % and 12 %, respectively. There are also small parts of iron and magnesium compounds, alkalis and sulphates. In this respect the similarity of behaviour in the furnace is not surprising.

Chemical analysis by means of ion chromatography

Chemische Analyse mittels Ionenchromatografie

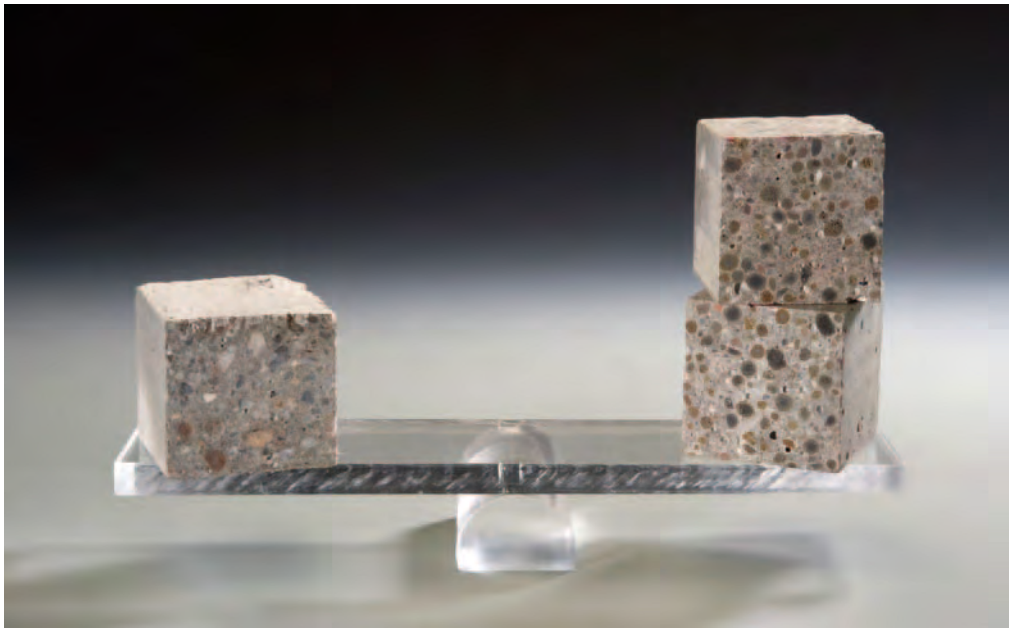


For the type of processing used at the Bauhaus-University Weimar, it is necessary to grind everything down to a well-mixed powder with particle sizes of less than one tenth of a millimetre. An expansion agent (up to 5 %) is added, more about that later. Thoroughly mixed and moistened with water, the pasty material is now processed into “green granules” (pellets of about 2–5 mm grain size). Different shaping processes are used for this, pelletising plates, pan granulator and die press.

But how do the cavities get into the material? It happens because of gas formation during processing – scientists talk about an “expanding process”. It can be initiated by mixing substances into the powder to be sintered which form gases at the exact temperature at which the source materials start to melt. One method uses silicon carbide (SiC), which releases carbon dioxide gas and converts into silicates when exposed to air during the heating process in an alkaline environment. The lightest of these expanded granulates have a bulk density of 590 kg per cubic metre, remaining well below the target of a maximum of 1000 kg/m³. As the tests showed, not even commercial grade SiC is required, even residues from the expanding agent production can be used – adding them not only increases the grain strength but also almost doubles the bulk density (minimum in this test series 1138 kg/m³).

The Bauhaus-University Weimar researchers compared this thermal hardening process to a hydro-thermal version borrowed from the manufacturing of sand-lime bricks. 3 % to 9 % quicklime (CaO) is added to the pulverised source material, everything is thoroughly mixed with water, initially forming calcium hydroxide. Pelleting is followed by a six-hour treatment in an autoclave at 200 °C and 16 bar pressure in an atmosphere saturated with water vapour. This also hardens the material into lightweight granules.

The bulk density of these granules is higher, the highest of all samples reached 1795 kg/m³. Though it may still satisfy the requirements for lightweight aggregates according to DIN EN 13055-1, this is clearly too much for the required target value (density <1000 kg/m³) of the study. Further studies for reducing raw density by adding an expanding agent are currently underway.



Gewichtvergleich von Normalbeton mit Leichtbeton

Weight comparison between ordinary and lightweight concrete

davon gleich mehr. Intensiv vermischt und mit Wasser angereichert, wird der nun pastöse Rohstoff zu „Grüngranulaten“ (Pellets von etwa 2 mm bis 5 mm Korngröße) verarbeitet. Dazu dienen verschiedene Formgebungsverfahren: Pelletierteller, Granulierteller und Matrizenpresse.

Aber wie kommen die Hohlräume in das Material? Durch Gasentwicklung bei der Herstellung, die Wissenschaftler sprechen vom „Blähprozess“. Man kann ihn dadurch hervorrufen, dass man Stoffe unter das zu sinternde Pulver mischt, die bei gerade jener Temperatur Gase entwickeln, bei der die Ausgangsstoffe zu schmelzen beginnen. Eine Methode arbeitet mit Siliciumcarbid (SiC), das sich unter Luftzutritt beim Erhitzen in alkalischer Umgebung unter Freisetzung von Kohlendioxid-Gas in Silicate umwandelt. Die leichtesten dieser Blähgranulate erreichen eine Rohdichte von 590 Kilogramm pro Kubikmeter, sie bleiben damit deutlich unter dem Ziel von maximal 1000 kg/m³. Wie die Untersuchung zeigte, benötigt man dafür nicht einmal handelsübliches SiC, sogar Reststoffe aus der Blähmittelproduktion können problemlos verwendet werden, deren Beifügungen steigern die Kornfestigkeit – aber auch die Rohdichte fast aufs Doppelte (Minimum in dieser Testreihe 1138 kg/m³).

Diesem thermischen Erhärtungsverfahren stellen die Forscher der Bauhaus-Universität Weimar eine hydrothermale Variante gegenüber, die der Herstellung von Kalksandsteinen ent-

lehnt ist. Dem pulverisierten Ausgangsmaterial werden 3 % bis 9 % Branntkalk (CaO) beigelegt, dann wird alles mit Wasser durchgemischt, wobei sich zunächst Calciumhydroxid bildet. Nach der Pelletierung folgt eine sechsstündige Behandlung im Autoklav bei 200 °C und 16 bar Druck in wasserdampfgesättigter Atmosphäre. Hierbei härtet das Material ebenfalls zu Leichtgranulaten aus.

Die Rohdichte dieser Granulate liegt aber weiter oben, der Spitzenreiter aller Proben erreicht 1795 kg/m³. Damit mag es die Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen entsprechend der DIN EN 12620-1 noch erfüllen, für den in der Untersuchung geforderten Zielwert (Rohdichte <1000 kg/m³) ist es jedoch eindeutig zu viel. Weitere Untersuchungen zur Senkung der Rohdichte durch Zugabe eines Blähmittels sind gerade angelaufen.

DIN EN 12620-1
Leichte Gesteinskörnungen – Teil 1: Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel



Kontakt/Contact

Dr. Katrin Rübner

katrin.ruebner@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-1714

Abteilung 7/Department 7

Bauwerkssicherheit

Safety of Structures



Geosynthetics in landfill covers: Geogrid, geocomposite drain with filter and protection geotextile nonwoven, geomembrane (top down)

Geokunststoffe im Deponiebau: Geogitter, Kunststoff-Dränelement mit Filter- und Schutzvliesstoff beschichtet und Kunststoffdichtungsbahn (von oben nach unten)

Geosynthetics for landfills: Can they hold tight?

Does anyone remember garbage “disposal” a good 40 years ago? Household waste was simply dumped by the collection vehicle on tips, heavy machinery (compactor) crushed the residues – and that was it. Meanwhile, high-tech landfills have developed from the rudimentary disposal sites which can no longer accept everything and must be carefully safeguarded. En route a lot of painstaking work was needed by careful hands, including those of BAM’s experts: Dr. Werner Müller, Department 4 (Materials and the Environment). He is still engaged in this issue because BAM is the approval body for all those plastic materials (geosynthetics) that help impound the contents of landfills safely. And since new types of geomembranes, protective layers, plastic drainage elements for seepage, geotextiles for filtering and separating soils and reinforcing grids to stabilise slopes and retaining structures have been added, their long-term behaviour must be properly scrutinised. That is the task of the scientists who are always adapting the regulations to the current state of the art, which also applies to quality assurance, since during installation the operatives from specialist installation companies must employ the correct technology. An advisory board managed by BAM, comprising representatives of specialist authorities of the federal States, the Federal Environment Agency and experts from other relevant areas, helps to develop the approval guidelines.

The general problem is easy to understand: even household waste contains a number of pollutants – for example heavy metals from used batteries and fluorescent lamps which have not been returned to the shop or recycling centres. These substances must not be allowed to penetrate into the ground, or especially into an aquifer, since this is our drinking water reservoir. Even a basal liner of a single layer of clay is not sufficient – this was learnt from bad experiences in the 1970s and subsequent years. To prevent rain water from seeping through the waste and leaching pollutants, landfills must also be provided with a cap and a technology should be employed to collect and treat water from the waste body.

Therefore, starting in the mid-1980s the industry began to produce basal liners from geomembranes. But a legal basis was required for their use and for this, in turn, an approval – after many meticulous and impartial successful tests on the material: the first BAM approval for a geomembrane was issued on 30 August 1989 based on the “Lower Saxony Liner Directive” of 24 June 1988. Over the following years, BAM has established itself as a certification body of national importance for the increasingly specialised designed and built “geosynthetics”.

Now waste legislation – and for good reason – has been ever tightened: only pre-treated waste residues are allowed into the landfills which, themselves, have become much safer.

Geokunststoffe für Deponien: Können sie dichthalten?

Erinnert sich noch jemand an die Müll-„Entsorgung“ vor gut 40 Jahren? Haushaltsabfälle wurden einfach vom Sammelfahrzeug aus auf Kippen geschüttet, eine schwere Baumaschine (Kompaktor) drückte die Reste zusammen, fertig. Inzwischen sind aus den simplen Lagerstätten hochtechnische Abfalldeponien geworden, die längst nicht mehr alles aufnehmen dürfen und sorgfältig gesichert werden müssen. Auf dem Weg dorthin war viel Arbeit ordnender Hände vonnöten, darunter auch die der BAM-Experten: Dr. Werner Müller, Abteilung 4 (Material und Umwelt), hat damit heute noch zu tun, denn die BAM ist die Zulassungsstelle für jene Materialien aus Kunststoff (Geokunststoffe), die mithelfen, den Inhalt der Deponien sicher einzuschließen. Und da immer neue Kunststoffdichtungsbahnen, Schutzschichten, Kunststoff-Dränelemente für das Sickerwasser und Geotextilien zum Filtern und Trennen von Böden sowie Bewehrungsgitter für die Stabilität von Böschungen und Stützkonstruktionen hinzukommen, muss vor allem deren Langzeitverhalten abgeschätzt werden. Aufgabe der Wissenschaftler ist es, die Regelwerke stets an den aktuellen Stand der Technik anzupassen, was auch für die Vorschriften zur Qualitätssicherung beim Einbau gilt, damit die Mitarbeiter der Spezialfirmen für die korrekte Verarbeitung sorgen können. Ein Fachbeirat, dem Vertreter der Länderfachbehörden, des Umweltbundesamtes sowie Fachleute aus anderen relevanten Bereichen angehören, hilft bei der Erarbeitung der Zulassungsrichtlinien mit. Die Geschäftsführung dieses Fachbeirats liegt bei der BAM.

Das generelle Problem ist leicht zu verstehen: Selbst der Abfall aus Haushalten enthält eine Reihe von Schadstoffen – zum Beispiel Schwermetalle aus alten Batterien und Leuchtstofflampen, die nicht im Fachgeschäft oder auf dem Recycling-Hof abgegeben wurden. Diese Substanzen dürfen nicht ins Erdreich oder gar in die Grundwasserleiter dringen, denn diese bilden unser Trinkwasserreservoir. Allein mit einer Tonschicht als untere Barriere kam man nicht mehr aus – das lehrten schlimme Erfahrungen spätestens aus den 70er- und den Folgejahren. Um zu verhindern, dass Regenwasser durch die Abfälle hindurch läuft und Schadstoffe auslaugt, muss auch oben eine Abdichtung erfolgen, nebst jener Technik, mit der das Wasser aus dem Deponiekörper aufgefangen und gereinigt werden kann.

Daher begann die Industrie Mitte der 80er-Jahre damit, zunächst Basisabdichtungen aus Kunststoffdichtungsbahnen herzustellen. Doch für deren Einsatz benötigte man eine Rechtsgrundlage, und für diese wiederum eine Zulassung – nach erfolgreicher akribischer und neutraler Prüfung des Materials: Am 30. August 1989 wurde die erste BAM-Zulassung für eine Kunststoffdichtungsbahn auf der Grundlage des „Niedersächsischen Dichtungserlasses“ vom 24. Juni 1988 erteilt. In der Folgezeit etablierte sich die BAM als Zulassungsstelle von bundesweiter Bedeutung für die immer spezieller konstruierten „Geokunststoffe“.

Nun ist das Abfallrecht – aus gutem Grund – immer weiter verschärft worden, selbst auf die viel sicherer gewordenen Deponien dürfen nur noch Reste aus der Vorbehandlung des Mülls gelangen. Die Deponieverordnung von 2009 schreibt den verschiedenen Deponieklassen detaillierte Schadstoff-Grenzwerte für die abzulagernden Reste vor. Darüber hinaus müssen Mindestanforderungen an die Dichtigkeit und viele andere Eigenschaften von Basis- und Oberflächenabdichtungen eingehalten werden.

Mit dem Erlass der Verordnung hat sich der Gesetzgeber aber aus konkreten Vorschriften für Regelabdichtungssysteme weitgehend zurückgezogen, weil er nicht jede neue technische Entwicklung im Recht nachvollziehen will und kann. Stattdessen müssen allgemeine Vor-

DIN EN 13252
Geotextilien und geotextil-
verwandte Produkte – Geforderte
Eigenschaften für die Anwendung
in Dränanlagen
(siehe Seite 83)

Einbau eines Kunststoff-
Dränelements auf einer
polymervergüteten
Sand-Bentonit-Dichtung

*Installation of
geocomposite drains on
a polymer-improved
sand-bentonite layer*



DIN EN 13252

Geotextiles and geotextile-related products – Required characteristics for use in drainage systems

The Landfill Ordinance of 2009 prescribes detailed pollutant limits for the various landfill classes of residue disposed of. In addition, basal liners and caps must meet minimum requirements on imperviousness and many other properties.

Having issued the regulation, the legislature has largely withdrawn from practical regulations for standard liner systems because every new technical development cannot and does not need to be implemented in terms of regulations. Instead, general requirements (emission limits, durability, etc.) must be met – with whatsoever technology is being used. BAM's experts supported by the advisory board are responsible for the assessment of the currently best available technique as far as the use of geosynthetics is concerned.

The regulation raises particularly high requirements on the durability of the materials used for

the liners: "Components in the installed liner and capping systems must be chosen so that the functional performance of the individual components and the overall system under all external and mutual influences has been proved for a period of at least 100 years." But how can this be determined for geosynthetics? First of all, it is important that the components and final products are factory-made and have well defined and reproducible properties. Reproducible means that everything must be described fully and clearly, not only the components themselves (such as non-woven fabrics, woven fabrics, drain cores and plates), but also their precursors from which they have been made (for example fibres, yarns, slit films and flat strips).

Minimum standards already exist for these geosynthetics. They can be seen in the European CE mark, which must be based on a product-related, EU-wide harmonised standard. For example: where drainage facilities are concerned, plastics must have properties which adhere to the requirements of DIN EN 13252 for use in drainage systems. Only then can manufacturers submit their products to BAM for approval.

So, is everything agreeably harmonised in the EU? Not really, judging by the details. Namely, the required criteria for the CE "minimum standards" are often missing. For example, proof of durability against mechanical impacts ("long-term shear strength and long-term water permeability taking into account creep and dimensional stability of the drain core" – as the experts say) for the above-mentioned plastic drainage elements is missing. That is to say: the spectrum of characteristics listed in the application standard and the accompanying CE document fail to include precisely those items that are absolutely necessary in landfills. The products must therefore pass extensive long-term-behaviour tests and can only be used in landfills in Germany after obtaining an approval based on the test results.

Therefore, Dr. Werner Müller and his colleagues will definitely be busy for quite some time. His critical conclusion: "Despite the European Landfill Directive, the standards and practices in national landfill engineering are still too different, and the manufacturer's interest is still too strong for certain products to be possibly used in all geotechnical applications at the lowest possible level."

Removal of sample holder from Notched Tensile Constant Load Test apparatus

Entnahme der Probenhalterung aus dem NCTL-Prüfgerät (Notched Constant Tensile Load Test)



gaben (Emissionsgrenzen, Haltbarkeit usw.) eingehalten werden – mit welcher Technik auch immer. Für die Beurteilung des aktuell besten Weges dorthin sind, was die Verwendung von Geokunststoffen anbelangt, die Experten der BAM mit Unterstützung des Fachbeirats zuständig.

Die Verordnung stellt vor allem hohe Ansprüche an die Haltbarkeit der Materialien, die für die Abdichtung eingesetzt werden: „Komponenten im Einbauzustand müssen so gewählt werden, dass die Funktionserfüllung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen ist.“ Aber wie lässt sich das bei den Geokunststoffen einschätzen? Wichtig ist dabei zuallererst, dass die Produkte bis in ihre Bestandteile hinein mit definierten, reproduzierbaren Eigenschaften werkmäßig hergestellt werden. Reproduzierbar, das heißt, dass alles vollständig und eindeutig beschrieben sein muss, nicht nur die Komponenten selbst (etwa Vliesstoffe, Gewebe, Dränkörper und Platten), sondern auch ihre Vorprodukte, aus denen sie bestehen (beispielsweise die Fasern, Garne, Bändchen und Flachbänder).

Mindeststandards für diese Geokunststoffe gibt es bereits. Man erkennt auch sie am europäischen CE-Kennzeichen, das hierbei auf einer produktbezogenen, EU-weit harmonisierten Anwendungsnorm fußen muss. Ein Beispiel: Wenn es um Anlagen zur Drainage geht, haben die Kunststoffe die nach der DIN EN 13252 geforderten Eigenschaften für die Anwendung in Dränanlagen einzuhalten. Erst dann darf der Hersteller sein Produkt bei der BAM zur Zulassung einreichen.

Also alles harmonisch harmonisiert, in der EU? Nur selten, wenn man in die Details geht. Die CE-„Mindeststandards“ lassen nämlich zumeist die gewünschten Kriterien vermissen. Den erwähnten Kunststoff-Dränelementen fehlt zum Beispiel der Ausweis der Haltbarkeit gegenüber mechanischen Einwirkungen („Langzeit-Scherfestigkeit und das Langzeit-Wasserableitvermögen unter Berücksichtigung des Kriechverhaltens und der Formstabilität seines Dränkörpers“, sagen die Experten dazu). Sprich: Genau das, was auf der Deponie unbedingt notwendig ist, gehört gar nicht zum Eigenschaftsspektrum, das in der Anwendungsnorm aufgeführt und im CE-Begleitdokument belegt wird. Die



Produkte müssen also noch sehr aufwendige Prüfungen zum Langzeitverhalten bestehen und erst nach Erteilung der Zulassung auf der Grundlage dieser Prüfergebnisse dürfen sie auf bundesdeutschen Deponien eingesetzt werden.

Daher wird Dr. Werner Müller und seinen Kollegen die Arbeit bestimmt nicht so schnell ausgehen. Sein kritisches Fazit: „Viel zu unterschiedlich sind immer noch, trotz der Europäischen Deponierichtlinie, die Standards und Gepflogenheiten im jeweiligen nationalen Deponiebau, zu stark noch die Interessen von Herstellern, ein gegebenes Produkt auf möglichst geringem Niveau für möglichst alle geotechnischen Anwendungen verwenden zu dürfen.“

Probenhalterung am NCTL-Test mit durch Spannungsrissbildung gerissenen Probekörpern aus Polyethylen-Dichtungsbahnen

Sample holder at the NCTL-apparatus with HDPE geomembrane specimens, which failed by stress crack formation



Kontakt/Contact

Dr. Werner Müller
werner.mueller@bam.de
Telefon/phone: +49 30 8104-1432

Abteilung 4/Department 4
Material und Umwelt
Materials and the Environment

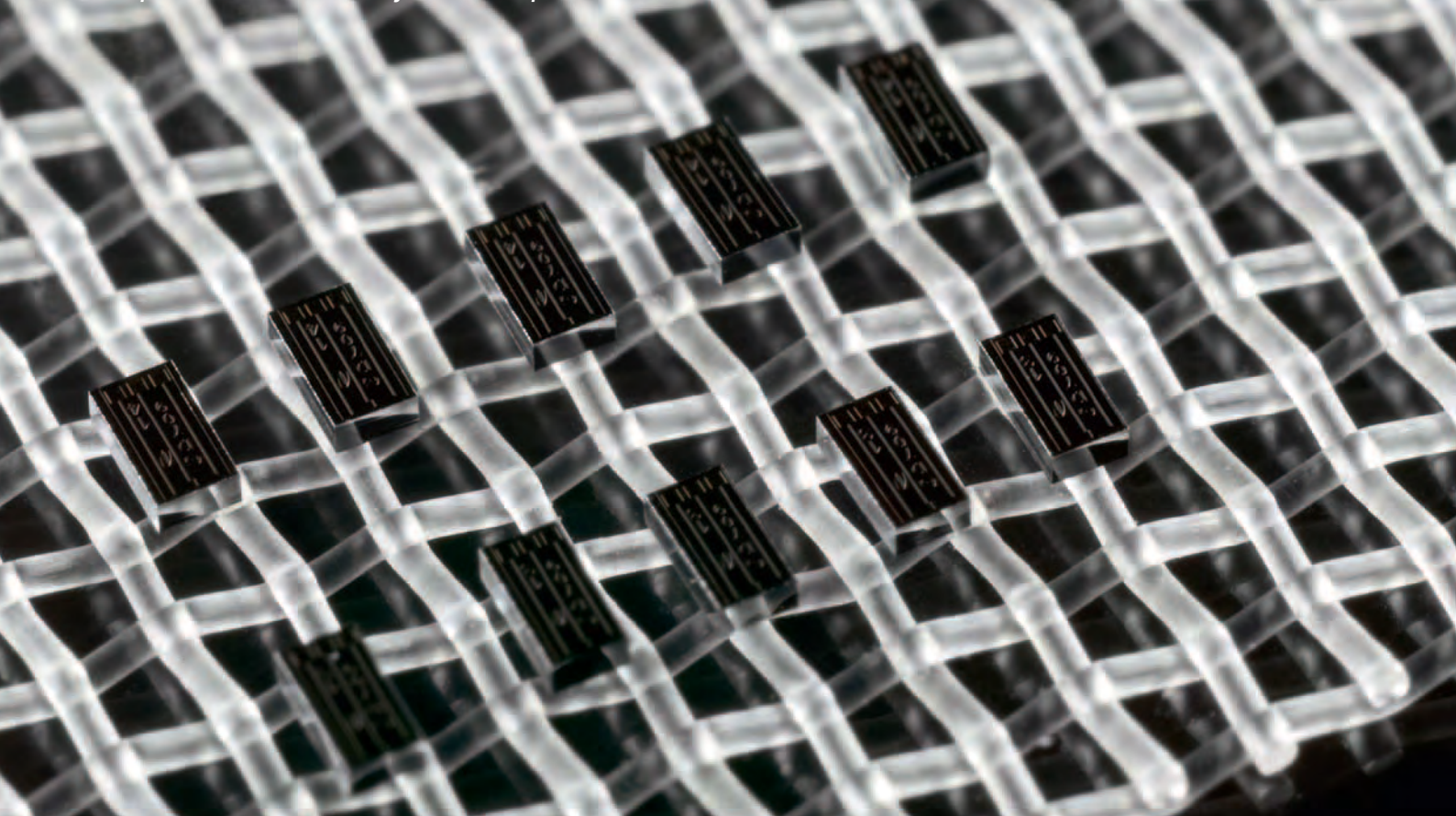
*Safe operation of
technical systems and processes*





Stromversorgung auf Moorea,
Französisch Polynesien

*Power supply on Moorea,
French Polynesia*



Silicon chips (0.5 mm x 1.0 mm) with GMR-sensors designed by BAM's scientists. The GMR layers (10 µm x 0.6 µm) are located at the lower chip edge.

Von den BAM-Forschern entworfene Silizium-Chips mit GMR-Sensoren (0,5 mm x 1,0 mm) auf einem Stoffgewebe. Die eigentlichen GMR-Schichten (10 µm x 0,6 µm) befinden sich an der unteren Chipkante.

BIMAS Imaging methods and components for non-destructive testing using magnetic sensor arrays

GMR Giant Magneto-resistance

A giant effect for tiny defects

The safety of a technical system is based primarily on the appropriate qualities of its components – manufacturing defects can threaten the functioning of an entire structure and cause accidents. Let's take roller bearings for example: they are essential in letting car wheels and axle shafts of railway wagons rotate without excessive wear and high energy consumption due to friction. However, road/track unevenness and curves exert large radial and axial forces on the bearings which result in high stresses so that, at first, tiny cracks in a bearing shell can rapidly enlarge and, in the worst case, cause material failure. It is therefore understandable that intensive research is on-going into the working life of roller bearings as well as into recognising extremely small damage areas. Scientists at the BAM Department 8 (Non-Destructive Testing) are working on new methods to quickly and reliably detect defects in such components. The main emphasis is on the adjective "non-destructive" because it allows manufacturers to keep using the components after they have passed the test. The issue is increasingly not just the accurate detection of rejects, but also learning from defects and understanding their causes in order to improve production.

Since 2009, there has been an on-going joint programme called BIMAS (Imaging methods and components for non-destructive testing using magnetic sensor arrays). A group of scientists are using magnetic sensors in magnetic flux leakage tests, initially focussing on testing bearings. BIMAS is funded by the Federal Ministry of Education and Research under the programme "Microsystems 2004–2009".

For their research, the scientists use the "Giant Magnetoresistance" (GMR). This quantum-physical effect, discovered in 1988, – known primarily for its use in the read heads of computer hard disks – is also being increasingly used as a highly sensitive magnetic field sensor in material testing. To understand its advantages, however, first the principle of flux leakage testing and the very common test method, magnetic particle inspection, must be explained. In principle, flux leakage tests can only be conducted on parts made of ferromagnetic material which applies to most steels. Now, if the component is magnetically excited and a crack is located at the surface, then there is an irregularity in this area, i.e. a "flux leakage", which emerges from the material. The goal is to detect this magnetic flux leakage which enables recognition of surface defects in the component.

Ein Rieseneffekt für winzige Defekte

Die Sicherheit eines technischen Systems beruht vor allem auf der einwandfreien Qualität seiner Bauteile – Herstellungsdefekte können die Funktionstüchtigkeit der gesamten Konstruktion bedrohen und Unfälle verursachen. Zum Beispiel Wälzlager: Nur mit ihrer Hilfe drehen sich etwa die Räder eines Autos oder die Achswellen eines Bahnwaggon verschleißarm und energiesparend. Unebenheiten der Fahrbahn/ des Gleises sowie Kurvenfahrten jedoch wirken mit großen radialen und axialen Kräften auf die Lager ein. Starke Beanspruchungen also, die einen – anfangs – winzigen Riss in einer Lager- schale schnell vergrößern können und schlimmstenfalls bis zum Materialbruch führen. Verständlich, dass an der Haltbarkeit von Wälz- lagern sowie an der Erkennung vor allem kleinster Schädigungen intensiv geforscht wird. Wissenschaftler der BAM-Abteilung 8 (Zerstörungs- freie Prüfung) arbeiten an neuen Verfahren, um Defekte an solchen und ähnlich sicherheitsrelevanten Komponenten einfach, schnell und vor allem zuverlässig feststellen zu können. Der Hauptaspekt liegt auf dem Adjektiv „zerstörungs- frei“, denn dies erlaubt den Herstellern, die Bauteile nach bestandener Prüfung weiter zu verwenden. Dabei geht es immer öfter nicht nur allein um die präzise Erkennung von Ausschuss, sondern auch darum, aus den Fehlern zu lernen und ihren Ursprung zu verstehen, um die Produktion zu verbessern.

Im seit 2009 laufenden Verbundprojekt BIMAS (Bildgebende Verfahren und Komponenten für die zerstörungsfreie Materialprüfung unter Einsatz magnetischer Sensorarrays) untersucht nun eine Gruppe von Wissenschaftlern den Einsatz von Magnetfeldsensoren in der magnetischen Streuflussprüfung, wobei sie sich zunächst auf die Prüfung von Wälzlagern konzentriert haben. BIMAS wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmenprogramm „Mikrosysteme 2004–2009“ gefördert.

Für ihre Forschung machen sich die Wissenschaftler den „Riesenmagnetwiderstandseffekt“ (engl. Giant Magnetoresistance, GMR) zunutze. Dieser 1988 entdeckte quantenphysikalische Effekt – bekannt vor allem durch seinen Einsatz in den Leseköpfen von Computerfestplatten – wird zunehmend auch als hochempfindlicher Magnetfeldsensor in der Materialprüfung angewandt. Um seine Vorteile nachvollziehen zu

können, müssen jedoch zunächst das Prinzip der Streuflussprüfung erläutert und das bis jetzt am meisten verbreitete Prüfverfahren, die Magnetpulverprüfung, betrachtet werden. Prinzipiell kann die Streuflussprüfung nur an Bauteilen aus ferromagnetischem Material, was für die meisten Stähle gilt, durchgeführt werden. Wird nun das Bauteil magnetisch angeregt und befindet sich ein Riss an der Oberfläche, dann entsteht in diesem Bereich eine Unregelmäßigkeit, ein „Streufluss“, der aus dem Material austritt. Das Ziel ist es nun diesen magnetischen Streufluss nachzuweisen, um somit auf Oberflächenfehler im Bauteil schließen zu können.

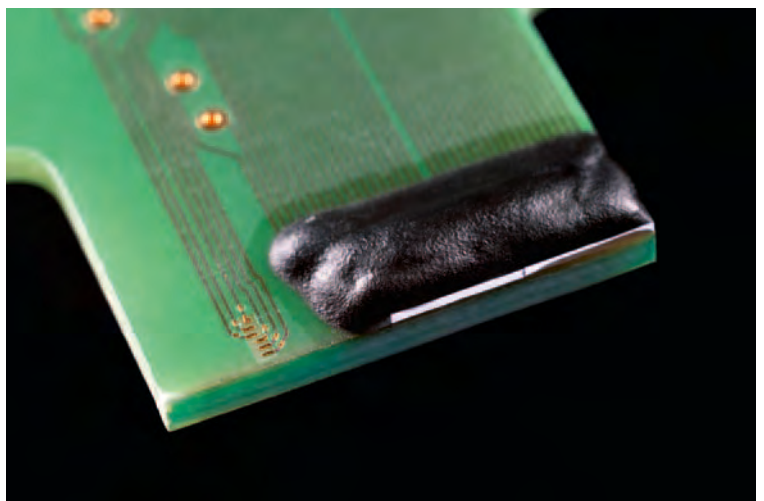
In der Magnetpulverprüfung wird der Streufluss über eine magnetisierbare Pulversuspension nachgewiesen. Das magnetisch angeregte Bauteil wird mit der Suspension benetzt; diese sammelt sich an den Rissen an und führt somit zu einem sichtbaren Nachweis des Defekts. Die Magnetpulverprüfung hat allerdings gewisse Nachteile: Sie liefert zwar eine ungefähre Aussage über die Länge des Defekts an der Bauteiloberfläche, die Breite und Tiefe können aber nicht bestimmt werden. Zudem gestaltet sich eine automatisierte Magnetpulverprüfung in vielen Fällen als schwierig. Die Ziele eines besseren Verfahrens sind damit abgesteckt: Die Kontrollen sollten vollautomatisch und insgesamt schneller vonstattengehen, möglichst in den Produktionsfluss eingebunden sein und dabei eine gleiche oder sogar noch verbesserte Nachweissicherheit garantieren, sowie Informationen über die reale Form des Materialfehlers liefern.

BIMAS Bildgebende Verfahren und Komponenten für die zerstörungsfreie Materialprüfung unter Einsatz magnetischer Sensorarrays

GMR (Giant Magnetoresistance) Riesenmagnetwiderstandseffekt

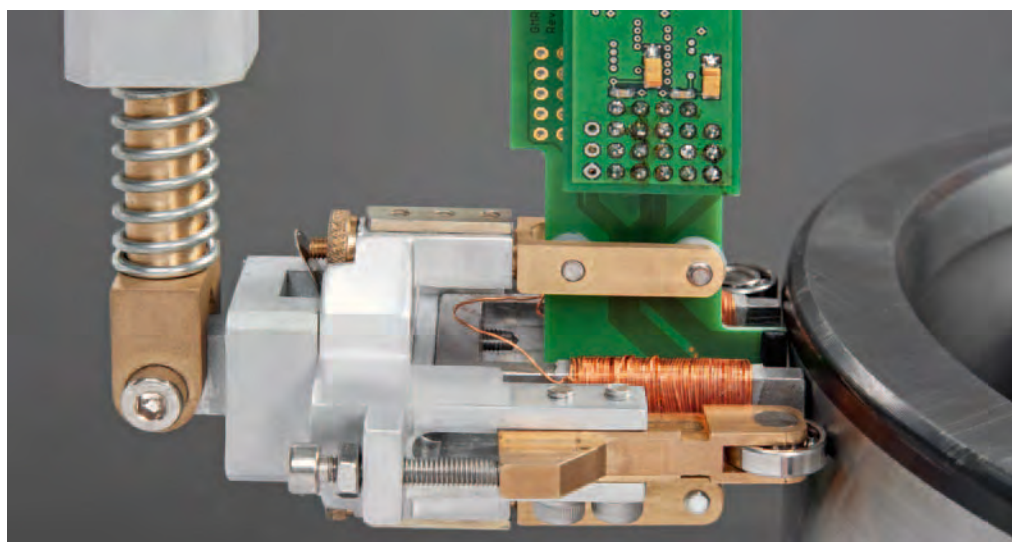
Platine mit zwei direkt an der Messkante aufgeklebten GMR-Sensorarrays

Circuit board with two GMR sensor arrays positioned directly at its edge



Sensor assembly containing the magnetising yoke and measuring board, positioned on a bearing

Messsonde mit Magnetjoch und Messplatine auf einem Wälzlager



In the magnetic particle test, the leakage flux is demonstrated using a magnetisable powder suspension. The magnetically excited component is wetted with the suspension powder which then collects at the cracks and thus clearly shows up the defect. The magnetic particle test, however, has certain disadvantages: it does provide an approximate indication of the length of the defect at the component surface, but width and depth cannot be determined. In addition, magnetic particle tests are difficult to automate in many cases. The objective is to find a better method so that the checks can proceed automatically and at a faster rate and be integrated in the production flow if possible, thereby ensuring equal or even improved detection reliability as well as providing information about the actual shape of the material failure.

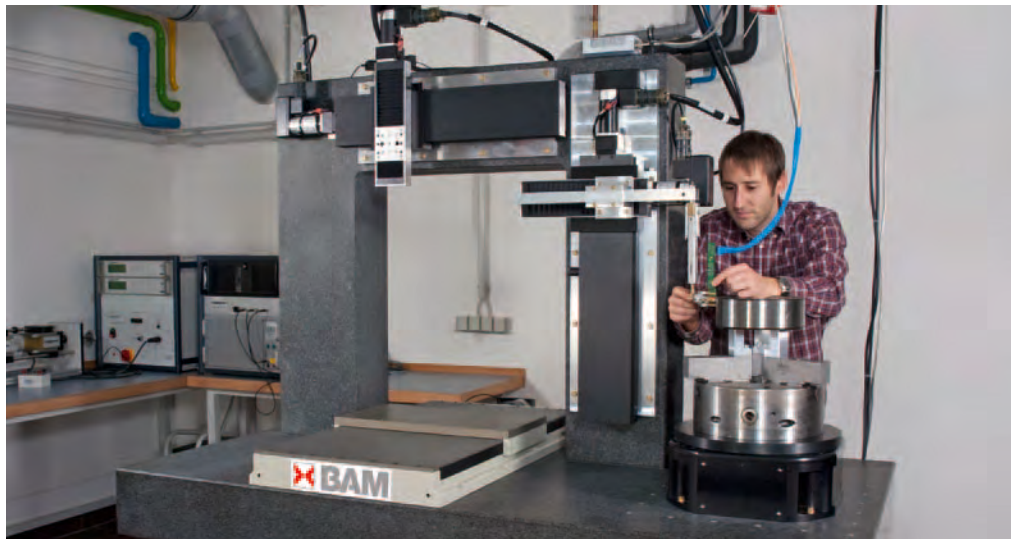
The method adapted by the scientists for this purpose uses the above-mentioned GMR effect. Its inventor was awarded the 2007 Nobel prize in physics. The principle can only be explained in a simplified way: if one combines – in the right way – two ferromagnetic layers with a nonmagnetic intermediate metal layer, a few atomic layers thick, to form a “sandwich”, this package then shows a significant change in electrical resistance as a function of the magnetic field around it. This changes the current flowing through the package, which can then be evaluated as a signal. And it is this signal-change which is exploited to detect magnetic leakage fields emerging at the cracks.

Since the manufacture and design of novel GMR sensors is very costly, commercial applications of alternative sensors (hard disk reading heads, length measurement, current measurement) have been used so far for non-destructive testing. These are, however, not optimally

suited for the measurement of small surface defects due to a bulky sensor housing. BAM's scientists have for the first time designed GMR sensors specifically optimised for flux leakage tests and have had them produced in large numbers arranged on 5-inch silicon wafers (Sensitec GmbH). Here, the sensitive GMR layers are located directly on the chip edge and can be brought very close to the component to be tested enabling the detection of very small material defects. By arranging a series of 48 sensors on a single chip, a sensor length of about 10 millimetres can be achieved. Thus, despite its small size and the resultant high spatial resolution, a relatively large surface area can be scanned within a short time. The sensor assembly is the probe's heart which will carry a large part of the evaluation electronics on board and is surrounded with a magnetising yoke – eventually the specimen has to be magnetically excited for the test.

Using their new development, the researchers succeeded in clearly detecting very fine, artificially introduced reference defects of a few millimetres in length, a width of about 90 microns and a depth of only 40 microns and also, real fatigue cracks in other reference bodies.

In order to be able to calculate minimum-size material defects from magnetic field distributions, the researchers are currently developing a complete evaluation system – up to image processing for automatic detection and localisation of defects. Much effort is still needed until the new method becomes part of everyday life in the factory. But the work pays off in many ways because such developments are not only economically viable, they also increase the safety of the technology – one of BAM's key topics.



GMR-Messstand

GMR testing facility

Das von den Wissenschaftlern für diesen Einsatzzweck angepasste Verfahren nutzt den oben schon erwähnten GMR-Effekt, seine Entdecker wurden dafür 2007 mit dem Physik-Nobelpreis geehrt. Das Prinzip lässt sich hier nur grob vereinfacht darstellen: Kombiniert man – in der richtigen Art und Weise – zwei ferromagnetische Schichten mit einer wenige Atomlagen dünnen und nicht magnetischen metallischen Zwischenschicht zu einem „Sandwich“, dann zeigt dieses Paket eine deutliche Änderung des elektrischen Widerstands in Abhängigkeit des Magnetfelds in seiner Umgebung. Damit ändert sich der durch das Paket fließende Strom, was man als Signal auswerten kann. Und genau diese Signaländerung wird nun ausgenutzt, um die an Rissen austretenden magnetischen Streufelder nachzuweisen.

Da die Herstellung und das Design von neuartigen GMR-Sensoren sehr kostenintensiv ist, sind für die zerstörungsfreie Prüfung bislang stets kommerzielle Sensoren aus alternativen Anwendungsgebieten (Festplattenleseköpfe, Längenmessungen, Strommessung) eingesetzt worden. Diese sind aber für die Messung von kleinen Oberflächenfehlern aufgrund eines voluminösen Sensorgehäuses nicht optimal geeignet. Die BAM-Forscher haben erstmals speziell für die Streuflussprüfung optimierte GMR-Sensoren entworfen und auf einem 5-Zoll-Silizium-Wafer in hoher Anzahl anfertigen lassen (Sensitec GmbH). Hierbei befinden sich die empfindlichen GMR-Schichten direkt an der Chip-Kante und können somit sehr nah an das zu prüfende Bauteil herangeführt werden, wodurch sich auch sehr kleine Materialschäden klar darstellen lassen. Durch eine Aneinanderreihung von 48 Einzelsensoren auf einem Chip wird eine Sensorlänge von knapp 10 Millimeter erreicht. Dadurch kann, trotz der kleinen Baugröße und der damit erreichbaren hohen Ortsauflösung,

eine relativ große Oberfläche in kurzer Zeit abgerastert werden. Die Sensoranordnung ist das Herzstück der Messsonde, die auf ihrer Platine einen großen Teil der Auswertelektronik tragen wird und von einem Magnetisierungsjoch umgeben ist – schließlich muss der Prüfkörper für die Messung magnetisch angeregt werden.

Mit ihrer Neuentwicklung konnten die Forscher in Experimenten an Prüfkörpern bereits sehr feine, künstlich eingebrachte Referenzfehler von einigen Millimetern Länge, einer Breite von etwa 90 Mikrometer und Tiefen von nur 40 Mikrometer eindeutig nachweisen, ebenso wie reale Ermüdungsrisse in weiteren Vergleichskörpern. Um aus Magnetfeldverteilungen auf die Größe selbst minimaler Materialdefekte zurückrechnen zu können, erstellen die Forscher derzeit ein komplettes Auswertungssystem – bis hin zur Bildverarbeitung für eine automatische Detektion und Lokalisierung der Defekte. Viel Aufwand ist auch weiterhin vonnöten, bis das neue Verfahren zum Alltag in der Fabrik gehören wird. Aber die Arbeit lohnt sich in vielerlei Hinsicht. Denn solche Entwicklungen sind nicht allein wirtschaftlich interessant, sie erhöhen auch die Sicherheit in der Technik – ein Schwerpunktthema an der BAM.

Kontakt/Contact

Dr. Andreas Neubauer
andreas.neubauer@bam.de
Telefon/phone: +49 30 8104-3880

Abteilung 8/Department 8
Zerstörungsfreie Prüfung
Non-Destructive Testing



Automotive disc brake
Scheibenbremse eines
Automobils

SUV (sport utility
vehicle)
off-road vehicle

DFG (Deutsche
Forschungs-
gemeinschaft)
German Research
Foundation

Thin films for more comfort and safety when braking

Modern brake systems are almost miraculous: they can slow down a two-ton SUV from 100 kph to zero in as little as four to six seconds, their effect remains constant even on long mountain descents, they maintain a consistent pressure and exhibit low wear. But what processes take place at the nano-level? Is there anything that can be improved, for example, regarding the reduction of fine and ultrafine dust released from the friction processes which are potentially hazardous to health? Questions that can now be clarified with the help of modern analyses: the BAM scientist headed by Dr.-Ing. Werner Österle – together with four external partners – has produced the answers in the project “Nano-crystalline friction films and nano-particle emission from disc brakes”. This was funded by the German Research Foundation (DFG) and has just been completed. The scientists investigated the interaction of conventional brake components; they adapted a mathematical computer model (“Method of mobile cellular automata”, MCA see Page 94) to model these processes. Thus modifications in the composition and structure of the components can be better calculated in terms of their knock-on effect for the system. A follow-up project looking into “Ceramic disc brakes”, likewise funded by the DFG, has just been started.

Brakes are responsible for converting the kinetic energy of the vehicle into thermal energy by means of friction between a brake disk and brake lining. The disks consist of cast iron – usually with an interior ventilation space. Because the disk surface reaches 800 °C which presents a special challenge to the brake linings, the coefficient of friction and thus the braking effect must always remain at the same high level. The manufacturers carefully guard their formulation and composition of the components as secrets, but modern microscopic and analytical methods are capable of revealing their structures. This is important for the investigation of very thin films which are formed from the abrasion of the disk and lining, as it were, a third component (“third body”). The researchers focus their main attention on this film because it influences the friction behaviour of the system significantly. It is what is meant when the garage mechanic warns the car owner after changing a brake pad: “Be careful over the first few miles: the new linings have to be run in!” At the very beginning the brakes hardly work, they produce only a very small effect.

This is because at the beginning only the tough fibres protrude from the lining and they are not capable of producing a large surface contact. However, large surfaces in contact with the

Dünne Filme für mehr Komfort und Sicherheit beim Bremsen

Moderne Bremsanlagen vollbringen fast schon Wunder: sie verzögern selbst ein Zweitonnen-SUV von 100 km/h auf Null in vier bis sechs Sekunden, ihre Wirkung bleibt auch bei längeren Gebirgsabfahrten stabil, sie behalten einen gleichmäßigen Druckpunkt bei und zeigen einen geringen Verschleiß. Aber welche Abläufe auf der Nano-Ebene finden dabei statt? Lässt sich daran noch etwas verbessern, zum Beispiel hinsichtlich der Verringerung von Fein- und Ultrafeinstäuben, die bei den Reibprozessen freigesetzt werden, und die möglicherweise gesundheitsgefährdend sind? Fragen, die nun mit Hilfe moderner Analytik geklärt werden können. Denn die BAM-Forscher unter der Leitung von Dr.-Ing. Werner Österle schufen – gemeinsam mit vier externen Partnern – die Grundlagen dafür. Damit wurde jetzt das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Projekt „Nanokristalline Reibfilme und Nanopartikel-Emission bei Scheibenbremsen“ abgeschlossen. Die Wissenschaftler untersuchten das Zusammenwirken herkömmlicher Bremskomponenten; sie passten ein mathematisches Rechenmodell („Methode der beweglichen zellulären Automaten“, MCA siehe Seite 95) auf die Abbildung dieser Vorgänge an. Somit lassen sich Modifikationen in Zusammensetzung und Aufbau der Bestandteile in ihrer Folgewirkung für das System besser berechnen. Ein Anschlussprojekt mit dem Schwerpunkt „Keramische Scheibenbremse“, ebenfalls von der DFG gefördert, wurde soeben begonnen.

Bremsen haben die Aufgabe, die Bewegungsenergie des Fahrzeugs mittels Reibung zwischen Bremsscheibe und Belag in Wärmeenergie umzuwandeln. Die Scheiben bestehen aus Gusseisen – meist mit einem eingegossenen Zwischenraum für die Innenbelüftung. Denn an der Scheibenoberfläche wird es bis zu 800 °C heiß, was vor allem für die Beläge eine besondere Herausforderung darstellt: Der Reibwert und somit die Bremswirkung müssen ja stets auf demselben hohen Niveau bleiben. Die Hersteller hüten Rezeptur und Komposition der Bestandteile zwar als Geheimnisse, aber moderne mikroskopische und analytische Methoden enthüllen durchaus ihren Aufbau. Dies wird bei der Untersuchung sehr dünner Filme wichtig, die sich aus dem Abrieb von Scheibe und

Belag gleichsam als dritte Komponente („third body“) bilden. Auf ihr liegt das Hauptaugenmerk der Forscher, weil gerade dieser Film das Reibverhalten des Systems entscheidend beeinflusst. Er ist gemeint, wenn der Werkstattmechaniker den Autobesitzer nach einem Belagwechsel warnt: „Vorsicht auf den ersten Kilometern, die neuen Beläge müssen sich erst einfahren!“ Denn ganz zu Anfang „greifen“ die Bremsen kaum, sie zeigen nur eine sehr geringe Wirkung.

Das liegt daran, dass anfangs nur die harten Fasern aus dem Belag herausragen, mit ihnen ist kein großflächiges Tragbild zu erzielen. Große Oberflächen, die im Kontakt zur Brems-scheibe stehen, sind jedoch unbedingt notwendig, sonst bleibt der Reibwert gering. Diese Aufgabe erfüllt die sich mit dem ersten Abrieb herausbildende „quasi flüssige“ Zwischenschicht oder Durchmischungszone. Hier werden viele der abgeriebenen Partikel festgehalten, ja mehr noch: Die Stoffe der Durchmischungszone bewirken gleichsam einen Selbstheilungseffekt. Sobald Straßenschmutz (Sand, kleine Steinchen, zum Beispiel) winzige Kratzer in der Belagoberfläche hinterlassen, regeneriert diese „Paste“ die Verletzungen, ihre Partikel lagern sich in den Vertiefungen ab und verfestigen sich dort. Die große Oberfläche des Belags ist wieder hergestellt.

Harte Fasern, „Paste“? Nun, herkömmliche, seit etwa zwei Jahrzehnten asbestfreie „Bremsklötze“, wie der Laie sagt, bestehen aus einem Materialmix, dessen Bestandteile unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen haben. Da gibt es Bindemittel (Phenolharze), Füllstoffe (Verbindungen/Oxide von Calcium, Magnesium, Aluminium und Silicium), Schmiermittel (Graphit, Koks, Zinnsulfid), sowie die harten Substanzen, die gleichsam als Träger der Festigkeit, als verschleißmindernde Armierung bei der Reibung an der Scheibe den stärksten Widerstand entgegenzusetzen: Mineral- und Kunststofffasern wie Kaliumtitanat ($K_2Ti_6O_{13}$) und Aramide (aromatische Polyamide). Selbst das Korund wird bisweilen eingesetzt, ein kristallines Aluminiumoxid (Al_2O_3), das nach dem Diamant zweithärteste Material. Bleiben noch Kupfer und seine Legierung mit Zink, das Messing. Beide sollen vor allem die Reibungshitze gleichmäßig ableiten.

SUV (sport utility vehicle)
Geländewagen

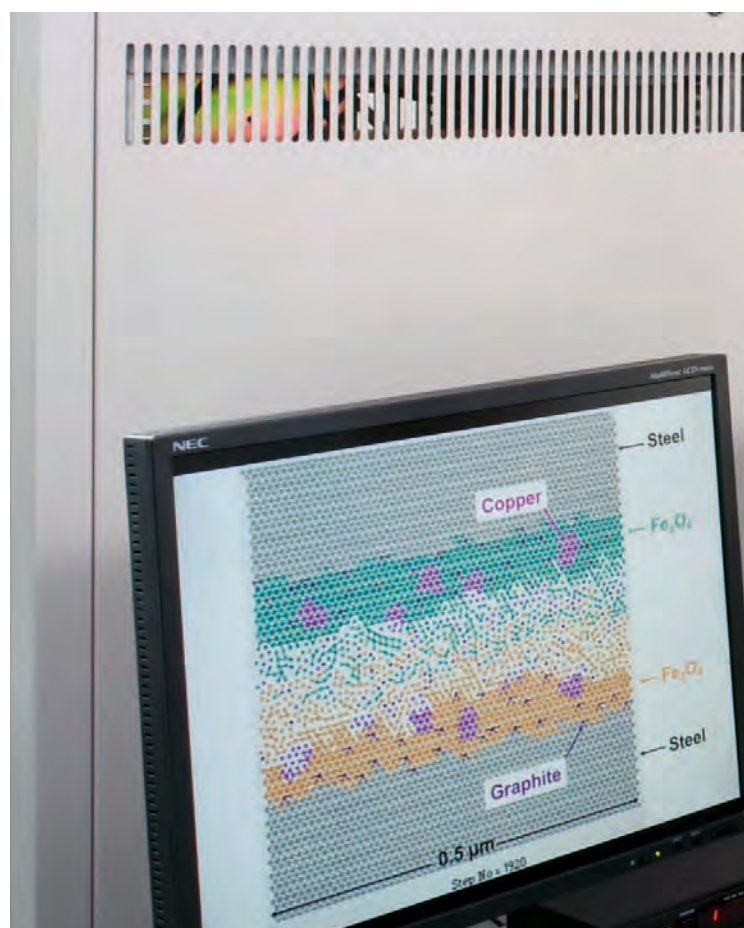
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

brake disk are absolutely necessary otherwise the friction coefficient will be small. This task is fulfilled with the “quasi-liquid” intermediate layer or mixing zone developed from the initial abrasion. Many of the abraded particles are retained, and more, the materials of the mixing zone provide as it were, a self-healing effect. As soon as street dirt (sand, small pieces of stone, for example) leave tiny scratches in the lining surface, this “paste” repairs the damage, their particles are deposited in the groves and solidify. The large surface area of the lining is then regenerated.

Hard fibres, “paste”? Well, conventional asbestos-free (for about two decades) “brake shoes” as the layman says, consist of a mix of materials whose components have to fulfil different functions. There are bonding agents (phenolic resins), fillers (calcium, magnesium, aluminium and silicon compounds/oxides), lubricants (graphite, coke, tin sulfid), as well as hard substances which as quasi strength carriers and wear-reducing reinforcement produce the strongest frictional resistance at the disc: mineral and plastic fibres such as potassium titanate ($K_2Ti_6O_{13}$) and aramides (aromatic polyamides). Even corundum, a crystalline alumina (Al_2O_3), is sometimes used as it is the second hardest material after diamond. Copper and its alloy with zinc, i.e. brass are also employed. Both are supposed to distribute frictional heat evenly. Under the influence of heat, the originally hard, then recrystallising copper becomes a lubricant.

The objective is to achieve a continuous effect of friction, always predictable for the driver – irrespective of the prevailing temperature of the linings. It is reasonable for the copper to shift from “hard” to “soft” depending on the surrounding conditions. In addition, the material mix prevents the lining from “glassing”, i.e. developing a very hard, smooth surface – as a result of overstressing, a dreaded phenomenon in friction linings (and clutches).

In their studies the scientists had to look for the smallest details therefore they used a transmission electron microscope. This can image and analyse ultrathin layers and their fine structure with a resolution of less than a nanometre (10^{-9} m). For the first time the scientists’ prepared ultrathin lamellae from the linings in order to represent the friction layers and their binding to the base layer in cross section. Their “scal-



pel” was a sharply focused ion beam (FIB). As it turned out, the friction layers were always nano-crystalline with an average grain size of 10 nanometres – i.e. extremely finely ground components of the brake linings, blended with identically size ferric oxide particles, which came from the brake disk (from “tribooxidation” of native iron).

And the effects of wear particles on the environment? Aerosol measurements in bench tests have demonstrated nanoparticle emissions into the ambient air. It was also possible to determine the critical load conditions for such emissions. The researchers’ aim was to encourage the manufacturers with their results that they regard particle emission as an important criterion for the assessment of their materials. The demand for easier design and better environmental compatibility suggests that new material combinations for brakes should be devised and adequate development programs initiated. The characterisation methods developed here and the model calculations adapted to the findings can be very helpful, as is emphasised in the project report.



Unter dem Einfluss der Hitze wird das ursprünglich harte, dann rekristallisierende Kupfer zum Schmiermittel.

Denn das Ziel ist es ja, eine gleichbleibende, für den Fahrer stets berechenbare Reibwirkung des Materials zu erreichen – unabhängig von der jeweils herrschenden Temperatur an den Belägen. Es hat also seinen Sinn, wenn etwa das Kupfer je nach den Umgebungsbedingungen von „hart“ auf „weich“ umschalten kann. Außerdem verhindert der Materialmix insgesamt das „Verglasen“ des Belags, also die Herausbildung einer sehr harten, glatten Oberfläche – ein bei Reibbelägen (auch Kupplungen) gefürchtetes Ergebnis von Überbeanspruchungen.

Für ihre Untersuchungen mussten die Wissenschaftler sehr genau hinsehen, und zwar mit dem Transmissionselektronenmikroskop. Das kann hauchdünne Schichten und deren Feinstruktur mit einer Auflösung von weniger als einem Nanometer (10^{-9} m) abbilden und analysieren. Erstmals überhaupt präparierten die Forscher aus den benutzten Belägen hauchdünne Lamellen, um die Reibschichten und ihre Anbindung an den Untergrund im Querschnitt darzustellen. Als „Skalpelli“ dafür diente ihnen ein scharf gebündelter Ionenstrahl (Focused Ion

Beam-Technik, FIB). Wie sich herausstellte, waren die Reibschichten immer nanokristallin mit einer mittleren Korngröße von 10 Nanometern – extrem fein gemahlene Bestandteile der Bremsbeläge also, vermengt mit ebenso kleinen Eisenoxidpartikeln, die von der Brems Scheibe stammen (aus „Tribooxidation“ des gediegenen Eisens).

Und die Auswirkungen des Abriebs auf die Umwelt? Aerosolmessungen bei Prüfstandversuchen haben Nanopartikelemissionen in die Umgebungsluft nachgewiesen. Zudem gelang es, die kritischen Beanspruchungsbedingungen für solche Emissionen zu ermitteln. Denn die Forscher wollen mit ihren Ergebnissen die Hersteller dazu anregen, die Partikelemission als ein wichtiges Kriterium für die Bewertung ihrer Werkstoffe zu betrachten. Forderungen nach leichteren Bauweisen und besserer Umweltverträglichkeit führen bereits dazu, über neue Materialkombinationen für Bremsen nachzudenken und entsprechende Entwicklungsprogramme aufzulegen. Die hier entwickelten Charakterisierungsmethoden und die an die Befunde angepassten Modellrechnungen können dabei sehr hilfreich sein, wird in der Projektstudie betont.

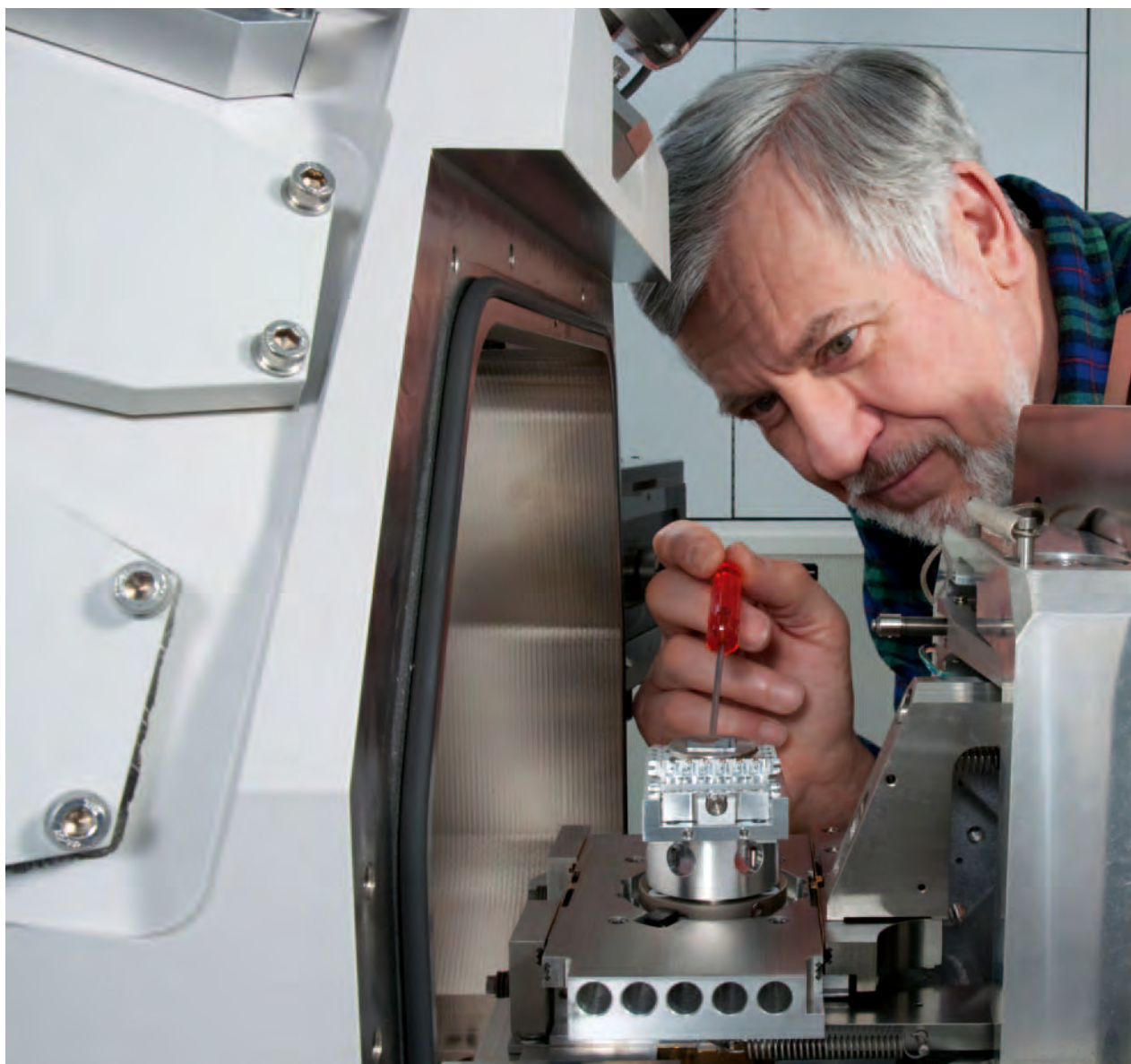
Untersuchung von Oberflächenfilmen mit Ionen- und Elektronenstrahlen in Kombination mit einer Computersimulation des Gleitverhaltens

Investigation of surface films with ion and electron beams in combination with a computer simulation of the sliding behaviour

Why is only about a 0.0001-mm thick film so important?

In order to get to the bottom of this issue, together with a colleague from Russia, Professor Andrei I. Dmitriev from Tomsk, the researchers developed a method which enables the simulation of material flow and friction forces in model contacts. The method describes the conditions at the interface between a fixed brake shoe and a rotating brake disk as an array of individual elements ("automata"), which interact with each other. Since the interface films are so thin, the processes run at the nano-scale level, compara-

ble to the effect of oil films in lubricated contacts. The computer simulation uses the individual parameters of the nanoparticles (for example deformability, mobility, chemical reactivity) in order to image the behaviour of the overall system. After an appropriate adjustment of the model to real experiments, changes in the composition can also be analysed purely by computer. This helps for instance in pre-selection when several possibilities of the material mix or layer structure are considered.



Warum ist ein nur etwa 0,0001 mm dicker Film so wichtig?

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen haben die Forscher zusammen mit einem Kollegen aus Russland, Professor Andrei I. Dmitriev aus Tomsk, eine Methode entwickelt, welche es erlaubt, Materialflüsse und Reibungskräfte an Modellkontakten zu simulieren. Die Methode beschreibt die Verhältnisse an der Grenzfläche zwischen fixiertem Bremsblock und rotierender Brems Scheibe als Gesamtheit einzelner Elemente („Automaten“), die miteinander in Wechselwirkung stehen. Da die Grenzflächenfilme so dünn sind, laufen die Prozesse auf der Nanoebene ab, durchaus vergleichbar mit der Wirkung von

Ölfilmen bei geschmierten Kontakten. Die Computersimulation nutzt die individuellen Parameter der Nanopartikel (zum Beispiel Verformbarkeit, Beweglichkeit, chemische Reaktionsfähigkeit), um daraus das Verhalten des Gesamtsystems abzubilden. Nach entsprechendem Abgleich des Modells an realen Experimenten können Änderungen an der Zusammensetzung auch rein rechnerisch betrachtet werden. Das hilft etwa bei der Vorauswahl, wenn mehrere Möglichkeiten des Materialmixes oder Schichtaufbaus zur Diskussion stehen.



Einbau einer Probe in die Zweistrahlanlage

Fixing a specimen on the stage of the dual beam instrument



Kontakt/Contact

Dr. Werner Österle

werner.oesterle@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-1511

Abteilung 5/Department 5

Werkstofftechnik

Materials Engineering



	Member states of the European Union Mitgliedsländer der Europäischen Union
	Bosnia and Herzegovina Bosnien und Herzegowina
	Azerbaijan Aserbaidschan

BAM supports the economic development and safety of products in countries such as Bosnia and Herzegovina (blue) and Azerbaijan (red) within EU projects.

Die BAM unterstützt durch EU-Projekte die wirtschaftliche Entwicklung und die Sicherheit von Produkten in Ländern wie Bosnien und Herzegowina (blau) und Aserbaidschan (rot).

EA European co-operation for Accreditation

DAKkS
(Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH) the national accreditation body of the Federal Republic of Germany

Help you can rely on

No country in the world can be self-sufficient, all are dependent to some extent on global goods exchange – both producers and consumers. In order to be able to participate in this exchange, certain rules must be observed which ensure mutual trust. “Old” countries have been practicing this for decades, but what about nations that have only recently been founded? They can accept help from institutions which have been created in the EU and which in turn are supported by relevant national institutions of the “old” member countries. For example take Bosnia and Herzegovina and Azerbaijan which through various activities have obtained “kick-start” assistance, part contributed BAM, for participating in the international markets. The ultimate goal is to create credibility through accreditation that the standardised rules are followed.

In Europe, people started harmonising the national standards of the accreditation system in the 1990s. Now it has become a multi-level system, with the European co-operation for Accreditation (EA) at its peak, which specifies the framework for the European accreditation system. The EA regulates and harmonises the work of the national accreditation bodies, of which there may be only one per country, because this is an overarching, sovereign func-

tion. The German Accreditation Body (Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH – DAKkS) is the national accreditation body of the Federal Republic of Germany. All these national institutions must go through a “peer evaluation”; a mutual appraisal among equal partners. The national accreditation bodies in turn confirm and supervise the competence of the testing, inspection and certification institutions (conformity assessment bodies) in their respective country. One of the responsibility of the conformity assessment bodies is the investigation of goods and services to see whether they correspond to common safety requirements. In positive cases, these bodies issue certificates which are recognised in countries both within and outside the EU. Such a procedure is obligatory for certain goods or services – but in cases where the participation in an assessment is voluntary, benefits accrue because such a document represents a proof of quality, i.e. a confidence lead.

“Kick-start” help in Bosnia and Herzegovina

Bosnia and Herzegovina’s interest to join this system of mutual confidence is understandably high. Not the least because the EU is the most important trade partner in this country of nearly

Hilfe, die Vertrauen schafft

Kein Land dieser Welt kann sich mehr eigenständig versorgen, alle sind auf den globalen Warenaustausch angewiesen – als Produzenten ebenso wie als Konsumenten. Um an diesem Tausch teilnehmen zu können, müssen freilich gewisse Spielregeln eingehalten werden, die das gegenseitige Vertrauen sichern. „Alte“ Länder üben dies bereits seit Jahrzehnten, aber was machen Nationen, die sich erst in der jüngsten Vergangenheit gegründet haben? Sie können sich helfen lassen, von Institutionen, die in der EU gebildet worden sind und die wiederum von den jeweils nationalen Einrichtungen der „alten“ Mitgliedsländer getragen werden. Als Beispiel dafür mögen Bosnien und Herzegowina und Aserbaidschan dienen, denen durch vielfältige Aktivitäten, auch von Seiten der BAM, Anschubhilfe für die Teilnahme an den internationalen Märkten zuteil wird. Es geht letztlich darum, durch Akkreditierung glaubhaft zu machen, dass die standardisierten Regelwerke eingehalten werden.

In Europa begann man schon in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts damit, die nationalen Standards des Akkreditierungswesens zu vereinheitlichen. Nun ist daraus ein mehrstufiges System geworden, an dessen oberster Stelle die European co-operation for Accreditation (EA) steht, sie gibt das Rahmenwerk für das europäische Akkreditierungssystem vor. Dieses regelt und harmonisiert die Arbeit der nationalen Akkreditierungsstellen, von denen es jeweils nur eine pro Land geben darf, denn hierbei handelt es sich um eine übergeordnete, hoheitliche Aufgabe. Die nationale Akkreditierungsstelle der Bundesrepublik Deutschland ist die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS). All diese nationalen Einrichtungen müssen sich einer „peer evaluation“ stellen, der gegenseitigen Begutachtung unter gleichrangigen Partnern.

Die nationalen Akkreditierungsstellen wiederum bestätigen und überwachen in ihrem jeweiligen Land die Kompetenz der Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungseinrichtungen (Konformitätsbewertungsstellen). Aufgabe der Konformitätsbewertungsstellen ist es unter anderem, Waren und Dienstleistungen daraufhin zu untersuchen, ob sie den gemeinsamen Sicherheitsanforderungen entsprechen. Im positiven Fall erteilen diese Stellen eine Bescheinigung, welche in den Ländern der EU und auch außerhalb aner-

kannt wird. Bei bestimmten Waren oder Dienstleistungen ist ein solches Verfahren Pflicht – aber auch dort, wo die Teilnahme an einer Begutachtung freiwillig ist, locken Vorteile, denn ein solches Dokument stellt einen Qualitätsbeleg, einen Vertrauensvorsprung dar.

Starthilfe in Bosnien und Herzegowina

Bosnien und Herzegowinas Interesse, sich diesem System des gegenseitigen Vertrauens anzuschließen, ist verständlicherweise groß. Denn die EU ist der wichtigste Handelspartner dieses von fast fünf Millionen Menschen bewohnten Landes, das mit der Union rund drei Viertel seines gesamten Außenhandels bestreitet. Überdies kommt etwa die Hälfte aller ausländischen Direktinvestitionen in Bosnien und Herzegowina aus der EU. Und – last but not least – das Land gilt als aussichtsreicher Kandidat für eine baldige EU-Mitgliedschaft.

Aus all diesen Gründen hat es bereits im Jahr 2002 seine nationale Akkreditierungsstelle, die BATA, gegründet, 2005 traf sie eine Kooperationsvereinbarung mit der EA. Es folgten bilaterale Abkommen mit Serbien, Mazedonien, Ungarn, Kroatien, Montenegro, der Türkei und Norwegen. Ein weiterer Meilenstein auf dem Weg Bosnien und Herzegowinas nach Europa besteht in der Anerkennung des landeseigenen Akkreditierungssystems; sprich: in der Unterzeichnung des gegenseitigen Anerkennungsabkommens der EA. Damit ist nachgewiesen, dass Bosnien und Herzegowinas Prüf- und Zertifizierungsinstitute die internationalen Standards einhalten. Um die Arbeit systematisch anzugehen, hatte die EU bereits 2007 ein eigenes Förderprojekt zum Ausbau des Akkreditierungswesens in Bosnien und Herzegowina aufgestellt. Implementiert wurde es von einem Konsortium, dem neben den Akkreditierungsstellen aus Dänemark und Litauen die DAkkS und – federführend – die BAM angehörten. Denn an der Berliner Behörde ist ein Referat für Technische Zusammenarbeit (International Conformity Assessment Technology Transfer, iCATT, Referat S.3) eingerichtet, das sich den internationalen Wissens-Transfer rund um die Themen Konformitätsbewertung, Akkreditierung und Marktüberwachung zum Ziel gesetzt hat. Dank dieser Starthilfe konnte die BATA mittlerweile eine Vorüberprüfung durch die EA

EA European co-operation for Accreditation

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

CE (Communautés Européennes) Europäische Gemeinschaft (siehe Seite 99)

WTO (World Trade Organization) Welthandelsorganisation (siehe Seite 99)

five million inhabitants: it does about three quarters of its entire foreign trade with the Union. Also, about half of all foreign direct investments come into Bosnia and Herzegovina from the EU. And – last but not least – the country is being considered as a prospective candidate for an imminent EU membership.

For all these reasons Bosnia and Herzegovina founded BATA, its national accreditation body, in 2002 and signed a co-operation agreement with the EA in 2005. Bilateral agreements with Serbia, Macedonia, Hungary, Croatia, Montenegro, Turkey and Norway followed. Another milestone on Bosnia and Herzegovina's path to Europe is the recognition of the country's accreditation system, that is to say: signing a mutual recognition agreement with EA. This would prove that Bosnia and Herzegovina's testing and certification institutes observe international standards. In order to address the task systematically, the EU set up their own development project to strengthen accreditation in Bosnia and Herzegovina in 2007. It was implemented by a consortium of accreditation bodies comprising Denmark and Lithuania, the German accreditation body DAkkS, and BAM, as the lead. BAM has a section for technical co-operation (International Conformity Assessment, Technology Transfer, iCATT, Section S.3), which pursues international technology transfer on the topics of conformity assessment, accreditation and market monitoring. Thanks to this "kick-start" help, BATA could meanwhile successfully complete a pre-appraisal by the EA. Thus the most important prerequisites for an international recognition have so far been met so the formal recognition procedure can begin.

Twinning in Azerbaijan

Twinning, another EU funded instrument, has similar functions. It aims to promote partnerships between authorities from EU Member States and public administrations in candidate and potential candidate countries as well as countries from the European neighbourhood. Co-operation will help to develop public structures in these countries which are in line with European administrative processes.

One of the first Twinning projects in Azerbaijan started in the autumn of 2008, to strengthen the national standardisation body SCSMP. The EU Member States were represented by a German-Austrian consortium, likewise headed by BAM's iCATT experts. The consortium also included the Austrian Standards Institute (ON), the German Institute for Standardisation (DIN) and the National Metrology Institute (PTB). The project contents ranged from standardisation, market surveillance, implementation of EU directives, conformity assessment, metrology and accreditation to CE labelling. Again, this project was to strengthen the national quality infrastructure and to harmonise the basic legal framework with European and WTO principles. Projects like this are supposed to further promote trade relations between the EU and Azerbaijan because the country in the Caucasus not only possesses rich oil and gas reserves, but also acts as a bridge between Europe and Asia and has an important role in the diversification of the European energy market.

CE (Communautés Européennes)
European Community

WTO World Trade Organization

A high-ranking audience is being sensitised at conferences and media campaigns for the role of quality infrastructure in a functioning industry.

Ein hochrangiges Publikum wird durch Konferenzen und Medienkampagnen für die Rolle der Qualitätsinfrastruktur in einer funktionierenden Ökonomie sensibilisiert.





erfolgreich absolvieren. Die wichtigsten Voraussetzungen für eine internationale Anerkennung sind soweit erfüllt, nun kann ein förmliches Anerkennungsverfahren begonnen werden.

Twinning für Aserbaidschan

Ähnliche Aufgaben hat ein weiteres von der EU finanziertes Instrument: Twinning. Es dient der Förderung von Partnerschaften zwischen Behörden aus EU-Mitgliedstaaten und öffentlichen Verwaltungen in Beitrittskandidaten- und potenziellen Beitrittskandidatenstaaten sowie Ländern der europäischen Nachbarschaft. Die Kooperationen sollen helfen, in diesen Staaten öffentliche Strukturen aufzubauen, die im Einklang mit der europäischen Verwaltungspraxis stehen.

Eines der ersten Twinning-Projekte in Aserbaidschan startete im Herbst 2008, zur Stärkung der nationalen Standardisierungsbehörde SCSMP. Die EU-Mitgliedstaaten wurden dabei durch ein deutsch-österreichisches Konsortium vertreten, ebenfalls unter der Leitung der iCATT-Experten der BAM. An dem Konsortium arbeiteten auch das Österreichische Normungsinstitut (ON), das Deutsche Institut für Normung (DIN) sowie die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) mit. Die Bandbreite der Pro-

jekthaltreiche von Standardisierung, Marktüberwachung, Umsetzung von EU-Richtlinien, Konformitätsbewertung, Metrologie und Akkreditierung bis hin zur CE-Kennzeichnung. Auch hierbei ging es darum, die nationale Qualitätsinfrastruktur zu stärken und sie sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen mit den Europäischen und WTO-Prinzipien zu harmonisieren.

Durch Projekte wie dieses sollen die Handelsbeziehungen zwischen der EU und Aserbaidschan weiter gefördert werden, denn das Land am Kaukasus besitzt nicht nur reiche Vorkommen an Erdöl und Gas, sondern spielt als Brücke zwischen Europa und Asien auch eine wesentliche Rolle bei der Diversifizierung des europäischen Energiemarktes.

Die Bedeutung von Qualitätsinfrastruktur und Akkreditierung ist das Thema einer im Parlamentsgebäude von Bosnien und Herzegowina veranstalteten Konferenz.

The importance of quality infrastructure and accreditation is the subject of a conference organised in the Parliament Building in Bosnia and Herzegovina.

Kontakt/Contact

Dr. Tilman Denkler

tilman.denkler@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-3998

Abteilung S/Department S

Akkreditierung, Qualität im Prüfwesen

Accreditation, Quality in Testing





Selfnavigating robot system BetoScan used for large area condition assessment of parking garages

Selbstnavigierendes Robotersystem BetoScan bei der großflächigen Zustandsanalyse im Parkhaus

„BetoScan“: precise and inexpensive testing of multi-storey car parks

Modern road construction would be inconceivable without reinforced concrete: roads, bridges, underpasses and tunnels as well as their retaining structures can only be built in a fast, durable and comparatively inexpensive way when this material is used. Complete multi-storey and underground car parks are largely built from reinforced concrete. Like any building material that is exposed to high stress while being heavily used, engineering structures built from concrete must or should be checked for damage as a matter of routine. Since these kinds of tests are currently labour intensive and time-consuming, solutions are being sought which can automate such test procedures so make them save as much time as possible, be non-destructive and have the same or even better reliability than previously.

This is precisely the idea behind the „BetoScan“ project in which experts from three research institutes, seven small and medium enterprises and engineering companies and one industrial firm have been working on intensively for more than three years. The emphasis is on checking parking garages and underground car parks because a large backlog has been identified. Many buildings of this kind have been there for 30 to 40 years, built at a time when people gave little attention to emissions and it was not possible to measure their effects. Now, harmful consequences cannot be

underestimated: exhaust gases can reach much higher concentrations in underground car parks than for example on bridges, and where cars have time to ‘discharge’ de-icing salts ‘transported’ in winter without the deck being flushed by rain, in contrast to roads in the open air.

The project was coordinated by the BAM Department 8 (Non-Destructive Testing) and supported by the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) within the framework of “Support for Innovative Networks” (InnoNet). The work of the development team was so successful that it won the user prize of the German Society for Non-Destructive Testing (DGZfP NGO) in the reported year 2011.

Reinforced concrete in principle unites two different components in an almost mechanically perfect way: mineral concrete carries compressive loads well while the internal reinforcement bars absorb tensile stresses. If larger distances have to be bridged, pre-stressed steel tendons can be arranged between the abutments at each end of the structure which can likewise accept tensile loads. Mechanical problems are well under control – it is the effects of chemicals that cause the greatest concern, especially in old buildings.

„BetoScan“: Parkhäuser präzise und preiswert prüfen

Der moderne Verkehrswegebau wäre ohne Stahlbeton nicht denkbar, nur mit diesem Werkstoff lassen sich Straßen, Brücken, Unterführungen und Tunnel sowie ihre Stützwerke ebenso schnell wie dauerhaft und vergleichsweise preiswert errichten, ja ganze Parkhäuser und Tiefgaragen bestehen meist daraus. Wie jedes Baumaterial, das bei starker Nutzung hohen Beanspruchungen ausgesetzt ist, müssen bzw. sollten auch Ingenieurbauwerke aus Beton routinemäßig und vorbeugend auf Schäden kontrolliert werden. Da das derzeit nur personalintensiv und zeitaufwändig vonstatten gehen kann, sind Lösungen gesucht, die solche Untersuchungsvorgänge möglichst zeitsparend automatisieren – zerstörungsfrei und mit gleicher oder sogar erheblich verbesserter Nachweissicherheit als bislang.

Genau dies ist der Grundgedanke des Projekts „BetoScan“, an dem Fachleute aus drei Forschungseinrichtungen, sieben Klein- und Mittelständischen Unternehmen bzw. Ingenieurgesellschaften und einem Industriepartner seit gut drei Jahren intensiv arbeiten. Das Augenmerk liegt dabei auf der Überprüfung von Parkhäusern und Tiefgaragen, denn hier hat sich ein erhöhter Nachholbedarf herausgestellt. So stehen viele solcher Bauwerke bereits seit 30 bis 40 Jahren, gebaut zu einer Zeit, da man den Immissionen kaum Beachtung schenkte, ihre Auswirkungen noch gar nicht richtig ermessen konnte. Dabei sind schädliche Folgen gerade hier nicht zu unterschätzen, wo sich Abgase weit stärker konzentrieren können (Tiefgarage) als etwa auf einer Brücke; wo die Autos im Winter Zeit haben, die mitgebrachten Tausalzfrachten abtropfen zu lassen, ohne dass der Boden durch Regen abgespült wird, wie auf einer Straße unter freiem Himmel.

Koordiniert wurde das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen der „Förderung von innovativen Netzwerken“ (InnoNet) unterstützte Vorhaben von der BAM-Abteilung 8 (Zerstörungsfreie Prüfung). Die Arbeit des Entwicklungsteams war so erfolgreich, dass es im Jahr 2011 den Anwenderpreis der Deutschen Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP e.V.) gewann.

Stahlbeton vereint im Prinzip zwei unterschiedliche Komponenten auf mechanisch nahezu ideale Weise: Der mineralische Beton nimmt

Druckbelastungen gut auf, eingelegte Bewehrung die Zugspannungen. Gilt es größere Distanzen zu überbrücken, lassen sich Spannstähle zwischen die Widerlager an den Enden der Konstruktion einarbeiten, die ebenfalls Zuglasten ableiten. Mechanische Probleme sind daher gut im Griff – es sind chemische Einwirkungen, die gerade bei älteren Bauwerken die größten Sorgen bereiten.

Vom Grundsatz her ist der Materialmix chemisch gut kombiniert: Die mineralischen Bestandteile des Betons bilden eine alkalische Umgebung für das innen liegende Eisen, sie schützen es vor elektrochemischen Angriffen aus seiner Umgebung. Dieses alkalische Milieu bewirkt, dass sich auf der Oberfläche des Metalls eine Passivierungsschicht herausbildet, die eine Korrosion verhindert.

Die Gefahren: Chemisch sauer reagierende Verbindungen wie Tausalzlösungen oder Kohlensäure (sprich: Kohlendioxid plus Wasser, die Ursache für die so genannte Karbonatisierung). Dringen sie in die ungeschützte Oberfläche des Betons ein, senken sie den pH-Wert, die Passivierungsschicht des Metalls wird zerstört, es rostet. Bei der karbonatisierungsbedingten Korrosion vergrößert sich das Metallvolumen um ein Vielfaches, Risse entstehen, schlimmstenfalls werden Teile der darüberliegenden Betonschicht abgesprengt, größere Oberflächen der Bewehrung sind zunehmenden Schadeinflüssen ausgesetzt. Die durch Chloride hervorgerufene Korrosion (Lochfraßkorrosion) ist besonders tückisch, da die daraus resultierende Materialschwächung unter Umständen von außen gar nicht zu sehen ist.

Ein Teufelskreis, der letztlich die Stabilität des Bauwerks bedroht und mit seiner völligen Zerstörung enden kann. Von einem bestimmten Punkt an sind keine Reparaturen mehr möglich, da helfen nur noch der komplette Abriss und ein Neubau. Eine Konsequenz, die man angesichts der ohnehin schon herrschenden Überlastung vieler Verkehrswege gern vermeiden, von den entstehenden Kosten ganz abgesehen. Und was es bedeutet, ein Parkhaus in der Innenstadt (oder gar eine dortige Tiefgarage!) abzureißen und neu zu bauen, ist ebenso leicht nachvollziehbar.

In principle, the combination of materials is chemically near perfect: the mineral components of the concrete produce an alkaline environment for the iron inside, protecting it against electro-chemical attack from its environment. This alkaline environment ensures that a passivation film develops on the metal surface which prevents corrosion.

The hazards are chemical de-icing salts or reactive acidic compounds such as solutions of carbonic acid (that is to say: carbon dioxide plus water, the cause of the so-called carbonation). If they penetrate into the unprotected surface of the concrete, they reduce the pH value, the passivation film on the metal is destroyed and it starts to rust. In carbonation induced corrosion, the metal volume increases many times over, cracks develop, and at worst, parts of the surrounding concrete are blown off so exposing larger surfaces of the reinforcement to increasingly harmful influences. Corrosion caused by chlorides (pitting corrosion) is particularly insidious since the resulting weakening of the material is not visible from the outside at all.

A vicious circle develops which may threaten the stability of the structure over time and can lead to its complete destruction. From a certain point in time, repairs are no longer viable and only complete demolition and re-building is possible. A consequence which should be avoided given the congestion existing on many roads, not to mention the costs. And it is easy to imagine what it means to tear down and re-build a multi-storey (or an underground car park!) in the city centre.

This is why incipient damage must be identified and repaired before it can propagate any further. This includes a preventive, full-scale investigation of the structures. Completely different test methods using hand measurement instruments have been available for some time, only their use in single steps requires high expenditure in personnel and time which one may not be able to afford in view of the necessary closure of the surrounding roads.

And this is where "BetoScan" comes into play: a comparatively small, and manoeuvrable mobile platform for a number of test techniques which can to a large extent, automatically scan several hundred square metres of concrete surface per day, evaluate the huge number of



results using only one parent program and map it for a quick and precise targeting of the defects. Depending on technology, independently collected information is saved in a database where it can be supplemented with additional material.

„BetoScan“ has thus developed an open system which can be extended by further measurement methods depending on the circumstances – with the state of the art in sensor miniaturisation and evaluation electronics already reached, theoretically there is no limit. Methods can also be combined, some of which are continuous and non-contact, for example electromagnetic: eddy current measurement for determining near-surface reinforcement, radar for deeper-seated reinforcement and microwave sensors for determining the moisture content. Other techniques proceed gradually point by point because they have to touch the material: electrochemical potential measurement for instance is used to determine the position of corrosion-active areas.

Since the system determines the status of the building rapidly and inexpensively using all these parameters, it can also be used for quality assurance. So when the initial condition of a new building is recorded and then repeated at regular intervals, a continuous overview of changes during the structure's lifetime can be obtained.



Schnelle automatisierte Zustandsanalyse mit BetoScan

Fast automated condition assessment with BetoScan

Also müssen bereits beginnende Schädigungen erkannt und repariert werden, bevor sie sich weiter ausbreiten können. Dazu gehört, dass man die Konstruktionen vorbeugend und vollumfänglich untersucht. Ganz unterschiedliche Prüfverfahren mit Handmessgeräten gibt es bereits seit längerem, nur erfordert ihr Einsatz in Einzelschritten einen hohen Aufwand an Personal und Zeit, was man sich angesichts der notwendigen Stilllegung der Verkehrsflächen eigentlich gar nicht leisten darf.

An dieser Stelle kommt „BetoScan“ ins Spiel: Ein vergleichsweise kleiner, mobiler, wendiger Träger für mehrere Untersuchungstechniken, der mehrere Hundert Quadratmeter Betonfläche pro Tag weitgehend selbsttätig abfahren kann, der die Vielzahl der Messergebnisse mit nur einem übergeordneten Programm auswertet und sie für das schnelle und zielgenaue Auffinden der Schadstellen kartografiert. Die je nach Technik unabhängig voneinander erfassten Informationen werden in einer Datenbank hinterlegt, von wo aus sie mit zusätzlichem Material ergänzt werden können.

„BetoScan“ bildet somit ein offenes System, das sich je nach den Gegebenheiten um weitere Messtechniken erweitern lässt – beim derzeit schon erreichten Stand der Miniaturisierung von Sensoren und der Auswerteelektronik gibt es theoretisch keine Grenzen. Überdies können Verfahren miteinander kombiniert werden, von denen die einen kontinuierlich und berührungs-

frei arbeiten, zum Beispiel elektromagnetisch: die Wirbelstrommessung zur Ermittlung von oberflächennahen Bewehrung, das Radar für tieferliegende Ebenen der Bewehrung, Mikrowellensensoren zur Bestimmung der Bauteilfeuchte. Andere Techniken gehen schrittweise punktuell vor, weil sie das Material berühren müssen, elektrochemisch arbeitet etwa die Potentialmessung, die zur Ortung von korrosionsaktiven Bereichen dient.

Da das System aus all diesen Parametern schnell und preiswert den Zustand des Gebäudes ermittelt, kann es auch zur Qualitätssicherung eingesetzt werden. Denn wer damit bereits den Anfangszustand eines Neubaus dokumentiert und dies dann in regelmäßigen Abständen wiederholt, erhält einen kontinuierlichen Überblick über Veränderungen während der Lebenszeit des Bauwerks.

Kontakt/Contact

Dr. Markus Stoppel

markus.stoppel@bam.de

Telefon/phone: +49 30 8104-4273

Abteilung 8/Department 8

Zerstörungsfreie Prüfung

Non-Destructive Testing



Engineers abseiling down to the wind turbine M5000 of AREVA Wind in Germany's first offshore wind farm alpha ventus

Techniker beim Abseilen auf die Windenergieanlage M5000 von AREVA Wind im ersten deutschen Offshore-Windpark alpha ventus

© AREVA Wind
Jan Oelker 2010

Higher mathematics close to the wind

When a company wants to install wind turbines at sea, they have high energy efficiency in mind: at sea, the wind blows more strongly and more constantly than on land. But this investment of many millions exposes a very expensive piece of equipment to an extremely inhospitable environment, besides which, these facilities are very difficult to reach for inspection and repair. In mid-2004, a large Danish manufacturer of such systems had to undertake extensive and costly repairs to its offshore field (Horns Rev). To understand the problem better, BAM's experts have been constantly involved in research projects over many years: they have dealt with the foundations (2007) and the rotor blades (2009) of such facilities. Now, in his dissertation, Dr. Sebastian Thöns of Department 7 (Safety of Structures) has improved the scientific basis for an ongoing condition assessment of the supporting components: for the first time this will enable quantification of the benefits of monitoring systems in terms of risk and cost reduction. The scientist used the methodology for a prototype tripod support structure of the Multibrud M5000 offshore wind energy plant.

Only a few hours in the harsh winter on a North Sea beach provides a good indication of what

the components must withstand far out at sea. They are permanently exposed to the harsh climate, strong, turbulent wind and wave action. Experience with such systems on land can therefore not be transferred 1:1. Because of the difficult accessibility at sea it is most important to collect information so that by performing minor repairs early, serious and costly damage can be prevented. But how can the condition of the support structure be checked during operation in this difficult environment? Is it worth actually using electronic monitoring techniques for the structural condition analysis on the fly?

Such questions basically apply to any engineering structure, for example, road and railway bridges. The issue is really a complex cost-benefit analysis: what effort must be applied to guarantee that the structure is permanently exempt of any damage and thus ensures its proper function? If electronic monitoring technology is used, its data must be informative. But when is it sufficient and when is it too costly? How reliable is it, what measurement errors can be expected and how can the captured measurements be assessed?

Hohe Mathematik hart am Wind

Wer Windkraftanlagen auf See installieren will, hat eine große Energieausbeute im Sinn: Die Luftströmungen fließen dort viel kräftiger und beständiger als an Land. Aber er setzt sein etliche Millionen Euro teures Gerät einer äußerst unwirtschaftlichen Umgebung aus, überdies sind die Anlagen für Inspektionen und Reparaturen nur sehr schwer erreichbar. Schon Mitte 2004 musste ein großer dänischer Hersteller solcher Anlagen umfangreiche Reparaturen an seinem Offshore-Feld (Horns Rev) vornehmen. Um die Probleme besser in den Griff zu bekommen, sind auch die BAM-Experten seit Jahren immer wieder an Forschungsvorhaben beteiligt, da ging es etwa um die Fundamente (2007) und um die Rotorblätter (2009) solcher Anlagen. Jetzt hat Dr. Sebastian Thöns von der Abteilung 7 (Bauwerkssicherheit) in seiner Dissertation die wissenschaftlichen Grundlagen für eine permanente Zustandserfassung der tragenden Bauteile weiterentwickelt: Damit wird der Nutzen von Überwachungssystemen im Sinne einer Risiko- bzw. einer Kostenreduktion nun erstmals quantifizierbar. Der Wissenschaftler verwendete die Methodik für eine Tripod-Gründungskonstruktion eines Prototyps der Multibrid M5000 Offshore-Windenergieanlage.

Nur ein paar Stunden im rauen Winter an einem Nordseestrand vermitteln einen guten Eindruck davon, was die Bauteile weit draußen, auf hoher See, aushalten müssen. Denn sie sind dauerhaft dem ungemütlichen Klima und starkem, turbulentem Wind sowie Wellenschlag ausgesetzt. Die bereits an Land gemachten Erfahrungen mit solchen Anlagen lassen sich daher nicht 1:1 übertragen. Wegen der erschwerten Erreichbarkeit auf See gilt es dabei umso dringlicher, anfängliche Hinweise zu erfassen, um mit kleineren Ausbesserungen schwere und teure Folgeschäden zu verhindern. Aber wie kontrolliert man unter diesen erschwerten Bedingungen den jeweils aktuellen Zustand im laufenden Betrieb? Lohnt es sich tatsächlich, elektronische Überwachungstechniken für die zeitnahe Zustandsanalyse einzusetzen?

Solche Fragen betreffen im Prinzip jedes Ingenieurbauwerk, also zum Beispiel auch Straßen- und Bahnbrücken. Im Hintergrund geht es dabei um eine vielschichtige Kosten-Nutzen-Abwägung: Welchen Aufwand muss man ansetzen, um die dauerhafte Schadensfreiheit der

Struktur und damit die Funktion der Konstruktion zu gewährleisten? Nutzt man eine elektronische Überwachungstechnik, müssen ihre Daten aussagekräftig sein. Aber wann ist sie ausreichend, wann zu aufwändig? Wie zuverlässig arbeitet sie, mit welchen Messfehlern muss man rechnen, wie sind die gelieferten Werte einzuschätzen?

Um die Antworten darauf zu finden, erschuf der Wissenschaftler ein übergeordnetes rechnerisches Rahmenwerk für eine Kosten-Nutzen-Analyse einer Offshore-Windenergieanlage. Bei seiner Arbeit konnte er sich freilich zum Teil auf bereits vorhandene Verfahren stützen. Diese fußen vor allem auf mathematischen Modellen der Wahrscheinlichkeitsrechnung in Verbindung mit der Strukturmechanik und der Physik der Messverfahren. Die Grundlage bildete ein umfangreiches Modell der Tragstruktur im Computer, unter Einbezug von Informationen aus der Bemessung, der Produktion und der Errichtung. Die Berechnungen mit diesem Modell zeigen, wie die prognostizierten Kräfte abgeleitet werden – kritische Punkte lassen sich auf diese Weise erkennen. So kann an diesen Punkten eine erhöhte Materialermüdung auftreten, verursacht zum Beispiel durch Schwingungen, die im Extrem zu Rissen in der Konstruktion führen können.

Elektronische Überwachungstechniken sollen die tatsächlichen Belastungen sowie mögliche Veränderungen in der Konstruktion darstellen, also jene dringend benötigten, aber noch nicht über lange Zeit hinweg gemachten Erfahrungen bereits im Ansatz eines Schadens liefern – und das am besten an den kritischen Punkten der Tragkonstruktion. Doch die Messtechnik selbst verursacht Unschärfen: das jeweilige System im Zusammenspiel seiner Komponenten ebenso wie die individuellen Sensoren, die am Einbaort ja auch den Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind. Dies muss bei der Bewertung der Daten berücksichtigt werden, noch bevor die Messwerte für eine Einschätzung des Zustands der Konstruktion dienen können.

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse für eine Offshore-Windenergieanlage geht es um einen hohen Einsatz, denn jede Anlage mit 5 MW Nennleistung kostet insgesamt 7,5 Millionen Euro. Auch die Kosten für Inspektionen und Wartung sowie für das Überwachungssystem



Tripods for wind turbines from AREVA Wind are shipped by sea and transported to the construction site.

Die Tripods für die Windenergieanlagen von AREVA Wind werden verladen und auf dem Seeweg zum Baufeld transportiert.

© Stiftung Offshore Windenergie/alpha ventus, 2008

To find the answers, the scientist created an interdisciplinary framework for a cost-benefit analysis of an offshore wind turbine. In his work, he was able to rely in part on existing methods. These are primarily based on mathematical models of probability theory in conjunction with structural mechanics and measurement technology physics. A comprehensive computer model of a supporting structure was established involving information from design, production and construction. Calculations based on this model show how stresses and strains can be predicted – and critical points identified in this way. At these points an increased fatigue can occur caused for example by vibrations which, in extreme cases, can lead to cracks in the structure.

Electronic monitoring techniques will show the actual loads and possible changes in the struc-

ture, i.e. they provide urgently needed knowledge at the damage initiation point which so far has not been available – and that ideally at the critical points of the support structure. However, the measurement technique itself causes uncertainties: the system in connection with the individual sensors as well as the sensors itself which are located in the harsh environment. This must be taken into account when evaluating the data before the measurements are used for assessing the condition of the structure.

The cost-benefit analysis for an offshore wind turbine is about high stakes because each 5MW nominal power unit costs 7.5 million euros. Also, the costs of inspections and maintenance as well as for the monitoring system are not insignificant. But can an uncertain measurement method be used in such a way that it provides a benefit? The answer from the scientist is: yes. Because this complex problem can be modelled on the basis of a theory whose foundations were developed in the 18th century by Thomas Bayes, an English clergyman and mathematician. The probability can be updated when additional information (in this case supplied by measurement data) is included in the calculation. The system „learns“ with each measured value so that the uncertainties of the previously made estimates can decrease and approach reality.

But how can the scientist maximise the benefits of a monitoring system over the entire life cycle of the plant? He needs to include all factors, from wear and tear and the resulting risks to the cost of inspection and repair/replacement. These individual calculations and cost models are combined in a decision tree. Then when the alternatives of the monitoring system are compared in the computer simulation, the best solution can be identified.

It looks quite impressive for the example of the supporting structure examined in this study since electronic monitoring at only five critical sites can reduce the operating expense over the life cycle by more than 48 percent. This not only reduces the cost of operating the structure, but also lowers the risks. The findings represent an important contribution to the efficiency improvement of offshore wind energy generation, which is also the goal of the 6th Energy Research Programme of the Federal Ministry of Economics and Technology launched in September 2011.



sind nicht unerheblich. Aber kann auch ein eigentlich „unscharfes“ Messverfahren so eingesetzt werden, dass es einen Nutzen bringt? Die Antwort des Wissenschaftlers lautet: Ja. Denn dieses komplexe Entscheidungsproblem lässt sich rechnerisch auf der Grundlage einer Theorie modellieren, deren Grundlagen schon im 18. Jahrhundert von Thomas Bayes, einem englischen Pfarrer und Mathematiker, entwickelt worden sind. Hiermit können Wahrscheinlichkeiten überprüft und Aussagen präzisiert werden, sobald zusätzliche Informationen (hier: die von der Messtechnik gelieferten Daten) in die Berechnung einbezogen werden. Das System „lernt“ gleichsam mit jedem einzelnen Messwert dazu, die Unschärfe der zuvor getroffenen Einschätzung über die vermutete Entwicklung kann sich reduzieren und nähert sich beständig der Realität an.

Aber wie kann der Wissenschaftler den Nutzen eines Überwachungssystems über den gesamten Lebenszyklus der Anlage hinweg maximieren? Dazu muss er alle Einflussgrößen einbeziehen, von der Abnutzung und den daraus resultierenden Risiken bis hin zum Aufwand für Inspektion und Reparatur/Ersatz. Diese einzelnen Berechnungs- und Kostenmodelle werden in einem Entscheidungsbaum zusammengefügt. Wenn dann verschiedene Varianten des Überwachungssystems in Computersimulationen darauf bezogen und miteinander vergli-

chen werden, zeigt sich im Ergebnis die beste Lösung.

Für die beispielhaft untersuchte Tragkonstruktion sieht das recht beeindruckend aus, denn eine elektronische Überwachung von nur fünf kritischen Stellen kann den Aufwand über den Betriebs-Lebenszyklus hinweg um mehr als 48 Prozent senken. Das verringert nicht nur die Kosten für den Betrieb der Struktur, sondern reduziert auch die Risiken. Damit stellen diese Untersuchungsergebnisse einen wichtigen Beitrag zur Effizienzverbesserung für die Offshore-Windenergieerzeugung dar, ein Ziel auch des 6. Energieforschungsprogramms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), das im September 2011 aufgelegt wurde.

Blick auf den Offshore-Windpark alpha ventus mit Umspannwerk in der Nordsee

View on the offshore wind farm alpha ventus with a substation in the North Sea

© AREVA Wind
Jan Oelker 2010

Kontakt/Contact

Dr. Sebastian Thöns
sebastian.thoens@bam.de
Telefon/phone: +49 30 8104-3477

Abteilung 7/Department 7
Bauwerkssicherheit
Safety of Structures

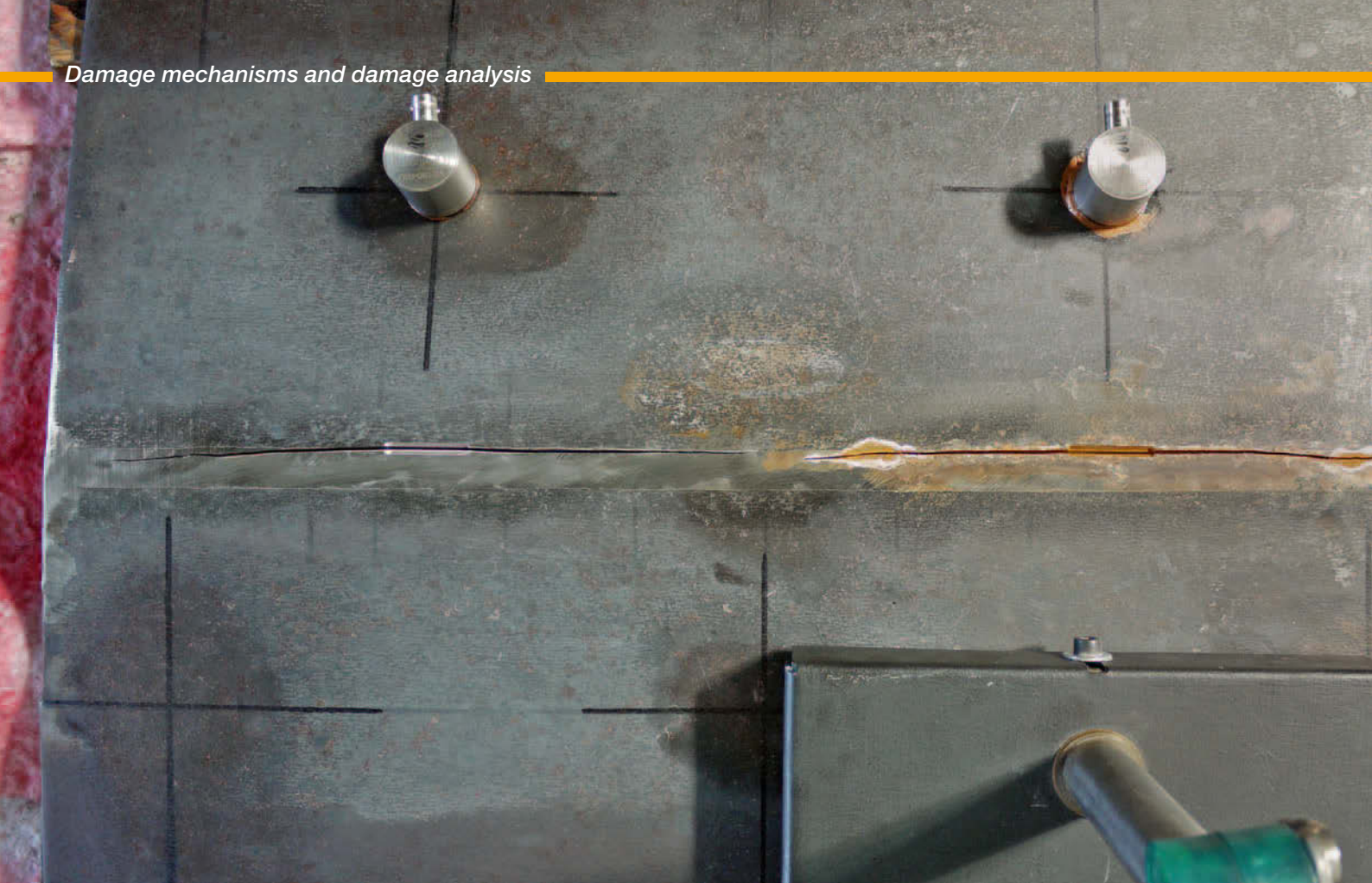


*Damage mechanisms and
damage analysis*



Warnung auf polynesisch:
Das Begehen dieser ungewöhnlich
gewachsenen Palme führt zu deren
Schädigung.

Warning in Polynesian:
to climb this abnormally grown palm
tree leads to its damage.



Large fatigue cracks without (left) and with corrosion (right) at the end of laboratory plate testing.

Große Ermüdungsrisse ohne (links) und mit Korrosion (rechts) am Ende der Plattenprüfung im Labor.

AT acoustic emission testing

Early recognition of container damage

For their production of goods, manufacturers often need liquid or gaseous, highly corrosive or flammable precursors and auxiliary materials which must not be released into the atmosphere because they pose a hazard to health and the environment. In addition, crude and fuel oils as well as fuel gases are transported daily in tanks often over long distances on our roads and railways as well as by ship on rivers and the world's oceans. Compared to these quantities, the number of dangerous occurrences is relatively low. This is mainly because research is being carried out all the time to improve safety precautions for transport containers and tanker vehicles. For example, research into acoustic emission testing (AT) headed by Dr.-Ing. habil. Jürgen Bohse. The acronym AT stands for a method that seeks acoustic waves emitted by sites of damage in loaded components. The investigations were funded by the EU in the context of the project "CORFAT – Cost Effective Corrosion and Fatigue Monitoring for Transport Products" (SCP7-GA-2008-218637).

Certainly, transport containers (in particular those for gases) are carefully tested for damage at fixed time intervals. But corrosion and fatigue can threaten the strength of the material at any

time. It would be advantageous if monitoring worked continuously: operational processes needed not to be interrupted unnecessarily and electronics could alarm personnel immediately when the first signs of damage appear. And early damage detection reduces repair costs to the minimum.

Corrosion (rust) for example develops on unprotected steel under the influence of saline solutions or other aggressive media very quickly. Metal fatigue occurs if the material is exposed to frequently changing forces. These can be caused not only by vibration due to transport, but also by changes in pressure. Let's take containers for gases for instance: they are filled with a large cargo under high pressure which is soon released when their contents are discharged. Both effects can pose a hazard to the strength of the container material, both forms of damage (corrosion processes and fatigue cracks) may occur separately but often together – the latter particularly on seagoing vessels or due to HGV transport on motorways treated with salt in the winter. Areas where containers and tank structures are joined by weld seams require special attention; they are very sensitive to fatigue crack development.

Frühzeitig Schäden am Behälter nachweisen

Für ihre Warenproduktion benötigen Hersteller oft flüssige oder gasförmige, stark ätzende oder leicht brennbare Vorprodukte und Hilfsstoffe, die nicht freigesetzt werden dürfen, weil sie eine Gefahr für Gesundheit und Umwelt darstellen. Aber auch Roh- und Heizöle sowie Treibgase werden alltäglich in Tanks oft weit über unsere Straßen und Schienen sowie per Schiff über Flüsse und Weltmeere transportiert. Gemessen an diesen Mengen ist die Zahl gefährlicher Vorkommnisse jedoch recht gering. Das liegt vor allem daran, dass an der Verbesserung vielfältiger Sicherheitsmaßnahmen für Transportbehälter und Tankfahrzeuge beständig geforscht wird. Zum Beispiel durch die von Dr.-Ing. habil. Jürgen Bohse geleiteten Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Schallemissionsprüfung (SEP). Hinter dem Kürzel „SEP“ steckt ein Verfahren, das nach Schalleignissen sucht, die belastete Bauteile aus Schadensbereichen aussenden. Die Untersuchungen wurden von der EU im Rahmen des Projekts „CORFAT – Cost Effective Corrosion and Fatigue Monitoring for Transport Products“ (SCP7-GA-2008-218637) gefördert.

Gewiss, Transportbehälter (insbesondere jene für Gase) werden in festgelegten Zeitintervallen sorgfältig auf Beschädigungen geprüft. Doch Korrosion und Ermüdung bedrohen die Festigkeit des Materials zu jeder Zeit. Da wäre es vorteilhaft, wenn die Überwachung lückenlos

arbeitete: Betriebsabläufe bräuchten nicht unnötig unterbrochen zu werden und die Elektronik könnte das Personal sofort alarmieren, wenn sich die ersten Anzeichen für Schädigungen melden. Und eine frühe Erkennung von Schäden senkt zudem die Reparaturkosten auf das unausweichliche Minimum.

Korrosion (Rost) bildet sich zum Beispiel unter dem Einfluss von Salzlösungen oder anderen aggressiven Medien auf ungeschütztem Stahl besonders schnell. Metallermüdung tritt auf, wenn das Material häufig wechselnden Kräften ausgesetzt ist. Diese können zum Beispiel durch Erschütterungen beim Transport hervorgerufen werden, aber auch durch Druckwechsel. Behälter für Gase etwa; sie werden unter großem Druck mit Frachtgut befüllt und bald darauf wieder entlastet, wenn der Inhalt abgelaassen wird. Beide Einwirkungen können die Festigkeit des Behältermaterials bedrohen, beide Schadensformen (Korrosionsprozesse und Ermüdungsrisse) können einzeln, oft jedoch gemeinsam auftreten – letzteres vor allem auf Seeschiffen, aber auch infolge des Lkw-Transports über winterlich gesalzene Autobahnen. Besondere Aufmerksamkeit erfordern jene Bereiche, an denen die Behälter und Tankkonstruktionen mit Schweißnähten zusammengefügt sind; sie sind sehr anfällig für Ermüdungsrisbildung.

SEP Schallemissionsprüfung



Behälter für Transporte von gefährlichen Gütern auf Schienen ...

Containers for dangerous goods transport by rail ...



... and on the roads must be safe.

... und auf den Straßen müssen sicher sein.

AE acoustic emission

Keywords: traffic noise or waves: if one wants to measure specific sound emissions, background noise is always a great problem. In addition, cracked areas produce different acoustic signals from primary and secondary acoustic emission event (AE) processes. AE events are called primary when they are caused by crack propagation, secondary when caused by the rubbing of the flaw edges (crack faces). The latter are superimposed on the primary signals, usually strongly, and it becomes even more complicated by the fact that the real danger depends on the rate of crack growth. That is to say: a small, but stable (stationary) corrosion defect can be measured from its secondary noise and must be repaired; but it is far less dangerous than a rapidly advancing crack. As far as the objective of measurement technology is concerned, it must precisely locate the starting point of the acoustic waves, i.e. determine the site of damage and then, if possible, determine its type and extent from the characteristics of the signal (amplitude, frequency, etc.).

In their tests, the researchers paid particular attention to temporal accumulation (clusters) of AE events which accompany crack growth or corrosion processes. The most difficult was to receive specific acoustic waves at non-corroded plates if the crack only grew slowly. It's logical: if the defect grows slowly, the appropriate primary acoustic emissions also occur less frequently and have a smaller intensity (see Fig-

ure on Page 113 above). In addition, a short crack naturally produces short edge surfaces, that is to say: the secondary sound events are also few in number. Therefore the cumulative signal energy of these events only achieves a significant level (almost exclusively secondary AE) when the crack in the tough pressure container steel has already grown several centimetres, in this case within approximately 120,000 load cycles on the test machine. Afterwards, rapid crack propagation led to several cascades of primary AE events with very high amplitudes.

Thus a strong and rapid fatigue crack growth can also be detected in non-corroded steel. However, the first warning signals (secondary AE sources) almost disappear in the background noise; an accumulation of significant clusters – based on crack size and growth rate – only occurs later, and by then they are among a large number of “loud” events: it took more than 36,000 load cycles in this test until the defects accelerated and expanded to such an extent that they became easily detectable.

“Help cries” were detected constantly and most clearly throughout the entire test: they were produced by the growth of a corroded crack under load (see Figure on Page 113 below): “The energy values of the signals again increase with an increasing crack, but they are tenfold higher than in non-corroded cracks”

SE Schallereignisse

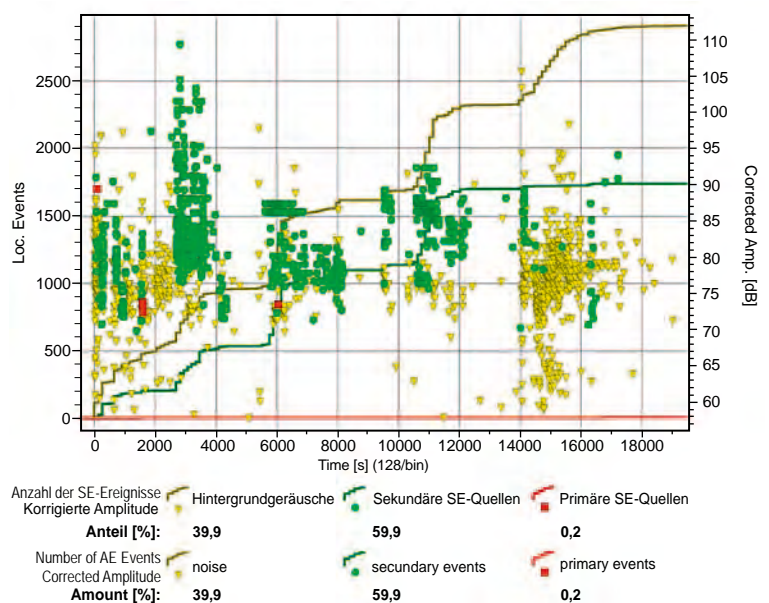
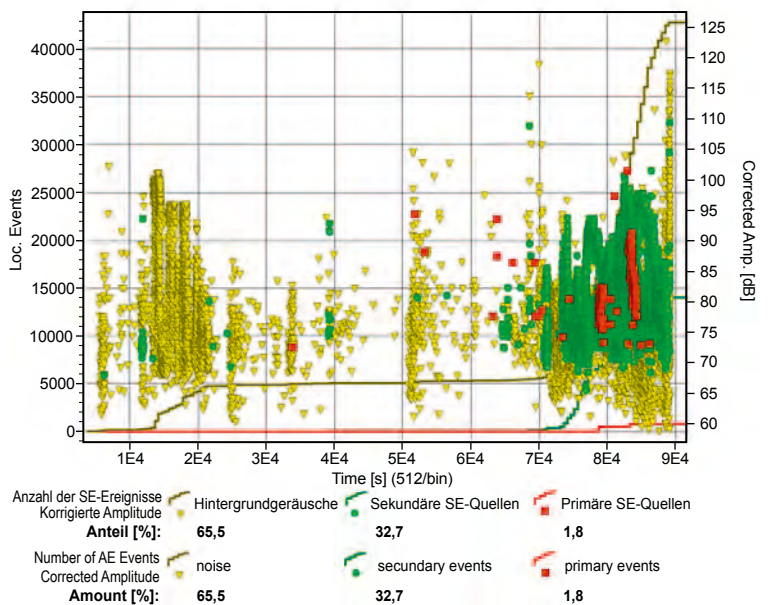
Stichworte Fahrgeräusche oder Meereswellen: Wenn man spezifische Schallemissionen messen will, stellen Hintergrundgeräusche stets ein großes Problem dar. Hinzu kommt, dass angerissene Bereiche unterschiedliche akustische Signale aus primären und sekundären SE-Prozessen verursachen. Primär werden Schallereignisse (SE) dann genannt, wenn sie durch den Rissfortschritt hervorgerufen werden, sekundär jene, die beim Aufeinanderreiben der Risskanten (Rissufer) entstehen. Letztere überlagern die primären Signale meist stark, und noch komplizierter wird es dadurch, dass die wirkliche Gefahr von der Geschwindigkeit des Risswachstums abhängt. Sprich: Ein kleiner, aber stabiler (stationärer) Korrosionsdefekt ist zwar mit seinem sekundären Geräusch zu messen und muss repariert werden; er ist aber längst nicht so kritisch wie ein schnell fortschreitender Riss. Für das Ziel der Messtechnik heißt das, sie muss den Ausgangspunkt der Schallwellen präzise lokalisieren, also den Ort der Schädigung feststellen, und dann auch noch aus den Merkmalen des Signals (Amplitude, Frequenz, etc.) möglichst die Art und den Umfang des Schadens ermitteln.

Bei ihren Versuchen achteten die Forscher vor allem auf zeitliche Häufungen (Cluster) von Schallereignissen, die mit dem Risswachstum oder dem Korrosionsprozess einhergehen. Am schwersten war es, an nicht korrodierten Platten spezifische Schallwellen aufzufangen, wenn der Riss nur langsam wächst. Logisch: Vergrößert sich der Defekt langsam, dann sind auch die entsprechenden primären Schallemissionen seltener und nur von geringer Intensität (siehe Abb. rechts oben). Zudem bildet ein kurzer Riss ebenso kurze Randflächen, sprich: Auch die sekundären Schallereignisse sind nur von geringer Anzahl. Daher erreichte die kumulierte Signalenergie dieser Ereignisse hier erst zu jenem Zeitpunkt ein signifikantes Niveau (fast ausschließlich sekundäre SE), als der Riss bei diesem zähen Druckbehälterstahl bereits um mehrere Zentimeter Länge gewachsen war, hier innerhalb von etwa 120 000 Lastwechseln auf der Prüfmaschine. Danach führte ein schneller Rissfortschritt zu mehreren Kaskaden primärer SE-Ereignisse mit sehr hohen Amplituden.

Somit lässt sich ein starkes und schnelles Wachstum des Ermüdungsrisses auch bei einem nicht korrodierten Stahl gut nachweisen. Allerdings gehen die ersten Warnhinweise (se-

kundäre SE-Quellen) fast im Hintergrundlärm unter; zur Häufung signifikanter Cluster kommt es – gemessen an Rissgröße und -wachstumstempo – erst spät, aber dann mit vielen und „lauten“ Ereignissen: Bei diesem Versuch vergingen etwas mehr als 36 000 Lastwechsel, in denen sich der Defekt beschleunigt und gut detektierbar ausweitete.

Über den gesamten Versuch hinweg durchgängig am deutlichsten waren die „Hilferufe“, die vom Wachstum eines korrodierten Risses unter Belastung ausgingen (siehe Abb. ganz unten): „Die Energiewerte der Signale steigen auch hier mit wachsendem Riss, sind jedoch um ein Zehnfaches höher als beim nicht korrodierten



says the research report. The very slow crack growth over time showed a near linear profile and several very clear AE cluster marks were recorded. They were chiefly secondary AE sources, yet the accumulations enabled basic conclusions about the state of the material to be drawn.

The high proportion of secondary AE sources caused by corrosion products in the crack, substantially improves the detectability of fatigue cracks of similar geometry and crack growth rate during condition monitoring, even with a high background noise.

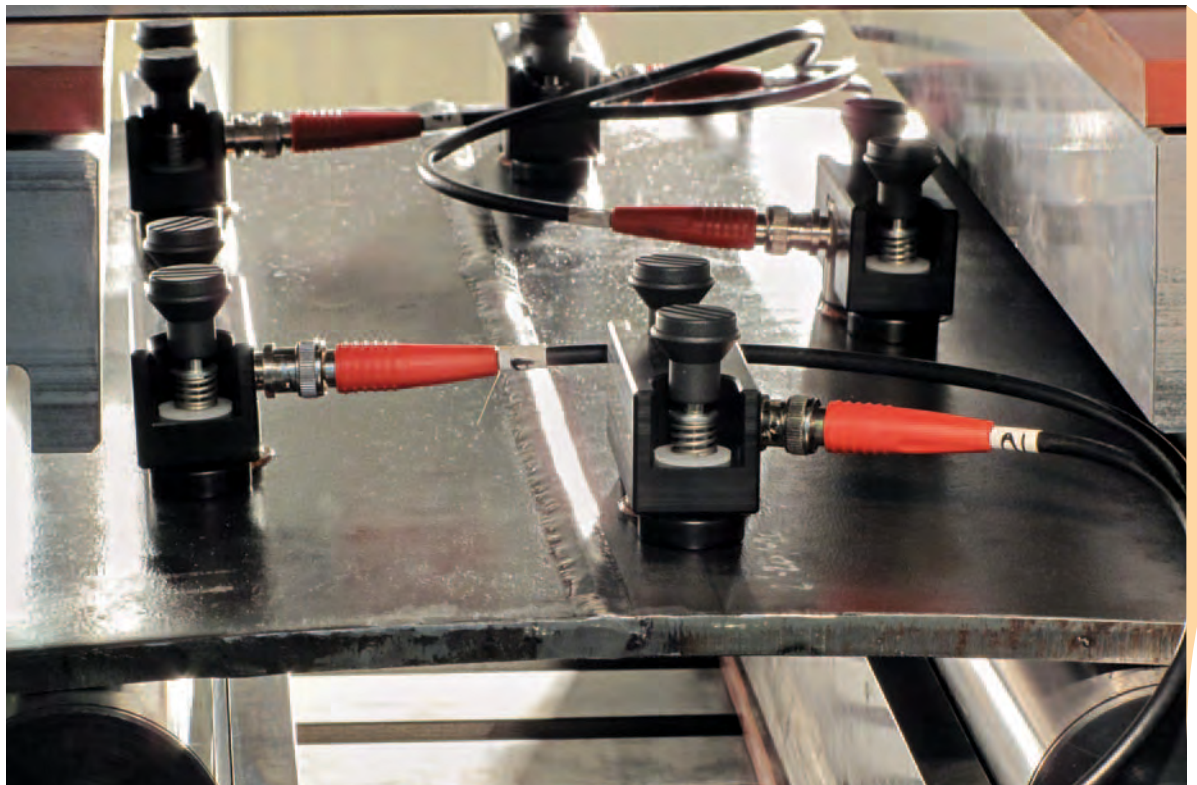
The recorded signal waveforms provide a valuable database for the researchers to develop a signal classifier which should identify different AE sources through pattern recognition.

How the tests were run

In the basic studies (Figure below and page 115), welded test plates were loaded on a servo-hydraulic test machine in the laboratory and the developing acoustic emission events were measured. The plates were one centimetre thick, one meter long and 65 and 50 centimetres wide, respectively, and consisted of fine-grain structural steel (P 460 NL1), also used for pressure containers to transport industrial gases. The test machine generated 2.4 oscillations per second and a maximum stress of 1000 MPa (megapascal, i.e. about 10 tons/cm²) on the plates. Friction noises produced between the steel rollers for force application and test plates simulate operational background noises. In order to explore the different reactions of the material, some plates were wetted with a saline solution which led to the intended corrosion in this area. Commercial piezoelectric sensors (150 kHz resonance sensors, type VS150-RIC) served to receive the acoustic waves from the material.

Monitoring of crack growth during fatigue tests using acoustic emission measuring equipment

Überwachung des Risswachstums bei Schwingversuchen mittels Schallemissionsmesstechnik



Riss“ heißt es in der Forschungsarbeit. Das sehr langsame Risswachstum nahm hier über die Zeit der Belastung hinweg einen nahezu linearen Verlauf, während dessen mehrere Male sehr deutliche SE-Cluster zu messen waren. Es handelte sich hierbei zwar ebenfalls vorrangig um sekundäre SE-Quellen, dennoch lassen sich aus ihrer Häufung entscheidende Rückschlüsse auf den Zustand des Materials ziehen.

Der hohe Anteil sekundärer SE-Quellen, verursacht durch Korrosionsprodukte im Riss, verbessert damit die Nachweisbarkeit von Ermüdungsrissen ähnlicher Geometrie und Risswachstumsrate bei der Zustandsüberwachung sowie bei hohem Hintergrundgeräusch erheblich.

Mit den aufgezeichneten Signalformen steht den Forschern nun eine wertvolle Datenbasis für die Erstellung eines Signalklassifikators zur Verfügung, der unterschiedliche SE-Quellen über die Mustererkennung identifizieren soll.

So wurde geprüft

In den Grundlagenuntersuchungen (Bilder unten und Seite 114) wurden geschweißte Testplatten auf einer servo-hydraulischen Prüfmaschine im Labor belastet und die dabei entstehenden Schallereignisse gemessen. Sie sind einen Zentimeter dick, einen Meter lang und 65 sowie 50 Zentimeter breit und bestehen aus Feinkornbaustahl (P 460 NL1), wie er auch für Druckbehälter zum Transport von technischen Gasen verwendet wird. Die Prüfvorrichtung übte 2,4 Schwingungen pro Sekunde und eine maximale Spannung von 1000 MPa (Megapascal, hier also gut 10 t/cm²) auf die Platten aus. Die dabei erzeugten Reibgeräusche zwischen Stahlrollen zur Krafteinleitung und den Testplatten simulieren eine Art betriebsbedingter Hintergrundgeräusche. Um die unterschiedlichen Reaktionen des Materials zu erkunden, wurden einige Platten örtlich mit einer Kochsalzlösung benetzt, was zur beabsichtigten Korrosion in diesem Bereich führte. Handelsübliche piezoelektrische Sensoren (150 kHz Resonanzsensoren vom Typ VS150-RIC) dienen dazu, die Schallwellen aus dem Material aufzufangen.



Kontakt/Contact

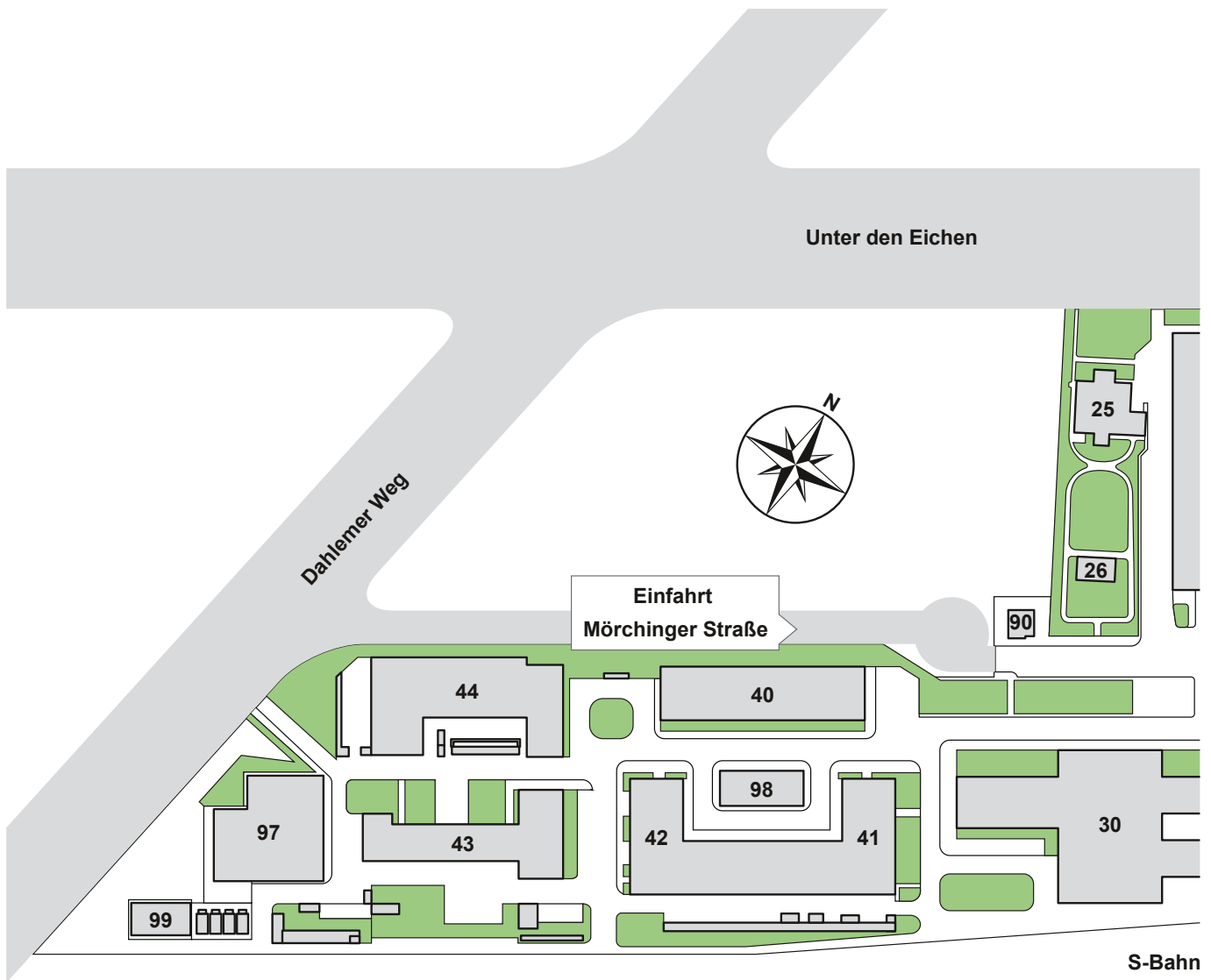
Dr. habil. Jürgen Bohse
 juergen.bohse@bam.de
 Telefon/phone: +49 30 8104-1302

Abteilung 5/Department 5
 Werkstofftechnik
 Materials Engineering





Stammgelände Lichterfelde | Unter den Eichen 87 | 12205 Berlin

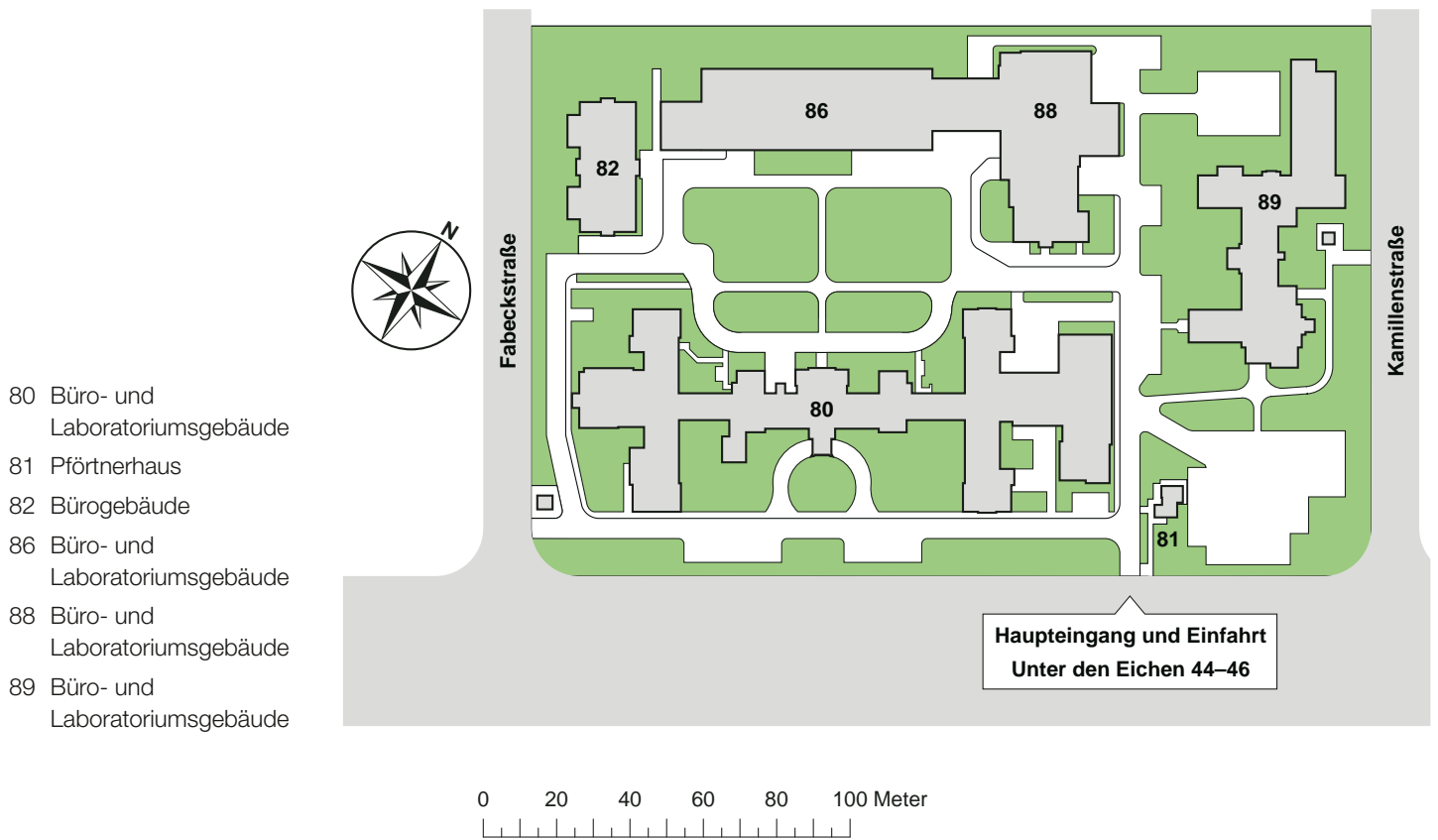


- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Adolf-Martens-Haus Mitte | 15 Wöhler-Haus Süd |
| 2 Bürogebäude | 16 Wöhler-Haus Ost |
| 3 Adolf-Martens-Haus Süd | 20 Büro- und Laboratoriumsgebäude |
| 4 Bürogebäude | 21 Prüf- und Versuchshalle |
| 5 Ludwig-Erhard-Saal 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 |

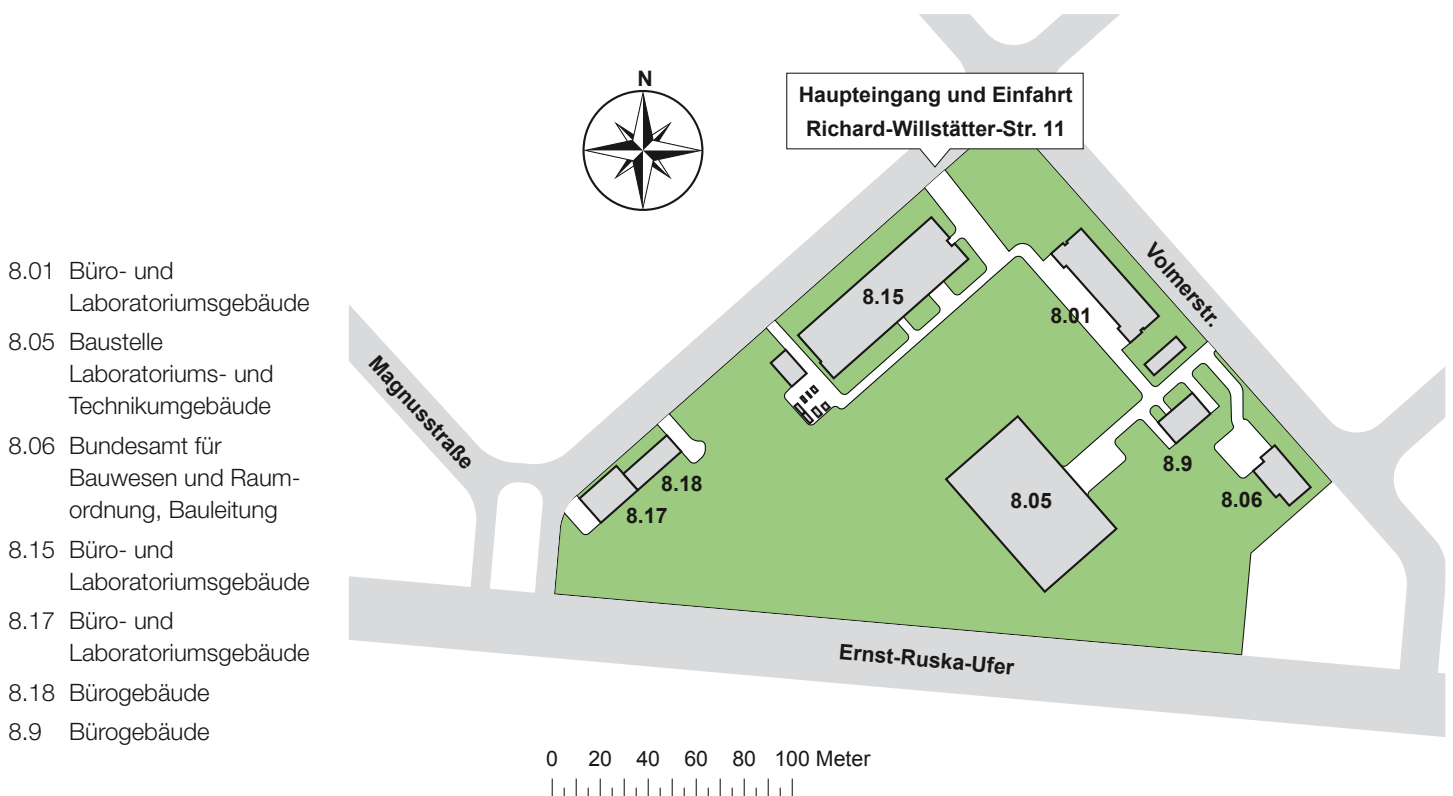


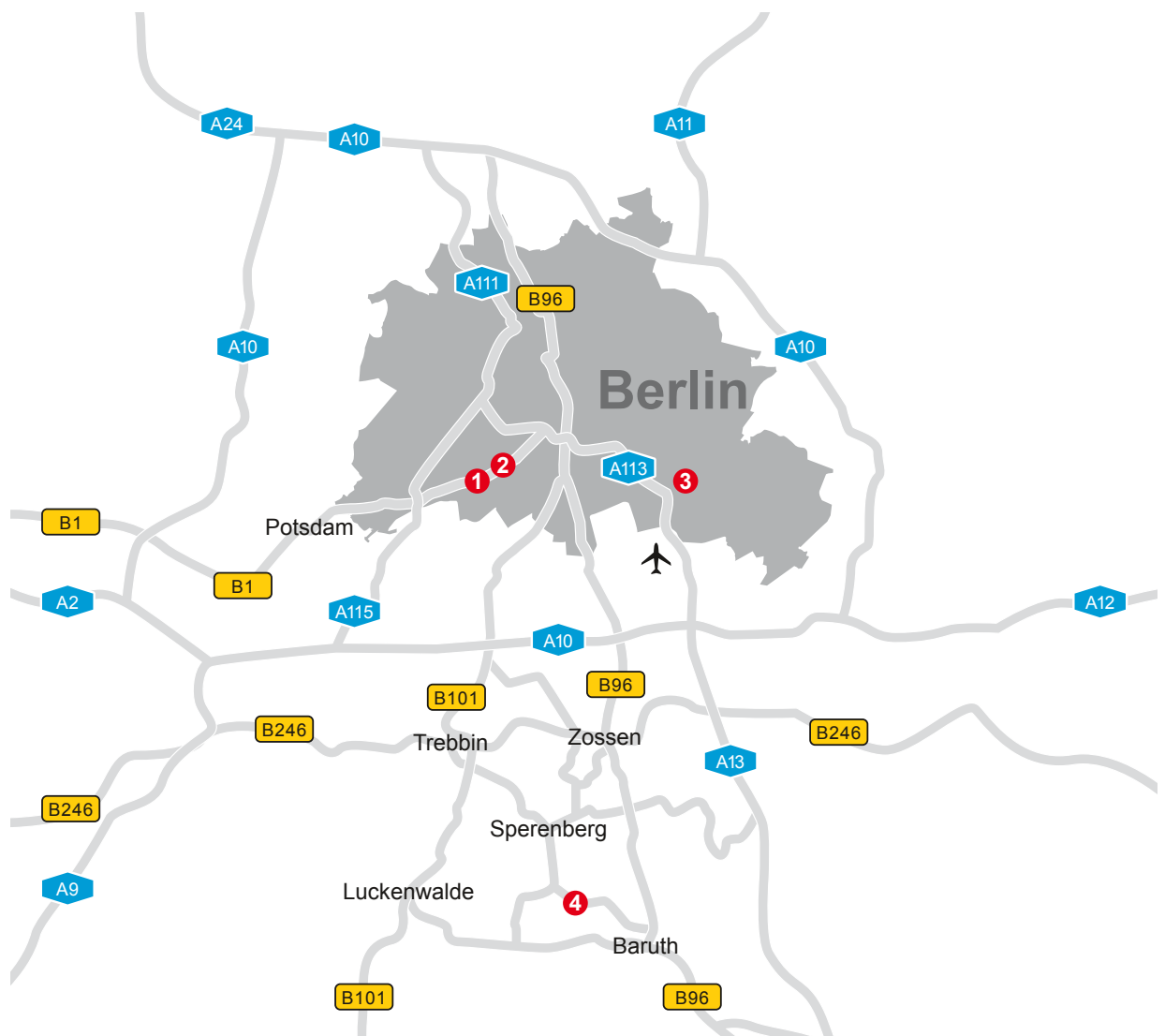
- | | |
|-------------------------------|---|
| 40 Rimarski-Haus | 91 Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; Projektleitung |
| 41 Wilhelm-Jost-Haus | 93 Lager |
| 42 Wilhelm-Jost-Haus | 94 Garagengebäude |
| 43 Büro- und Laboriumsgebäude | 96 Werkstattgebäude |
| 44 Büro- und Laboriumsgebäude | 97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

Zweiggelände Fabeckstraße | Unter den Eichen 44-46 | 12203 Berlin



Zweiggelände Adlershof | Richard-Willstätter-Straße 11 | 12489 Berlin





● **BAM Standorte**

- 1 Stammgelände Lichterfelde
- 2 Zweiggelände Fabekstraße
- 3 Zweiggelände Adlershof
- 4 BAM Testgelände Technische Sicherheit

Haushalt

Beträge in Euro

Stand 31.12.2011

Art der Haushaltsmittel	Soll ¹⁾	Ist-Einnahmen	Personal-ausgaben	Sach-ausgaben	Investitions-ausgaben	Gesamt	nach 2011 übertragen	an den Bund abgeführt
1. Ausgaben	133.499.023	–	69.036.303	21.645.460	35.196.505	125.878.268	58.310.000	–
+ aus 2010 übertragene Mittel	51.478.000	–	–	–	–	–	–	–
Gesamt zu 1.	184.977.023		69.036.303	21.645.460	35.196.505	125.878.268	58.310.000	–
2. Einnahmen								
2.1 Einnahmen aus Prüfgebühren	5.200.000	9.014.337	–	–	–	–	–	6.481.505
2.2 Sonstige Einnahmen	517.000	2.082.538	–	–	–	–	–	1.740.876
Gesamt zu 2.	5.717.000	11.096.875	–	–	–	–	–	8.222.381
3. Vorhabenmittel	–	20.030.113	11.176.738	4.949.778	1.321.257	17.447.773	2.582.000	–

¹⁾ Das Soll bei den Ausgaben gibt die tatsächlich zur Verfügung stehenden Mittel wieder, d. h. unter Berücksichtigung sämtlicher Kürzungen und Verstärkungen

Personal

Stand 31.12.2011

Jahr	Planstellen (lt. Haushaltsplan)					Aushilfen	Vorhaben-Mitarbeiter	Auszu-bildende	Praktikanten Hospitanten	Gesamt
	Beamte	Beschäft.	Angest.	Lohnempf.	Summe					
2007	416	686			1102	183	200	114	32	1631
2008	405	681,5			1086,5	267	214	100	52	1719
2009	400	685			1085	304	223	91	52	1755
2010	400	678,5			1078,5	348	268	82	21	1797
2011	397	669,5*			1066,5	314	270	77	18	1745

* ohne VH-Dauerstellen; inkl. DAR-Stellen

Laufbahnmäßige Zuordnung (in Prozent, ohne Auszubildende und Praktikanten)

Stand: 31.12.2011

Jahr	Höherer Dienst	Gehobener Dienst	Mittlerer und einfacher Dienst und Lohnempfänger
2007	41,4	30,6	28
2008	40,2	26,5	33,3
2009	44	28	28
2010	45	27	28
2011	47	26	27

Wissenschaftliche Aktivitäten

Lehraufträge, Gremienarbeit

Abt.	Honorar- und apl. Professuren, Dozenturen und Lehraufträge			Mitarbeit in Gremien											Zahl der beteiligten Mitarbeiter
	Univer- sitäten	Fach- hoch- schulen	Sonst. Lehran- stalten	aufgrund von Gesetzen und Verordnungen		bei wiss. Instituten und Behörden		der Normung und Gütesicherung		bei Vereinigun- gen und Verbänden		Gesamtzahl			
				nat.	intern.	nat.	intern.	nat.	intern.	nat.	intern.	nat. und intern.			
P	2	–	–	1	–	6	–	8	–	15	9	30	9	39	6
1	7	4	0	3	1	–	–	26	22	14	8	41	29	70	31
2	2	1	1	47	27	2	4	39	72	25	10	115	113	228	47
3	4	2	1	42	24	3	–	33	26	20	5	98	55	153	43
4	4	1	2	14	3	4	4	31	17	17	6	66	30	96	23
5	11	4	2	–	–	4	–	10	9	54	17	68	26	94	27
6	11	1	–	2	1	–	–	53	29	72	41	127	71	198	38
7	2	1	–	4	–	34	4	32	18	39	25	109	47	156	28
8	14	4	44	8	–	–	–	27	18	60	26	95	44	139	40
9	5	–	1	3	–	5	9	27	21	36	4	72	34	106	18
S	1	–	–	15	3	–	–	13	23	12	6	40	32	72	14
Σ	63	18	51	139	59	58	21	299	255	364	157	861	490	1351	315

Veröffentlichungen, Vorträge, Kurse

Jahr	Verfasser- und Heraus- geberfunktionen	Beiträge in Büchern, Broschüren und Zeitschriften ¹⁾	Vorträge einschl. Poster-Vorträge ¹⁾	Workshops, Seminare, Lehrgänge
2007	15	497	894	39
2008	17	581	866	43
2009	17	681	1245	47
2010	14	826	1540	75
2011	17	695	1073	65

¹⁾ Bibliographische Angaben: www.bam.de/publica.htm

Drittmittelgeförderte Forschung

Jahr	im Berichtsjahr abgeschlossen	im Berichtsjahr fortgeführt	im Berichtsjahr bewilligt	Ausgaben Mio. Euro
2007	168	381	156	12,4
2008	193	362	155	13,1
2009	143	394	148	13,4
2010	190	431	149	15,8
2011	161	341	148	17,4

Ausführliche statistische Angaben zum Jahresbericht 2011 enthält die Jahresbericht-CD.

<p>Präsident</p> <p><i>Prof. Dr. M. Hennecke</i> Tel.: 1000 Fax: 1007 Hennecke@bam.de</p>	<p>Vizepräsident</p> <p><i>Prof. Dr. Th. Böllinghaus</i> Tel.: 1020 Fax: 1027 Thomas.Boellinghaus@bam.de</p>	<p>Präsidentiale Stabsstelle</p> <p><i>Dr. N. Pfeil</i> Tel.: 1030 Fax: 1037 Norbert.Pfeil@bam.de</p>	<p>Unternehmenskommunikation, Pressestelle</p> <p><i>Dr. U. Rockland</i> Tel.: 1003 Fax: 3037 Ulrike.Rockland@bam.de</p>	<p>Forschungskoordination, Marketing</p> <p><i>Dr. J. Lexow</i> Tel.: 1004 Fax: 3027 Juergen.Lexow@bam.de</p>	
<p>ABTEILUNG 1 Analytische Chemie; Referenzmaterialien</p> <p><i>Prof. Dr. U. Panne</i> Tel.: 1100 Fax: 1107 Ulrich.Panne@bam.de</p>	<p>ABTEILUNG 2 Chemische Sicherheitstechnik</p> <p><i>Dr. Th. Schendler</i> Tel.: 1200 Fax: 1207 Thomas.Schendler@bam.de</p>	<p>ABTEILUNG 3 Gefahrgutumschließungen</p> <p><i>Dr. A. Erhard</i> Tel.: 1300 Fax: 1307 Anton.Erhard@bam.de</p>	<p>ABTEILUNG 4 Material und Umwelt</p> <p><i>Prof. Dr. A. Gorbushina</i> Tel.: 1400 Fax: 1407 Anna.Gorbushina@bam.de</p>	<p>ABTEILUNG 5 Werkstofftechnik</p> <p><i>Dr. P. D. Portella</i> Tel.: 1500 Fax: 1507 Pedro.Portella@bam.de</p>	<p>ABTEILUNG 6 Materialschutz und Oberflächentechnik</p> <p><i>Dr. B. Isecke</i> Tel.: 1600 Fax: 1607 Bernd.Isecke@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.1 Anorganische Spurenanalytik</p> <p><i>Dr. N. Jakubowski</i> Tel.: 1110 Fax: 1117 Norbert.Jakubowski@bam.de</p>	<p>Fachbereich 2.1 Gase, Gasanlagen</p> <p><i>Dr. V. Schröder</i> Tel.: 1210 Fax: 1217 Volkmarschroeder@bam.de</p>	<p>Fachbereich 3.1 Gefahrgutverpackungen</p> <p><i>Dr. Th. Goedecke</i> Tel.: 1310 Fax: 1317 Thomas.Goedecke@bam.de</p>	<p>Fachbereich 4.1 Biologische Materialschädigung und Referenzorganismen</p> <p><i>Dr. H.-J. Kunte</i> Tel.: 1410 Fax: 1417 Hans-Joerg.Kunte@bam.de</p>	<p>Fachbereich 5.1 Materialographie, Fraktographie und Alterung technischer Werkstoffe</p> <p><i>Dr. A. Kranzmann</i> Tel.: 1510 Fax: 1517 Axel.Kranzmann@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.1 Korrosion im Bauwesen</p> <p><i>Dr. B. Isecke</i> Tel.: 1600 Fax: 1737 Bernd.Isecke@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.2 Organische Spurenanalytik</p> <p><i>Prof. Dr. I. Nehls</i> Tel.: 1120 Fax: 1127 Irene.Nehls@bam.de</p>	<p>Fachbereich 2.2 Reaktionsfähige Stoffe und Stoffsysteme</p> <p><i>Dr. K.-D. Wehrstedt</i> Tel.: 1220 Fax: 1227 Klaus-Dieter.Wehrstedt@bam.de</p>	<p>Fachbereich 3.2 Gefahrgutverpackungen und Unfallmechanik</p> <p><i>Dr. F. Otremba</i> Tel.: 1320 Fax: 1327 Frank.Otremba@bam.de</p>	<p>Fachbereich 4.2 Materialien und Luftschadstoffe</p> <p><i>Dr. O. Jann</i> Tel.: 1420 Fax: 1427 Oliver.Jann@bam.de</p>	<p>Fachbereich 5.2 Experimentelle und modellbasierte Werkstoffmechanik</p> <p><i>Prof. Dr. B. Skrotzki</i> Tel.: 1520 Fax: 1527 Birgit.Skrotzki@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.2 Korrosionsschutz von technischen Anlagen und Geräten</p> <p><i>Dr. B. Isecke</i> Tel.: 1600 Fax: 1737 Bernd.Isecke@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.3 Strukturanalytik</p> <p><i>Prof. Dr. U. Panne</i> Tel.: 1100 Fax: 1137 Ulrich.Panne@bam.de</p>	<p>Fachbereich 2.3 Explosivstoffe</p> <p><i>Dr. D. Eckhardt</i> Tel.: 1230 Fax: 1237 Dietrich.Eckhardt@bam.de</p>	<p>Fachbereich 3.3 Sicherheit von Transportbehältern</p> <p><i>Dr. B. Droste</i> Tel.: 1330 Fax: 1337 Bernhard.Droste@bam.de</p>	<p>Fachbereich 4.3 Schadstofftransfer und Umwelttechnologien</p> <p><i>Dr. F.-G. Simon</i> Tel.: 1430 Fax: 1437 Franz-Georg.Simon@bam.de</p>	<p>Fachbereich 5.3 Mechanik der Polymerwerkstoffe</p> <p><i>Dr. Ch. Marotzke</i> Tel.: 1620 Fax: 1627 Christian.Marotzke@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.3 Makrobiologie und Verschleißschutz</p> <p><i>Prof. Dr. H. Sturm</i> Tel.: 1810 Fax: 1817 Heinz.Sturm@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.4 Prozessanalytik</p> <p><i>Dr. M. Maiwald</i> Tel.: 1140 Fax: 1147 Michael.Maiwald@bam.de</p>	<p>Fachbereich 3.4 Sicherheit von Lagerbehältern</p> <p><i>Dr. H. Völzke</i> Tel.: 1340 Fax: 1337 Holger.Voelzke@bam.de</p>	<p>Fachbereich 4.4 Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung</p> <p><i>Dr. F.-G. Simon</i> Tel.: 1430 Fax: 1437 Franz-Georg.Simon@bam.de</p>	<p>Fachbereich 5.4 Keramische Prozesstechnik und Biowerkstoffe</p> <p><i>Prof. Dr. J. Günster</i> Tel.: 1540 Fax: 1547 Jens.Guenster@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.4 Technologien mit Nanowerkstoffen</p> <p><i>Dr. G. Reiners</i> Tel.: 1820 Fax: 1827 Georg.Reiners@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.5 Polymerer in Life Science und Nanotechnologie</p> <p><i>Dr. A. Thünenmann</i> Tel.: 1610 Fax: 1617 Andreas.Thuenemann@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.5 Proteinanalytik</p> <p><i>Dr. M. G. Weller</i> Tel.: 1150 Fax: 1157 Michael.Weller@bam.de</p>	<p>Fachbereich 4.5 Kunst- und Kulturgutanalyse</p> <p><i>Dr. O. Jann</i> Tel.: 1420 Fax: 1427 Oliver.Jann@bam.de</p>	<p>Fachbereich 5.5 Technische Keramik</p> <p><i>Prof. Dr. J. Günster</i> Tel.: 1540 Fax: 1547 Jens.Guenster@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.6 Technische Eigenschaften von Polymerwerkstoffen</p> <p><i>Dr. B. Isecke</i> Tel.: 1600 Fax: 1617 Bernd.Isecke@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.7 Oberflächenmodifizierung und -messtechnik</p> <p><i>Dr. G. Reiners</i> Tel.: 1820 Fax: 1827 Georg.Reiners@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.8 Oberflächenanalytik und Grenzflächenchemie</p> <p><i>Dr. G. Reiners</i> Tel.: 1820 Fax: 1827 Georg.Reiners@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.6 Anorganische Referenzmaterialien</p> <p><i>Dr. N. Jakubowski</i> Tel.: 1110 Fax: 1117 Norbert.Jakubowski@bam.de</p>	<p>Fachbereich 5.6 Glas</p> <p><i>Prof. Dr. J. Günster</i> Tel.: 1540 Fax: 1547 Jens.Guenster@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.8 Nanotribologie und Nanostrukturierung von Oberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. H. Sturm</i> Tel.: 1810 Fax: 1817 Heinz.Sturm@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.9 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.9 Nanotribologie und Nanostrukturierung von Oberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. H. Sturm</i> Tel.: 1810 Fax: 1817 Heinz.Sturm@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.7 Lebensmittelanalytik</p> <p><i>Prof. Dr. I. Nehls</i> Tel.: 1120 Fax: 1127 Irene.Nehls@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.9 Nanotribologie und Nanostrukturierung von Oberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. H. Sturm</i> Tel.: 1810 Fax: 1817 Heinz.Sturm@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.8 Immunanalytik</p> <p><i>Dr. M. G. Weller</i> Tel.: 1150 Fax: 1157 Michael.Weller@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.9 Sensormaterialien</p> <p><i>Dr. M. G. Weller</i> Tel.: 1150 Fax: 1157 Michael.Weller@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>
<p>Fachbereich 1.10 Biophotonik</p> <p><i>Dr. M. G. Weller</i> Tel.: 1150 Fax: 1157 Michael.Weller@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Fachbereich 6.10 Polymeroberflächen</p> <p><i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> Tel.: 1630 Fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>

Vorsitzender des Kuratoriums

Dr. S. Halldorn
Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie

Wissenschaftliche Beiräte der BAM

Analytische Chemie
Vorsitzender: Prof. Dr. K.-P. Jäckel

Gefahrstoffe und Gefahrgüter
Vorsitzender: N.N.

Werkstoffe und technische Systeme
Vorsitzender: Prof. Dr. H.-W. Zoch



Stand: März 2012

BAM Bundesanstalt
für Materialforschung
und -prüfung
12200 Berlin
Telefon: +49 30 8104-0
Fax: +49 30 8112029
E-Mail: info@bam.de
Internet: www.bam.de

Stammgelände Lichterfelde
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Zweiggelände Fabbeckstraße
Unter den Eichen 44-46
12203 Berlin

Zweiggelände Adlershof
Richard-Willstätter-Straße 11
12489 Berlin

BAM Testgelände
Technische Sicherheit
An der Düne 44
15837 Baruth/Mark
Telefon: +49 33704 709-0
Fax: +49 33704 709-207

ABTEILUNG 7 Bauwerkssicherheit

Dr. A. Rogge
Tel.: 1700 Fax: 1707
Andreas.Rogge@bam.de

Fachbereich 7.1
Baustoffe
Dr. B. Meng
Tel.: 1710 Fax: 1717
Birgit.Meng@bam.de

Fachbereich 7.2
Ingenieurbau
Dr. W. Rücker
Tel.: 1720 Fax: 1727
Werner.Ruecker@bam.de

Fachbereich 7.3
Brandingenieurwesen
Dr. A. Rogge
Tel.: 1700 Fax: 1747
Andreas.Rogge@bam.de

Fachbereich 7.4
Baustofftechnologie
Dr. A. Rogge
Tel.: 1700 Fax: 1717
Andreas.Rogge@bam.de

ABTEILUNG 8 Zerstörungsfreie Prüfung

Dr. H. Heidt
Tel.: 1800 Fax: 1807
Heinrich.Heidt@bam.de

Fachbereich 8.1
**Sensorik, mess- und
prüftechnische Verfahren**
Dr. W. Daum
Tel.: 1910 Fax: 1917
Werner.Daum@bam.de

Fachbereich 8.2
**Zerstörungsfreie
Schadensdiagnose und
Umweltmessverfahren**
Dr. H. Wiggenhauser
Tel.: 1440 Fax: 1447
Herbert.Wiggenhauser@bam.de

Fachbereich 8.3
Radiologische Verfahren
Dr. U. Ewert
Tel.: 1830 Fax: 1837
Uwe.Ewert@bam.de

Fachbereich 8.4
Akustische Verfahren
Dr. M. Kreutzbruck
Tel.: 1840 Fax: 1845
Marc.Kreutzbruck@bam.de

Fachbereich 8.5
Mikro-ZfP
Dr. H. Heidt
Tel.: 1800 Fax: 1837
Heinrich.Heidt@bam.de

Fachbereich 8.6
**Optische und
faseroptische Verfahren**
Dr. W. Daum
Tel.: 1910 Fax: 1917
Werner.Daum@bam.de

Fachbereich 8.7
**Thermische und
elektromagnetische
Verfahren**
Dr. M. Kreutzbruck
Tel.: 1840 Fax: 1845
Marc.Kreutzbruck@bam.de

ABTEILUNG 9 Komponentensicherheit

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

Fachbereich 9.1
**Betriebsfestigkeit und
Bauteilsicherheit**
Dr. D. Klingbeil
Tel.: 1530 Fax: 1537
Dietmar.Klingbeil@bam.de

Fachbereich 9.2
**Versuchsanlagen und
Prüftechnik**
Prof. Dr. Th. Böllinghaus
Tel.: 1020 Fax: 1937
Thomas.Boellinghaus@bam.de

Fachbereich 9.3
**Schweißtechnische
Fertigungsverfahren**
Prof. Dr. M. Rethmeier
Tel.: 1550 Fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

Fachbereich 9.4
**Integrität von
Schweißverbindungen**
Prof. Dr. M. Rethmeier
Tel.: 1550 Fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

ABTEILUNG S Akkreditierung, Qualität im Prüfwesen

Dr. M. Nitsche
Tel.: 1900 Fax: 1907
Michael.Nitsche@bam.de

Referat S.1
Qualität im Prüfwesen
Dr. M. Golze
Tel.: 1943 Fax: 1947
Manfred.Golze@bam.de

Referat S.2
**Akkreditierung und
Konformitätsbewertung**
Dr. M. Wloka
Tel.: 1942 Fax: 1947
Monika.Wloka@bam.de

Referat S.3
**Internationaler
Technologietransfer**
Dr. M. Nitsche
Tel.: 1900 Fax: 3755
Michael.Nitsche@bam.de

BAM-Zertifizierungsstelle
Geschäftsstelle
Dr. R. Schmidt
Tel.: 3715
bzs@bam.de

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

Produktinfostelle
Geschäftsstelle
Dr. S. Trommsdorf
Tel.: 3702
produktinfostelle@bam.de

**Energieverbrauchs-
relevante-Produkte-Gesetz**
Beauftragte Stelle
Dr. F. Akkerman
Tel.: 3810
evpg@bam.de

ABTEILUNG Z Zentrale Dienstleistungen

Ch. von Vangerow
Tel.: 2000 Fax: 2127
Christine.von_Vangerow@bam.de

Referat Z.1
Organisation
Ch. von Vangerow
Tel.: 2000 Fax: 2127
Christine.von_Vangerow@bam.de

Referat Z.2
Haushalt
B. Malkewitz
Tel.: 2120 Fax: 2127
Bernd.Malkewitz@bam.de

Referat Z.3
**Personal,
berufliche Ausbildung**
S. Tschiersich
Tel.: 2130 Fax: 2137
Sabine.Tschiersich@bam.de

Referat Z.4
Informationstechnik
J. Zimpher
Tel.: 1920 Fax: 1927
Joachim.Zimpher@bam.de

Referat Z.5
Beschaffung
B. Malkewitz
Tel.: 2120 Fax: 2127
Bernd.Malkewitz@bam.de

Referat Z.6
Innere Dienst
Th. Becker
Tel.: 2030 Fax: 2037
Thomas.Becker@bam.de

Referat Z.7
Bauten
A. Scharlau
Tel.: 2220 Fax: 2227
Angelika.Scharlau@bam.de

Referat Z.8
**Technik der
Öffentlichkeitsarbeit;
Fachinformation**
A. Scharlau
Tel.: 2220 Fax: 2037
Angelika.Scharlau@bam.de

**Arbeitsschutz,
betrieblicher Umweltschutz**
U. Schmies
Tel.: 1006
Uwe.Schmies@bam.de

Datenschutzbeauftragter
A. Nymtschefskey
Tel.: 3773
Arne.Nymtschefskey@bam.de

IT-Sicherheitsbeauftragte
R. Rogge
Tel.: 3038
Regina.Rogge@bam.de

**Qualitätsmanagement-
beauftragte**
Dr. M. Hedrich
Tel.: 1941
qmb@bam.de

Personalrat (Vorsitzender)
B. Stoeck
Tel.: 2500
personalrat@bam.de

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

**Schwerbehinderten-
vertretung**
S. Proll
Tel.: 2505
Stefan.Proll@bam.de

Innerevision
D. Ludewig
Tel.: 2009
Detlef.Ludewig@bam.de

<p>President</p> <p><i>Prof. Dr. M. Hennecke</i> phone: 1000 fax: 1007 Hennecke@bam.de</p>	<p>Vice-President</p> <p><i>Prof. Dr. Th. Böllinghaus</i> phone: 1020 fax: 1027 Thomas.Boellinghaus@bam.de</p>	<p>Presidential Staff Office</p> <p><i>Dr. N. Pfeil</i> phone: 1030 fax: 1037 Norbert.Pfeil@bam.de</p>	<p>Corporate Communication, Press Office</p> <p><i>Dr. U. Rockland</i> phone: 1003 fax: 3037 Ulrike.Rockland@bam.de</p>	<p>Research Coordination, Marketing</p> <p><i>Dr. J. Lexow</i> phone: 1004 fax: 3027 Juergen.Lexow@bam.de</p>
---	---	---	--	--

<p>DEPARTMENT 1 Analytical Chemistry; Reference Materials <i>Prof. Dr. U. Panne</i> phone: 1100 fax: 1107 Ulrich.Panne@bam.de</p>	<p>DEPARTMENT 2 Chemical Safety Engineering <i>Dr. Th. Schendler</i> phone: 1200 fax: 1207 Thomas.Schendler@bam.de</p>	<p>DEPARTMENT 3 Containment Systems for Dangerous Goods <i>Dr. A. Erhard</i> phone: 1300 fax: 1307 Anton.Erhard@bam.de</p>	<p>DEPARTMENT 4 Materials and the Environment <i>Prof. Dr. A. Gorbushina</i> phone: 1400 fax: 1407 Anna.Gorbushina@bam.de</p>	<p>DEPARTMENT 5 Materials Engineering <i>Dr. P. D. Portella</i> phone: 1500 fax: 1507 Pedro.Portella@bam.de</p>	<p>DEPARTMENT 6 Materials Protection and Surface Technology <i>Dr. B. Isecke</i> phone: 1600 fax: 1607 Bernd.Isecke@bam.de</p>
--	---	---	--	--	---

<p>Division 1.1 Inorganic Trace Analysis <i>Dr. N. Jakubowski</i> phone: 1110 fax: 1117 Norbert.Jakubowski@bam.de</p>	<p>Division 2.1 Gases, Gas Plants <i>Dr. V. Schröder</i> phone: 1210 fax: 1217 Volkmar.Schroeder@bam.de</p>	<p>Division 3.1 Dangerous Goods Packaging <i>Dr. Th. Goedecke</i> phone: 1310 fax: 1317 Thomas.Goedecke@bam.de</p>	<p>Division 4.1 Biodeterioration and Reference Organisms <i>Dr. H.-J. Kunte</i> phone: 1410 fax: 1417 Hans-Joerg.Kunte@bam.de</p>	<p>Division 5.1 Materialography, Fractography and Ageing of Engineering Materials <i>Dr. A. Kranzmann</i> phone: 1510 fax: 1517 Axel.Kranzmann@bam.de</p>	<p>Division 6.1 Corrosion in Civil Engineering <i>Dr. B. Isecke</i> phone: 1600 fax: 1737 Bernd.Isecke@bam.de</p>
<p>Division 1.2 Organic Trace Analysis <i>Prof. Dr. I. Nehls</i> phone: 1120 fax: 1127 Irene.Nehls@bam.de</p>	<p>Division 2.2 Reactive Substances and Systems <i>Dr. K.-D. Wehrstedt</i> phone: 1220 fax: 1227 Klaus-Dieter.Wehrstedt@bam.de</p>	<p>Division 3.2 Tanks for Dangerous Goods and Accident Mechanics <i>Dr. F. Otremba</i> phone: 1320 fax: 1327 Frank.Otremba@bam.de</p>	<p>Division 4.2 Materials and Air Pollutants <i>Dr. O. Jann</i> phone: 1420 fax: 1427 Oliver.Jann@bam.de</p>	<p>Division 5.2 Experimental and Model Based Mechanical Behavior of Materials <i>Prof. Dr. B. Skrotzki</i> phone: 1520 fax: 1527 Birgit.Skrotzki@bam.de</p>	<p>Division 6.2 Corrosion Protection of Technical Plants and Equipment <i>Dr. B. Isecke</i> phone: 1600 fax: 1737 Bernd.Isecke@bam.de</p>
<p>Division 1.3 Structural Analysis <i>Prof. Dr. U. Panne</i> phone: 1100 fax: 1137 Ulrich.Panne@bam.de</p>	<p>Division 2.3 Explosives <i>Dr. D. Eckhardt</i> phone: 1230 fax: 1237 Dietrich.Eckhardt@bam.de</p>	<p>Division 3.3 Safety of Transport Containers <i>Dr. B. Droste</i> phone: 1330 fax: 1337 Bernhard.Droste@bam.de</p>	<p>Division 4.3 Contaminant Transfer and Environmental Technologies <i>Dr. F.-G. Simon</i> phone: 1430 fax: 1437 Franz-Georg.Simon@bam.de</p>	<p>Division 5.3 Mechanics of Polymers <i>Dr. Ch. Marotzke</i> phone: 1620 fax: 1627 Christian.Marotzke@bam.de</p>	<p>Division 6.3 Macrobriology and Wear Protection <i>Prof. Dr. H. Sturm</i> phone: 1810 fax: 1817 Heinz.Sturm@bam.de</p>
<p>Division 1.4 Process Analytical Technology <i>Dr. M. Maiwald</i> phone: 1140 fax: 1147 Michael.Maiwald@bam.de</p>	<p>Division 3.4 Safety of Storage Containers <i>Dr. H. Völzke</i> phone: 1340 fax: 1337 Holger.Voelzke@bam.de</p>	<p>Division 4.4 Thermochemical Residues Treatment and Resource Recovery <i>Dr. F.-G. Simon</i> phone: 1430 fax: 1437 Franz-Georg.Simon@bam.de</p>	<p>Division 5.4 Ceramic Processing and Biomaterials <i>Prof. Dr. J. Günster</i> phone: 1540 fax: 1547 Jens.Guenster@bam.de</p>	<p>Division 6.4 Nanomaterial Technologies <i>Dr. G. Reiners</i> phone: 1820 fax: 1827 Georg.Reiners@bam.de</p>	<p>Division 5.5 Advanced Technical Ceramics <i>Prof. Dr. J. Günster</i> phone: 1540 fax: 1547 Jens.Guenster@bam.de</p>
<p>Division 1.5 Protein Analysis <i>Dr. M. G. Weller</i> phone: 1150 fax: 1157 Michael.Weller@bam.de</p>	<p>Division 4.5 Analysis of Artefacts and Cultural Assets <i>Dr. O. Jann</i> phone: 1420 fax: 1427 Oliver.Jann@bam.de</p>	<p>Division 5.6 Glass <i>Prof. Dr. J. Günster</i> phone: 1540 fax: 1547 Jens.Guenster@bam.de</p>	<p>Division 6.5 Polymers in Life Science and Nanotechnology <i>Dr. A. Thüenemann</i> phone: 1610 fax: 1617 Andreas.Thuenemann@bam.de</p>	<p>Division 6.6 Technical Properties of Polymeric Materials <i>Dr. B. Isecke</i> phone: 1600 fax: 1617 Bernd.Isecke@bam.de</p>	<p>Division 6.7 Surface Modification and Measurement Technique <i>Dr. G. Reiners</i> phone: 1820 fax: 1827 Georg.Reiners@bam.de</p>
<p>Division 1.6 Inorganic Reference Materials <i>Dr. N. Jakubowski</i> phone: 1110 fax: 1117 Norbert.Jakubowski@bam.de</p>	<p>Division 6.8 Surface Analysis and Interfacial Chemistry <i>Dr. G. Reiners</i> phone: 1820 fax: 1827 Georg.Reiners@bam.de</p>	<p>Division 6.9 Nanotribology and Nanostructuring of Surfaces <i>Prof. Dr. H. Sturm</i> phone: 1810 fax: 1617 Heinz.Sturm@bam.de</p>	<p>Division 6.10 Polymeric Materials, Surfaces <i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> phone: 1630 fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>	<p>Division 6.9 Nanotribology and Nanostructuring of Surfaces <i>Prof. Dr. H. Sturm</i> phone: 1810 fax: 1617 Heinz.Sturm@bam.de</p>	<p>Division 6.10 Polymeric Materials, Surfaces <i>Prof. Dr. J. F. Friedrich</i> phone: 1630 fax: 1637 Joerg.Friedrich@bam.de</p>

8.01 Büro- und Laboratoriumsgebäude

8.05 Hauptstelle

8.06 Laboratoriums- und Technikumgebäude

8.06 Bundesamt für Sensor Materials

8.06 Bauwesen und Raumordnung, Bauleitung

8.15 Büro- und Laboratoriumsgebäude

8.17 Büro- und Laboratoriumsgebäude

8.18 Bürogebäude

8.9 Bürogebäude

Chairman of the Advisory Council

Dr. S. Halldorn
Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie

BAM's Scientific Advisory Committees

Analytical Chemistry
Chairman: Prof. Dr. K.-P. Jäckel

Dangerous Materials and Dangerous Goods
Chairperson: N.N.

Materials and Technical Systems
Chairman: Prof. Dr. H.-W. Zoch



Status: March 2012

BAM Federal Institute
for Materials Research
and Testing
12200 Berlin
Germany
phone: +49 30 8104-0
fax: +49 30 8112029
email: info@bam.de
internet: www.bam.de

Headquarters Lichterfelde
Unter den Eichen 87
12205 Berlin
Germany

Branch Fabeckstraße
Unter den Eichen 44-46
12203 Berlin
Germany

Branch Adlershof
Richard-Willstätter-Straße 11
12489 Berlin
Germany

BAM Test Site Technical
Safety
An der Düne 44
15837 Baruth/Mark
Germany
phone: +49 33704 709-0
fax: +49 33704 709-207

**Occupational Safety
and Health, In-house
Environmental Protection**
U. Schmies
phone: 1006
Uwe.Schmies@bam.de

**Inspector for Data
Protection**
A. Nymtschefskey
phone: 3773
Arne.Nymtschefskey@bam.de

IT Safety Representative
R. Rogge
phone: 3038
Regina.Rogge@bam.de

**Quality Management
Representative**
Dr. M. Hedrich
phone: 1941
qmb@bam.de

Staff Council (Chairman)
B. Stoock
phone: 2500
personalrat@bam.de

**Equal Opportunities
Representative**
K. Pachaly
phone: 2310
gleichstellungsbeauftragte@
bam.de

**Representative for Severely
Disabled Persons**
S. Proll
phone: 2505
Stefan.Proll@bam.de

Internal Audit
D. Ludewig
phone: 2009
Detlef.Ludewig@bam.de

DEPARTMENT 7 Safety of Structures

Dr. A. Rogge
phone: 1700 fax: 1707
Andreas.Rogge@bam.de

Division 7.1 Building Materials

Dr. B. Meng
phone: 1710 fax: 1717
Birgit.Meng@bam.de

Division 7.2 Buildings and Structures

Dr. W. Rucker
phone: 1720 fax: 1727
Werner.Ruecker@bam.de

Division 7.3 Fire Engineering

Dr. A. Rogge
phone: 1700 fax: 1747
Andreas.Rogge@bam.de

Division 7.4 Technology of Construction Materials

Dr. A. Rogge
phone: 1700 fax: 1717
Andreas.Rogge@bam.de

DEPARTMENT 8 Non-Destructive Testing

Dr. H. Heidt
phone: 1800 fax: 1807
Heinrich.Heidt@bam.de

Division 8.1 Sensors, Measurement and Testing Methods

Dr. W. Daum
phone: 1910 fax: 1917
Werner.Daum@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 8.3 Radiological Methods

Dr. U. Ewert
phone: 1830 fax: 1837
Uwe.Ewert@bam.de

Division 8.4 Acoustic Methods

Dr. M. Kreutzbruck
phone: 1840 fax: 1845
Marc.Kreutzbruck@bam.de

Division 8.5 Micro NDE

Dr. H. Heidt
phone: 1800 fax: 1837
Heinrich.Heidt@bam.de

Division 8.6 Optical and Fibre Optic Methods

Dr. W. Daum
phone: 1910 fax: 1917
Werner.Daum@bam.de

Division 8.7 Thermographic and Electromagnetic Methods

Dr. M. Kreutzbruck
phone: 1840 fax: 1845
Marc.Kreutzbruck@bam.de

DEPARTMENT 9 Component Safety

Prof. Dr. Th. Böllinghaus
phone: 1020 fax: 1027
Thomas.Boellinghaus@
bam.de

Division 9.1 Service Loading Fatigue and Structural Integrity

Dr. D. Klingbeil
phone: 1530 fax: 1537
Dietmar.Klingbeil@bam.de

Division 9.2 Test Devices and Equipment

Prof. Dr. Th. Böllinghaus
phone: 1020 fax: 1937
Thomas.Boellinghaus@
bam.de

Division 9.3 Welding Technology

Prof. Dr. M. Rethmeier
phone: 1550 fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

Division 9.4 Weld Mechanics

Prof. Dr. M. Rethmeier
phone: 1550 fax: 1557
Michael.Rethmeier@bam.de

DEPARTMENT S Accreditation, Quality in Testing

Dr. M. Nitsche
phone: 1900 fax: 1907
Michael.Nitsche@bam.de

Section S.1 Quality in Testing

Dr. M. Golze
phone: 1943 fax: 1947
Manfred.Golze@bam.de

Section S.2 Accreditation and Conformity Assessment

Dr. M. Wloka
phone: 1942 fax: 1947
Monika.Wloka@bam.de

Section S.3 International Technology Transfer

Dr. M. Nitsche
phone: 1900 fax: 3755
Michael.Nitsche@bam.de

BAM-Certification Body Secretariat

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

Accreditation Advisory Board Secretariat

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

Product Contact Point Secretariat

Dr. S. Trommsdorf
phone: 3702
produktinfo@bam.de

Ecodesign requirements for energy-using products Authorised body

Dr. F. Akkerman
phone: 3810
evpg@bam.de

DEPARTMENT Z Internal Services

Ch. von Vangerow
phone: 2000 fax: 2127
Christine.von_Vangerow@
bam.de

Section Z.1 Organisation

Ch. von Vangerow
phone: 2000 fax: 2127
Christine.von_Vangerow@
bam.de

Section Z.2 Budget

B. Malkewitz
phone: 2120 fax: 2127
Bernd.Malkewitz@bam.de

Section Z.3 Personnel, Professional Training

S. Tschiersich
phone: 2130 fax: 2137
Sabine.Tschiersich@bam.de

Section Z.4 Information Technology

J. Zimpher
phone: 1920 fax: 1927
Joachim.Zimpher@bam.de

Section Z.5 Purchasing Office

B. Malkewitz
phone: 2120 fax: 2127
Bernd.Malkewitz@bam.de

Section Z.6 Internal Facilities

Th. Becker
phone: 2030 fax: 2037
Thomas.Becker@bam.de

Section Z.7 Buildings

A. Scharlau
phone: 2220 fax: 2227
Angelika.Scharlau@bam.de

Section Z.8 Technical Services; Information

A. Scharlau
phone: 2220 fax: 2037
Angelika.Scharlau@bam.de

 BAM's Board of Directors

