

**JAHRESBERICHT ANNUAL REPORT**

**2006**



**Forschungszentrum  
Dresden** Rossendorf



## Inhalt

---

### 4 VORWORT

### 6 PROFIL

#### EREIGNISSE

- 54 Personalia
- 56 Auszeichnungen
- 57 FZD-Preise
- 59 Termine

#### DATEN UND FAKTEN

- 66 Organe und Gremien
- 67 Überblick
- 68 Organigramm

### FORSCHUNG

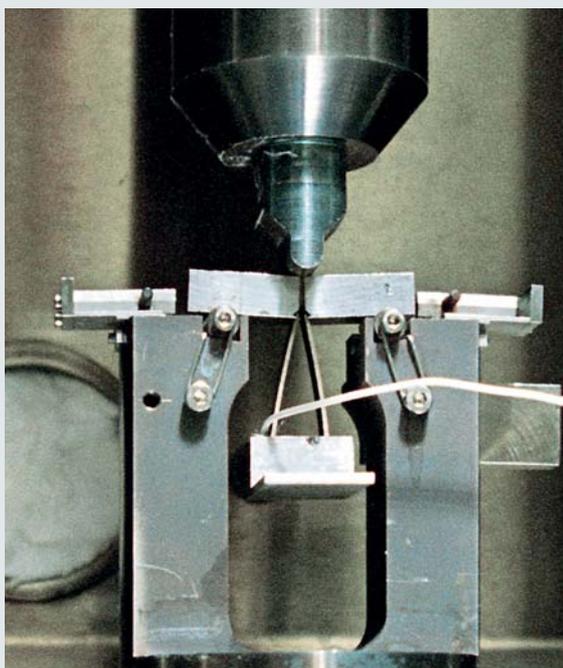
- 12 Magnetische Eigenschaften nach Wunsch
- 16 Höchste Magnetfelder
- 21 Bakterien als Vorbild
- 26 Wie schwarze Löcher ihren Hunger stillen
- 30 Uranmunition im Boden
- 36 [<sup>18</sup>F]Fluoracetat: Vom Gift zum PET-Tracer

### INDUSTRIEKOOPERATION

- 40 Optimierung von Turbokupplungen
- 44 Magnetfelder beim Aluminium-Feinguss
- 46 Erfolgreich gestartet: FZD und Qimonda
- 48 Radiopharmaka-Herstellung

### BILDUNG

- 63 Dresden – Stadt der Wissenschaft 2006
- 64 Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften und Tag des offenen Labors
- 64 Schüler und Lehrer
- 65 Berufsausbildung im FZD



## Content

---

### 4 PREFACE

### 6 PROFILE

#### EVENTS

- 54 Particulars
- 56 Awards
- 57 FZD Awards
- 59 Events

#### FACTS AND FIGURES

- 66 Advisory Board
- 67 Overview
- 69 Organizational Chart

### RESEARCH

- 12 Magnetic properties on demand
- 16 Highest magnetic fields
- 21 Learning from bacteria
- 26 How to feed a black hole
- 30 Uranium ammunition in soil
- 36 [<sup>18</sup>F]Fluoracetate: From toxin to PET-tracer

#### COOPERATION WITH INDUSTRY

- 40 Optimisation of fluid couplings
- 44 Magnetic fields in aluminum investment casting
- 46 Start of a cooperation: FZD and Qimonda
- 48 Manufacturing of radiopharmaceuticals

#### EDUCATION

- 63 Dresden – City of Science 2006
- 64 Dresden Long Night of Science  
Open House Day
- 64 Students and teachers
- 65 Educational training at the FZD

## Vorwort | Preface

2006 war ein Jubiläumsjahr: 50 Jahre Forschung in Rossendorf und 800 Jahre Dresden! Die Stadt Dresden feierte das Jubiläum mit großen und kleinen Festen über das ganze Jahr verteilt. Aber auch die Dresdner Wissenschaft bot vielerlei Veranstaltungen im Rahmen von „Dresden - Stadt der Wissenschaft 2006“ an: Lange Nacht der Wissenschaften, Wissenschaft im Kaufhaus, Faszination Technologie, Eröffnungsshow und Abschlussfest. Das Forschungszentrum nahm an diesen Aktionen und Veranstaltungen teil und führte darüber hinaus den schon traditionellen „Tag des offenen Labors“ durch, der 2006 unter dem Motto „50 Jahre Forschung in Rossendorf“ stand.

Für den erneuerten Vorstand des Forschungszentrums – es gab einen Wechsel im Amt des Wissenschaftlichen Direktors – war das Dresdner Jubiläumsjahr 2006 willkommener Anlass für die Umbenennung des Forschungszentrums Rossendorf in Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD). Das Forschungszentrum ist auf den seit Jahren etablierten Forschungsgebieten eine international bekannte Adresse. Sollen jedoch neue Themen besetzt werden, so gibt der erweiterte Name die Adresse und das wissenschaftliche Umfeld exakter an als bisher.

Prof. Bernd Johannsen wurde am 3. Mai 2006 feierlich als Wissenschaftlicher Direktor verabschiedet (s. Rubrik „Ereignisse“). Der Wechsel in diesem Amt hatte u. a. zur Folge, dass im November die Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung gegründet wurde. Anfang 2008 soll der erste Hochintensitätslaser im Forschungszentrum den Betrieb aufnehmen. Die neue Forschungsrichtung bietet die Chance, die Tumorforschung im FZD noch enger als bisher mit der Strahlentherapie in Dresden, aber auch mit der Laserforschung in Jena zu verknüpfen.

Weitere Ereignisse des Jahres 2006 waren die Einweihung der größten Kondensatorbank der Welt durch Sachsens Ministerpräsidenten Prof. Georg Milbradt sowie eines neuen Magnetprototypen durch die sächsische Forschungsministerin Dr. Eva-Maria Stange. Beide Einweihungen betrafen das Hochfeld-Magnetlabor Dresden, das mittlerweile den Betrieb als Nutzerlabor aufgenommen hat. Wie bei der

2006 was a year of celebration: the Rossendorf campus celebrated its 50th and Dresden its 800th anniversary! The city of Dresden organized a variety of events during the year, and the scientific community of Dresden offered numerous festivities within „Dresden – City of Science 2006“: Long Night of Sciences, Science at the Mall, Fascination Technology, opening celebration and finale. The Forschungszentrum took part in these events and, furthermore, organized the traditional „Open House“ themed „50 Years Science in Rossendorf“.

For the renewed board of directors at the Forschungszentrum – with a newly appointed Scientific Director – the anniversary year of Dresden in 2006 gave the impulse for a name change from Forschungszentrum Rossendorf to Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD). The Forschungszentrum is internationally well recognised with its scientific core competencies. If new fields should be developed in the future, the extended name will allow for better framing of the scientific mission.

The retired Scientific Director Prof. Bernd Johannsen was honoured on May 3rd 2006 with a farewell party (see „Events“ section). The change in office led to the establishment of a project group for laser-particle acceleration in November. In the beginning of 2008, the first high intensity laser will start its operation. This new field of research will further strengthen the link between the tumour research at the FZD with the radiation therapy in Dresden, as well as open the possibility for a collaboration with laser research in Jena.

Other major events in 2006 were the inauguration of the largest capacitor bank in the world by the Saxon Prime Minister Prof. Georg Milbradt as well as the inauguration of a new magnet prototype by the Saxon Minister of Science Dr. Eva-Maria Stange. Both events took place at the High Magnetic Field Laboratory Dresden which has started operating as a user facility. As promised in the proposal to the Science Council in 2002, the Dresden High Magnetic Field Laboratory was built on schedule and within planned budget.



**Prof. Dr. Roland Sauerbrey**  
Wissenschaftlicher Direktor



**Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk**  
Kaufmännischer Direktor

Befürwortung durch den Wissenschaftsrat 2002 versprochen, wurde das Hochfeld-Magnetlabor pünktlich und innerhalb des zur Verfügung stehenden Budgets aufgebaut.

Als Erfolgsgeschichte kann auch der Freie-Elektronen-Laser an der Strahlungsquelle ELBE gelten, wo 2006 ein zweiter Laser in Betrieb genommen werden konnte. Wie das Ionenstrahlzentrum des FZD wird der Freie-Elektronen-Laser von der Europäischen Union als Nutzereinrichtung gefördert. Die TOPFLOW-Anlage zur Untersuchung komplexer Strömungsvorgänge konnte trotz einer Havarie glücklicherweise alle Forschungsvorhaben, die zum großen Teil in Zusammenarbeit mit der Industrie durchgeführt werden, erfolgreich bearbeiten. Den zahlreichen Forschungsk Kooperationen mit der Industrie ist in diesem Jahresbericht eine eigene Rubrik gewidmet.

Zentral für jedes Forschungsinstitut sind die herausragenden wissenschaftlichen Ergebnisse, die Sie für das FZD in diesem Jahresbericht zusammengefasst finden. Im abgelaufenen Jahr ist es Wissenschaftlern des FZD in mehreren Fällen gelungen, in völlig unbekanntes wissenschaftliches Territorium vorzustoßen und neue Effekte zu entdecken. Dazu gehören zum Beispiel der erstmalige Nachweis der Magnetorotations-Instabilität oder die bisher unbekannte Tiefenwirkung von Ionenstrahlen – Entdeckungen, die beide durch Wissenschaftspreise des FZD ausgezeichnet wurden.

Wir bedanken uns bei unseren Zuwendungsgebern, Kuratoren, Beiratsmitgliedern und Kooperationspartnern für die konstruktive Zusammenarbeit im Jahr 2006 und freuen uns darauf, gemeinsam mit ihnen neue Aufgaben und Herausforderungen zu bewältigen und zukünftige Projekte beherzt anzugehen!

Another success story is the Free-Electron-Laser at the Radiation Source ELBE where the second laser was put into operation in 2006. Both, the Free-Electron-Laser and the Ion Beam Centre at the FZD, receive funding from the European Union as user facilities. Despite an incident, the TOPFLOW facility for the study of complex flow dynamics fortunately was able to conduct most science projects, which are to a large extent carried out in collaboration with the industry. We have dedicated an entire section in this annual report to science cooperation with the industry.

The scientific results, which are summarized in this annual report for the FZD, are paramount for every science institute. During the past year, scientists at the FZD realized in many cases to push forward in entirely unknown territory and to discover new effects. Among them, for example, the first-time evidence of the magnetorotational instability or the up to now unknown penetration effect of ion beams - discoveries which were both awarded with scientific prizes of the FZD.

We thank our sponsors, curators, advisory council members and cooperation partners for the constructive collaboration in the year 2006, and we are happy to master new tasks, challenges and tackle future projects together!

Prof. Dr. Roland Sauerbrey

Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk

## Research in the Heart of Europe

Das FZD erbringt wesentliche Beiträge der Grundlagenforschung sowie der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung zu folgenden Fragen:

- > Wie verhält sich Materie unter dem Einfluss hoher Felder und in winzigen Dimensionen?
- > Wie können Tumorerkrankungen frühzeitig erkannt und wirksam behandelt werden?
- > Wie schützt man Mensch und Umwelt vor technischen Risiken?

Diese drei Forschungsprogramme sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

### Struktur der Materie

Grundlage der Materialforschung im FZD bilden Untersuchungen auf der Nano- und Femtometerskala. Ziel ist es, Hochleistungswerkstoffe sowie neue Materialien für die Halbleitertechnologie herzustellen. Oberflächen erhalten durch den Einsatz von Ionenstrahlen neue oder verbesserte Funktionen. Die Wissenschaftler im Ionenstrahlzentrum erzeugen dünnste Schichten, Nano-Partikel, Nano-Drähte in Silizium oder Halbleitermaterialien mit einzigartigen optoelektronischen Eigenschaften. So werden Grundlagen für neue Speicher- und Computertechnologien gelegt.

Physiker interessieren sich weltweit dafür, wie Materialien auf höchste Magnetfelder reagieren. Das Hochfeld-Magnetlabor Dresden verfolgt das ehrgeizige Ziel, 100 Tesla für die Materialforschung zur Verfügung zu stellen. Damit sollen die Eigenschaften etwa von Hochtemperatur-Supraleitern oder Halbleitermaterialien untersucht werden. Einzigartige magneto-optische Experimente verspricht die Kombination mit dem Infrarot-Licht vom Freielektronen-Laser im FZD.

Und schließlich gehen Physiker im FZD der Frage nach, wie die Bausteine der Atome, also Teilchen wie Quarks, Mesonen, Protonen und Neutronen, zu ihrer Masse – und die Materie damit zu ihrem Gewicht – kommen. Die ausgefeilten Experimentiermethoden der Kernphysik an den Elektronen- und Ionen-Beschleunigern erlauben interessante neue Aussagen über die Entstehung der Elemente im Kosmos und nicht zuletzt wird durch sie die Medizintechnik bei der Entwicklung neuer Diagnose- und Therapieverfahren stimuliert.

Materials research, tumor research and safety research – these are the fundamentals at the core of the Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD). As a member of the Leibniz Association, the FZD with a workforce of 700 employees is considered as one of the leading institutes in these three fields of research. The focal point of the FZD is application-oriented basic research leading to product development in cooperation with partners in private industry.

### Structure of Matter

At FZD, research in the nano-range is the foundation for basic research of matter. The goal of these efforts is to engineer high-performance materials as well as innovative materials for the semiconductor technology. By using ion beam radiation, surfaces are modified to achieve improved functionality. The researchers of the ion beam center are capable of fabricating ultra-thin layers, nano particles, as well as nano wires made of silicon and other semiconductor materials with unique optoelectronic properties. This is the foundation for new information storage and computer technology.

Physicists worldwide are interested in using high magnetic fields to probe materials. The Dresden High Magnetic Field Laboratory has set out to achieve an ambitious goal to provide 100 Tesla for material research in order to study the properties of such materials as high temperature superconductors or semiconductors. The combination of high magnetic fields with infrared light of the free electron laser at the FZD promises unrivalled magneto-optical experiments.





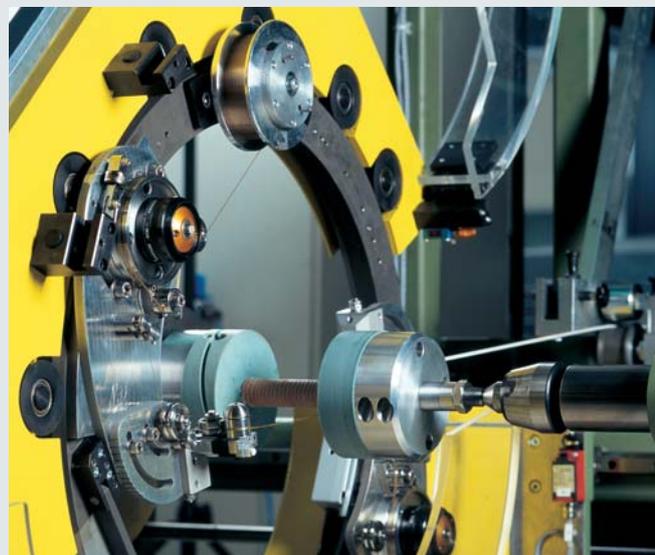
## Lebenswissenschaften

Die frühzeitige Erkennung und wirksame Behandlung von Tumorerkrankungen ist das Ziel der radiopharmazeutischen Arbeiten im FZD. Die Wissenschaftler arbeiten u. a. intensiv an der Erforschung der biochemischen Grundlagen von Krebs, um neue radioaktive Arzneimittel zu Tumordiagnostik und künftig auch für die Tumorthapie entwickeln zu können. Zur Erkennung wird ein modernes bildgebendes Verfahren genutzt: die Positronen-Emissions-Tomographie (PET). Dieses basiert auf der Gabe eines radioaktiven Arzneimittels, dessen Strahlung von außen gemessen werden kann und das – in Abhängigkeit von der Art des Tumors – Aussagen zu seiner Größe, Entwicklung und Ort des Auftretens zulässt. Die PET-Methode kann außerdem genutzt werden, um die punktgenaue Tumorbestrahlung an Beschleunigern zu überwachen. Eine solche PET-Anlage wurde im FZD entwickelt und zur Perfektion gebracht. Die Industrie wird diese Entwicklung aufgreifen und umsetzen. Die Tumorforschung im FZD schafft damit die Grundlagen für eine ganze Reihe neuer Krebstherapien in der Zukunft.

Physicists at the FZD are also examining how the building blocks of the atoms, thus particles such as quarks, mesons, protons and neutrons, obtain their mass. This is the fundamental question why all matter is as heavy as it is. Sophisticated nuclear physics experiments carried out at electron and ion accelerators make it possible to explore how exactly the chemical elements were formed in the cosmos. The very same nuclear techniques have stimulated new diagnostic and therapeutical methods in medicine.

## Life Sciences

The main aim of the radiopharmaceutical work at the FZD is the early detection and effective treatment of tumor diseases. For example, our scientists intensively study the biochemical origins of cancer in order to develop new radioactive drugs for tumor diagnostics and therapy. For this purpose an innovative imaging procedure is used: the Positron Emission Tomography (PET). PET is based on the external detection of the radioactive emission of an injected drug, which allows mapping dimension and location of a tumor and tracking its development. Moreover, using PET medical doctors can accurately and precisely monitor the radiation treatment of tumors. The FZD developed and perfected a PET scanner for this purpose. Private industry will bring this new technology to the market. Therefore, tumor research at the FZD is blazing a path for future cancer therapies.





## Umwelt und Sicherheit

Wissenschaftler im FZD tragen mit ihrer Arbeit dazu bei, dass Kernreaktoren noch sicherer werden. Für die Simulation von Störfällen werden neue thermo-hydraulische und reaktorphysikalische Berechnungsverfahren entwickelt und am Experiment überprüft. Im Zentrum stehen oft komplexe Strömungsphänomene, wie sie in Kernreaktoren auftreten. Nicht selten können diese Simulationswerkzeuge auch für die Effizienzsteigerung und Sicherheitsbewertung chemischer und verfahrenstechnischer Anlagen eingesetzt werden. Die Industrie hat außerdem großes Interesse an verbesserten Gusswerkstoffen und perfekten Einkristallen. Setzt man im Herstellungsprozess von außen angelegte Magnetfelder an, so erhöht dies die Produktqualität entscheidend. Ergebnisse aus der Grundlagenforschung, z. B. zur Beschreibung von Magnetfeldern im Kosmos, fließen hier in die industrielle Anwendung ein.

Die Kernenergienutzung sowie die Nuklearmedizin erfordern für die Zukunft neuartige Methoden für den Umgang mit radioaktivem Abfall. Deshalb arbeiten Rossendorfer Physiker auch an EU-Projekten zur Entwicklung von Methoden zur Transmutation radioaktiver Abfälle mit. Die Radioökologen im FZD untersuchen die vielfältigen Wechselwirkungs- und Ausbreitungsmechanismen der radioaktiven Elemente in der Umwelt, sowohl in Geosystemen wie Böden und Wässern, als auch in Biosystemen wie Pflanzen, Algen und Bakterien. So tragen sie wesentlich zur sicheren Entsorgung von radioaktiven Abfällen und zur Sanierung der Altlasten aus dem Uranerzbergbau bei.

## Environment and Safety

Research at the FZD helps to improve the safety of nuclear reactors. New methods for simulating reactor accidents using thermal hydraulic and reactor physical computation techniques are being developed and experimentally validated. Complex fluid dynamics phenomena, as they occur in nuclear reactors, are often at the center of these experiments. Quite frequently these simulation instruments are also utilized to increase the efficiency and safety of chemical plants. Moreover, the industry has strong interest in improving casting materials and optimizing the growth of single crystals. The quality of these products is improved substantially when magnetic fields are applied externally. Thus, results from fundamental research initially used to describe magnetic fields in the cosmos contribute to industrial applications.

Exploitation of nuclear energy as well as nuclear medicine calls for innovative methods for the future treatment of radioactive waste. For this reason, our scientists are deeply involved in EU-Projects geared towards the transmutation of radioactive waste. The radioecologists at the FZD analyze the manifold interactions and distribution mechanisms of the radioactive elements in the environment - in geological environments such as soil or ground water, as well as in biological systems such as plants, algae, and bacteria. That is how they contribute extensively to secure the disposal of radioactive waste and the clean-up of former waste deposits from the uranium ore mining.

Das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf betreibt derzeit sechs Großgeräte, die auch Kooperationspartnern von Universitäten und Unternehmen der Wirtschaft zur Verfügung stehen und die europaweit teils unikale Untersuchungsmöglichkeiten bieten.

The six large-scale facilities of the FZD are also at the disposal of external users in research and private industry.



**Strahlungsquelle ELBE** mit Neutronen, Positronen, Röntgen- und Gammastrahlung sowie Infrarot- und Terahertz-Strahlung von Freie-Elektronen-Lasern

The **radiation source ELBE** with neutron, positron, x-ray and gamma radiation as well as infrared and THz radiation of free electron lasers

**Ionenstrahlzentrum** – Nanostrukturen in Materie

The **Ion Beam Center** – Nanostructures in matter

**Hochfeld-Magnetlabor Dresden** – Höchste Magnetfelder für die Forschung

**High Magnetic Field Laboratory Dresden** – High magnetic fields of record magnitude for research

**Rossendorf Beamline** an der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle (ESRF) in Grenoble

**Rossendorf's Beamline** at the European Synchrotron Source (ESRF) in Grenoble

**TOPFLOW-Anlage** zur Untersuchung von komplexen Strömungsphänomenen

**TOPFLOW facility** for the analysis of complex fluid dynamics

**PET-Zentrum** – Tumorforschung in Kooperation mit dem Universitätsklinikum Dresden

The **PET Center** – Tumor research in cooperation with the University Hospital Dresden

# Forschung Research

**Struktur der Materie >**  
Structure of Matter

**Forschungsprogramme**  
Research Programs

---

**Struktur der Materie**  
Structure of Matter

---

**Umwelt und Sicherheit**  
Environment and Safety

---

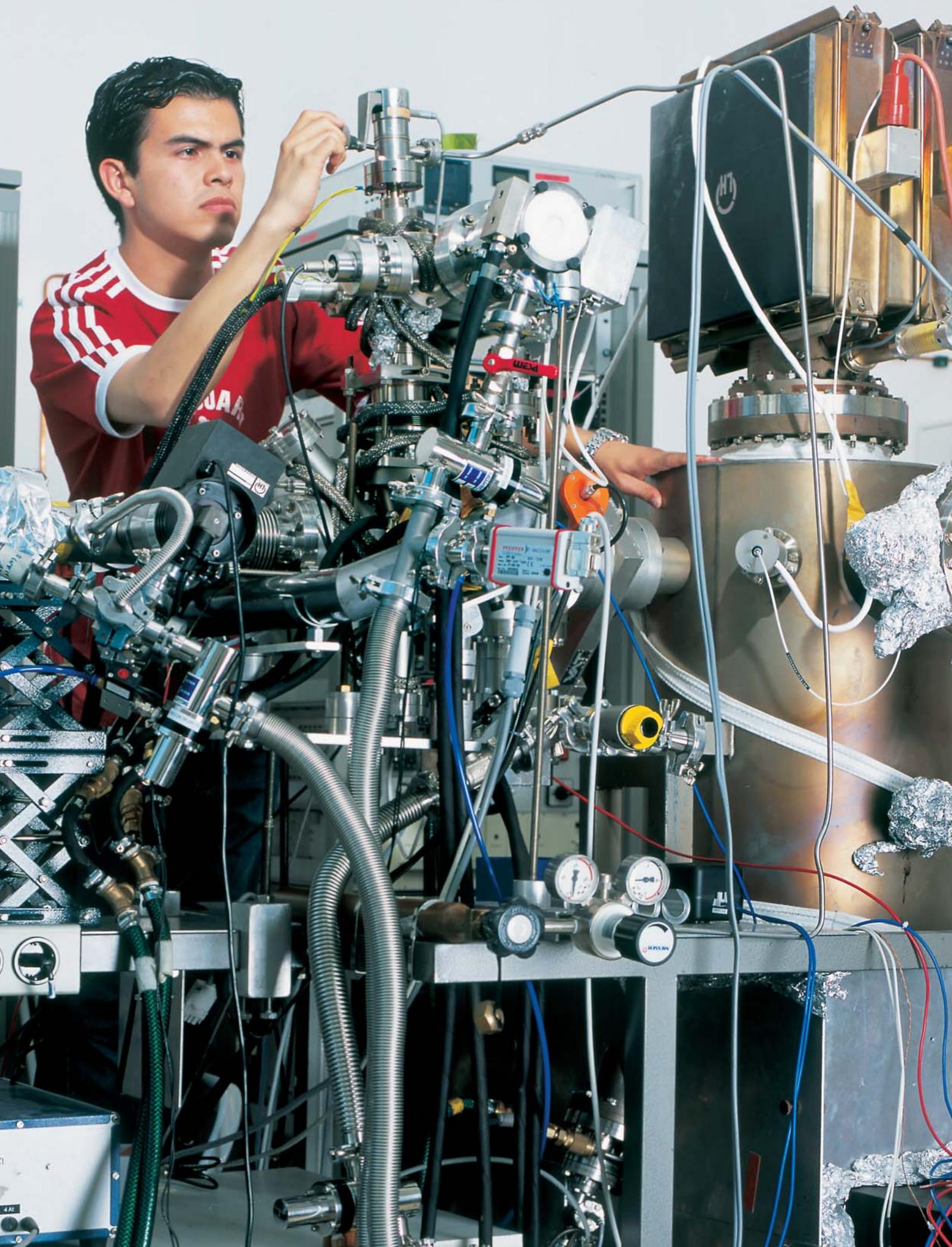
**Lebenswissenschaften**  
Life Sciences

---

**Industriekooperation**  
Cooperation with Industry

---





## Magnetische Eigenschaften nach Wunsch

Jürgen Faßbender, Stefan Facsko, Maciej Oskar Liedke, Adrian Keller

Schon 1959 sagte Richard P. Feynman (Nobelpreisträger Physik, 1965): „There is plenty of room at the bottom“ (Da ist eine Menge Platz nach unten hin), und leitete damit das Zeitalter der Nanotechnologie ein. Der Begriff „Nanos“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet „Zwerg“. Die winzige Länge von 1 Nanometer (nm) entspricht dem Milliardsten Teil eines Meters. Feynman sagte voraus, dass die fortschreitende Miniaturisierung bis auf die atomare Skala die zukünftige Technologie revolutionieren würde.

Ein Beispiel: 1956 wurde das erste magnetische Speichermedium, der IBM Ramac, für einen Computer hergestellt. Auf 50 Scheiben mit einem Durchmesser von 600 mm konnten insgesamt 4.4 MB Daten – das entspricht in etwa der Dateigröße eines Liedes im MPEG-Format – gespeichert werden. Eine heute übliche Festplatte speichert 250 GB auf einer einzigen Scheibe mit 62.5 mm Durchmesser. Die Speicherdichte ist also um den Faktor 250.000.000 gestiegen. Dies wurde möglich, indem die einzelnen magnetischen Bits auf heute nur noch  $50 \times 50 \text{ nm}^2$  schrumpften. Nur durch Nanotechnologie konnte dies erreicht werden.

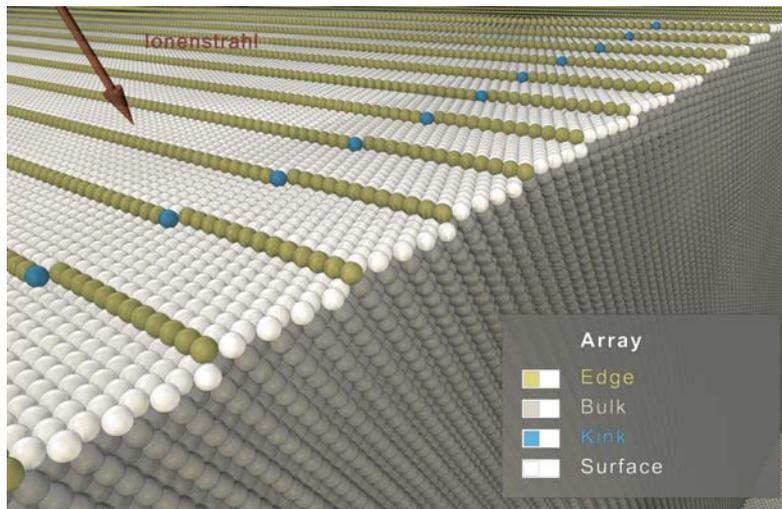
Eine der größten Herausforderungen der heutigen Nanotechnologie ist es, winzig kleine Strukturen ( $\sim 10 \text{ nm}$ ) großflächig – beispielsweise auf einem 450 mm großen Silizium-Wafer (Halbleitersubstrat) – kosteneffizient erzeugen zu können. Die so genannten Bottom-Up-Verfahren, also der Aufbau von Nanostrukturen durch dreidimensionale Anordnung von atomaren Basisstrukturen, sind hierbei den konventionellen Top-Down-Verfahren, die auf Lithographie und Strukturierung von bereits existierenden Schichtstrukturen beruhen, in manchen Bereichen überlegen. Eine am Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung zum Einsatz kommende Bottom-Up-Technik ist die Ionenstrahl-Erosion von Silizium-Oberflächen. Dabei werden Edelgas-Ionen mit einer Geschwindigkeit von 200.000 km/h unter einem schrägen Winkel auf eine Silizium-Oberfläche geschossen. Dadurch werden die Silizium-Atome von der Oberfläche abgetragen. Dies geschieht nun so, dass konkave Stellen der Oberfläche, d. h. Vertiefungen, schneller abgetragen werden als konvexe Stellen, d. h. Erhebungen. Diese lokal

## Magnetic properties on demand

In 1959 Richard P. Feynman (Nobel prize physics, 1965) said: “There is plenty of room at the bottom“. This was the birth of the nanotechnology era. “Nanos” originates from the Greek language and means “dwarf”. The tiny length of 1 nanometer (nm) corresponds to the billionth part of a meter. Feynman predicted that the continuous miniaturization down to the atomic scale will revolutionize the future technology.

For example, the first magnetic storage medium, i. e., the IBM Ramac drive, was produced in 1956. A total storage capacity of 4.4 MB – approximately what you need to store one song in mpeg format – was achieved by use of 50 storage disks with a diameter of 600 mm. Nowadays a hard disk drive exhibits a storage capacity of 250 GB on a single disk with a diameter of 62.5 mm. Thus, the storage density has been increased by a factor of 250.000.000. This could only be achieved by reducing the magnetic bit sizes down to  $50 \times 50 \text{ nm}^2$  by means of nanotechnology.

One of the largest challenges of nanotechnology is to produce tiniest structures ( $\sim 10 \text{ nm}$ ) cost-effectively on large areas – for example, on a 450 mm silicon wafer (semiconductor substrate). The so-called bottom-up techniques, i. e., the built-up of nanostructures by three-dimensional arrangement of atomic units, are in many cases superior to conventional top-down techniques, which rely on lithography and patterning of existing thin film structures. At the Institute of Ion Beam Physics and Materials Research the bottom-up technique of ion beam erosion is used to pattern silicon surfaces. Noble gas ions are accelerated to a speed of 200.000 km/h and hit the surface with an oblique angle of incidence. Thereby, silicon atoms are removed from the surface. Actually, at concave positions of the surface, i. e., depressions, more silicon atoms are removed than at convex positions, i. e., elevations. These locally different sputter removal rates lead to self-organized island and stripe patterns. Their width and mutual distance are in the range of 10 – 50 nm. However, the height of the structures is typically 2 nm. Fig. 1 shows a sketch of the generated pattern, which in this magnification is reminiscent of a staircase.



**Fig. 1:** Gezeigt ist eine Struktur ähnlich einer auf- und absteigenden Treppe. Nach 7 atomaren Abständen findet man eine monoatomare Stufe. Nach ca. 12 aufsteigenden Stufen folgen 12 absteigende Stufen; dann wieder 12 aufsteigende Stufen usw. Farblich markiert sind die Atome, die eine unterschiedliche Anzahl an nächsten Nachbaratomen besitzen: Volumen (12), Oberfläche (9), Kante (7), Knick (6). *Sketch of a staircase type structure. Every 7 atomic distances a monoatomic step is found. 12 increasing steps alternate with 12 decreasing steps. Atoms with a different number of nearest neighbors are colored differently: bulk (12), surface (9), step (7), kink (6).*

unterschiedlichen Abtrag-Raten erzeugen selbstgeordnete Insel- und Streifenstrukturen, deren Breite und Abstand in der Größenordnung von 10 – 50 nm liegen. Die Höhe der entstehenden Strukturen beträgt hingegen nur 2 nm. Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung des entstehenden Musters, das in dieser Vergrößerung an eine Treppe erinnert.

Bei Strukturen im Nanometerbereich treten bekanntermaßen Quanteneffekte auf, d. h. die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Materials unterscheiden sich teils erheblich vom gleichen Material, dessen Oberfläche überhaupt nicht oder weniger fein strukturiert wurde. Die im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung durchgeführten Arbeiten erbrachten nun erstmalig den Nachweis, dass auch Korrelationseffekte bei dem nur wenige Nanometer großen Muster bereits eine bedeutende Rolle spielen. Die Korrelationslänge ist eine vom Material abhängige Kenngröße unterhalb deren sich die Materialeigenschaften nicht ändern können. Nimmt man die magnetische Dünnschichttechnologie als Vergleich, bei der typische Korrelationslängen in der Größenordnung von 100 Nanometer bis 1 Mikrometer liegen – also deutlich oberhalb der erzeugten Treppen-Strukturen –, so können die magnetischen Parameter des Materials immer nur oberhalb dieser Größenskala variiert werden. Das spezifische Treppen-Muster zeichnet sich im Vergleich zu einer „flachen“ Schicht durch eine Vielzahl an Eck-Atomen (s. Fig. 2) und somit, wie erstmalig demonstriert werden konnte, durch neue magnetische Materialparameter aus. Das kann man sich so veranschaulichen: Möchte man zwei verschiedene Farben, z. B. blau und gelb, mit einem Pinsel einer bestimmten Breite auf ein Papier bringen, so muss der Abstand der Pinselstriche mindestens der Pinselbreite entsprechen – ansonsten überlappen die beiden Farben und es entsteht eine neue Farbe, in

It is well known that for structures in the nanometer range quantum effects are important, i. e., the physical and chemical properties of the material differ strongly from those of the same material with either less or no patterning. The results obtained at the Institute of Ion Beam Physics and Materials Research now demonstrate that correlation effects are also very important in order to understand the properties of these nanoscale materials. The correlation length is a material specific parameter which determines the minimum distance required to change a material property. For magnetic thin films correlation lengths are typically between 100 nanometer and 1 micrometer, i. e., well above the typical distances for the pattern structures described above. Hence the magnetic properties cannot change on the length scale of the pattern. However, the staircase type structures exhibit much more edge atoms with respect to the nominally flat film (cf. Fig. 2). These edge atoms dominate the overall magnetic behavior and thus lead to new magnetic material properties. This can be illustrated in a simplified manner as follows: If you want to paint two different colors, for example blue and yellow, with a brush of a certain width on a paper, the distance between the two consecutive strokes has to be at least the width of the brush. Otherwise you end up with a superposition of both colors and a new color is developed, i. e., green. In this simple illustration the width of the brush corresponds to the correlation length. In the magnetic analogon new material properties develop – within the frame of the illustration above “green” material – which can be custom designed by the nanoscale pattern.

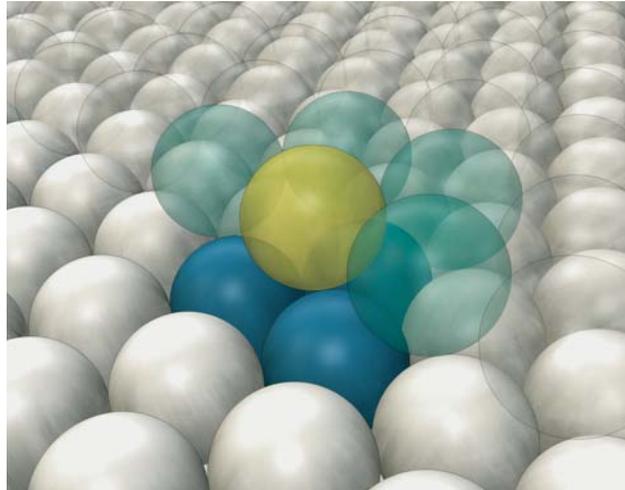
In the following paragraph, we will demonstrate this in the case of an ultrathin permalloy film (a common alloy consisting of 81 atomic-% Ni and 19 atomic-% Fe). The permalloy film is 9 nm thick,

dem Beispiel grün. Die Pinselbreite entspricht in diesem einfachen Beispiel der Korrelationslänge. Bei dem magnetischen Analogon entstehen neue Materialeigenschaften – um im Bild zu bleiben, es entsteht quasi „grünes“ Material –, die gezielt durch das nur wenige Nanometer große Muster beeinflusst werden und somit an die Anforderungen bei verschiedenen Anwendungen angepasst werden können.

Dies soll im Folgenden exemplarisch für den Fall einer ultradünnen Permalloy-Schicht (eine gebräuchliche Legierung, bestehend aus 81 at-% Nickel und 19 at-% Eisen) gezeigt werden. Die Permalloy-Schichtdicke beträgt 9 nm. Das bedeutet, dass etwa 50 atomare Schichten übereinander gestapelt sind. Wird eine derartige Schicht auf einer flachen Silizium-Oberfläche aufgebracht, so besitzt sie eine sehr kleine magnetische Anisotropie. Die magnetische Anisotropie ist eine Vorzugsachse in der Schichtebene, entlang der sich die Magnetisierung ausrichtet. Die Richtung dieser Vorzugsachse wird während des Abscheidungsprozesses mittels eines Magnetfeldes vorgegeben. Für viele Anwendungen ist die Stärke dieser Anisotropie von entscheidender Bedeutung, denn sie ist ein Maß dafür, wie stark die Magnetisierung in der vorgegebenen Richtung festgehalten wird. Dies wird etwa wichtig bei der Entwicklung neuer Festplatten mit höheren Speicherdichten. Die magnetische Anisotropie kann hier eingesetzt werden, um die Stabilität der „Bits“ zu erhöhen. Da es sich jedoch um einen intrinsischen Materialparameter handelt, ist eine Variation nur schwer möglich. Hier kommt die Nanostrukturierung ins Spiel.

Wird die gleiche Permalloy-Schicht nun auf ein zuvor moduliertes Substrat, also auf die Treppen-Struktur, aufgebracht, so erhält man eine „gewellte“ Schicht. Dies ist schön in der Transmissions-Elektronenmikroskopie-Aufnahme (siehe Fig. 3) zu sehen, da sowohl die Oberfläche als auch die Grenzfläche zum Substrat die gleiche Welligkeit besitzen. Eine Aufsicht ist in Fig. 4 gezeigt. Wird kein Magnetfeld angelegt, ist die Magnetisierung parallel zu den Hügeln und Tälern ausgerichtet. Um sie senkrecht dazu auszurichten, ist ein vergleichsweise großes Magnetfeld erforderlich, das die Anisotropiestärke charakterisiert. Der Grund hierfür sind die den Vorgang dominierenden Kanten-Effekte, die durch die hohe Anzahl der an den „Treppenstufen“ befindlichen Eck-Atomen herrühren.

Die Bestimmung der magnetischen Anisotropie erfolgt mit Hilfe des magneto-optischen Kerr-Effektes. Dabei wird ausgenutzt, dass die lineare Polarisationsrichtung des Lichts bei der Reflexion an einem



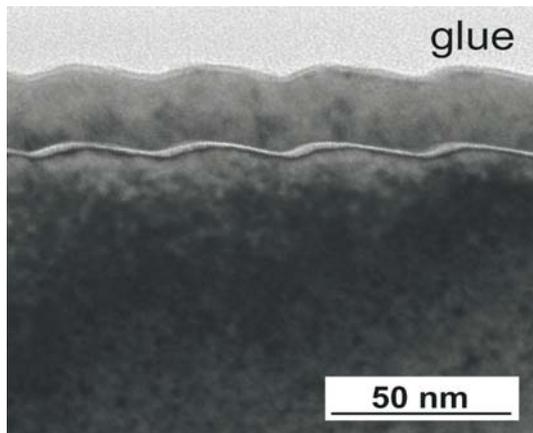
**Fig. 2:** Verdeutlichung der Anzahl der nächsten Nachbarn an einer Stufenkante. Betrachtet man das zentrale (gelbe) Atom, so besitzt es vier nächste Nachbarn (türkis) in der gleichen atomaren Ebene und drei nächste Nachbarn (blau) in der darunter liegenden.

*Illustration of the number of nearest neighbors at a step edge. The central atom (yellow) exhibits 4 nearest neighbors (turquoise) in the same atomic plane and 3 nearest neighbors (blue) one atomic plane below.*

which corresponds to 50 atomic layers stacked on top of each other. If deposited on a flat silicon surface only a very small magnetic anisotropy is established. The magnetic anisotropy is a preferential axis in the film plane along which the magnetization is aligned. The direction of this axis is determined by the applied magnetic field during deposition. For a large variety of applications the magnitude and the direction of this anisotropy is important, for example for the development of hard disk drives with further increased storage capacity. In this case the magnetic anisotropy is used in order to increase the stability of the individual bits. A variation or increase of the magnetic anisotropy is difficult since it is an intrinsic material property. Here nanotechnology helps.

Deposition of a permalloy film on a modulated substrate of staircase type results in an undulated film. This can be seen in the transmission electron microscopy image shown in Fig. 3. Both, the surface as well as the interface to the substrate, exhibits the same undulation. A top-view is shown in Fig. 4. With no magnetic field applied the magnetization is aligned parallel to the hills and valleys. In order to align the magnetization perpendicularly a rather large magnetic field has to be applied, which characterizes the strength of the magnetic anisotropy. The reason for this is the large number of edge atoms located at the steps.

The magnetic anisotropy is determined by means of magneto-optic Kerr effect. The rotation of linearly polarized light (typically a few thousandths of a



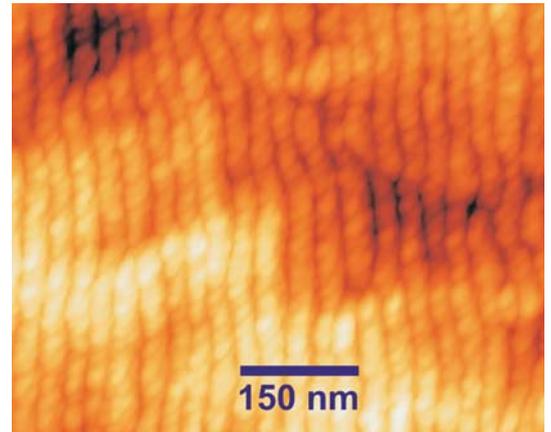
**Fig. 3:** Querschnitts-Transmissions-Elektronenmikroskopie-Aufnahme der Treppen-Struktur. Die untere helle Struktur zeigt die ionenstrahlerodierte, oxidierte Silizium-Oberfläche. Darauf wurde anschließend eine metallische Schicht deponiert, die der vorgegebenen Treppen-Struktur des Substrates komplett folgt.

*Cross-sectional transmission electron microscopy image of a staircase type structure. The original ion eroded, oxidized silicon surface is displayed bright. On top of this surface the metallic film was deposited. The film perfectly reproduces the undulation of the substrate.*

magnetisierten Material gedreht wird (typischerweise wenige tausendstel Grad). Trägt man die Polarisationsdrehung gegen das angelegte Magnetfeld auf, erhält man Hysterese-Kurven, die für das Material charakteristisch sind. Diese Hysterese-Kurven können nun entlang verschiedener Richtungen (parallel oder senkrecht zur Treppen-Richtung) aufgenommen werden (siehe Fig. 5), um so die Anisotropiestärke zu quantifizieren. Vergleicht man diese Hysterese-Kurven für „flache“ und „gewellte“ Permalloy-Schichten, so sieht man, dass das erforderliche Magnetfeld zur Ausrichtung der Magnetisierung im Fall der „gewellten“ Schicht um ca. einen Faktor 20 größer ist als im Fall der „flachen“ Schicht. Dieser Faktor gilt auch für die Anisotropiestärke. Somit konnte erstmalig nachgewiesen werden, dass eine Strukturierung unterhalb der Korrelationslänge entscheidende Konsequenzen auf die integralen magnetischen Materialparameter hat. Weiterführende Untersuchungen der physikalischen Mechanismen dieser neuartigen, maßgeschneiderten Materialien sollen zukünftig im Rahmen einer DFG-Forschergruppe angestellt werden.

**Fig. 5:** Ummagnetisierungskurven für eine „flache“ (rot) und „modulierte“ (blau) Permalloy-Schicht senkrecht zur Stufen-Orientierung. Um die Magnetisierung vollständig auszurichten werden 5 bzw. 95 Oe benötigt. Einschub: Entsprechende Ummagnetisierungskurven parallel zur Stufen-Orientierung.

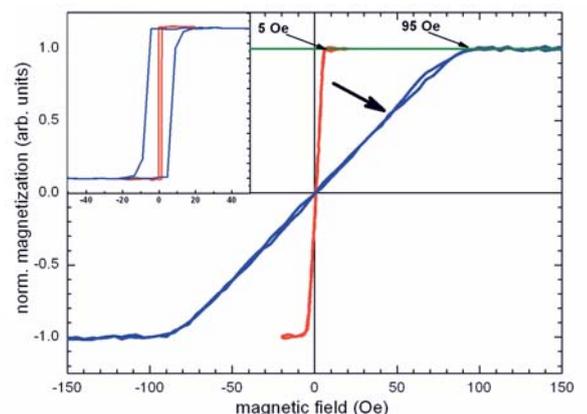
*Hysteresis curves for a "flat" (red) and an "undulated" (blue) permalloy film with the magnetic field applied perpendicular to the step direction. In order to align the magnetization completely either 5 or 95 Oe are required, respectively. Inset: Hysteresis loops for the magnetic field applied parallel to the step direction.*



**Fig. 4:** Mittels Rasterkraftmikroskopie aufgenommene Aufsicht auf die Treppen-Struktur.

*Atomic force microscopy image of the staircase type structure.*

degree) upon reflection at a magnetized surface is used to determine the magnetization as a function of the applied magnetic field, i. e. a hysteresis curve. These hysteresis curves can be measured along different directions (parallel or perpendicular to the step direction) in order to quantify the magnetic anisotropy (cf. Fig. 5). If hysteresis loops for a "flat" and an "undulated" permalloy film are compared, one immediately observes that the magnetic field required to align the magnetization for the undulated permalloy film is about a factor of 20 larger than for a "flat" film. The magnetic anisotropy is also increased by this factor. With these results we have demonstrated for the first time, that a patterning well below the correlation length leads to significantly different integral magnetic material properties. Further investigations of this material class will be performed in the frame of a DFG research group.



## Höchste Magnetfelder

Thomas Herrmannsdörfer, Jochen Wosnitzer

Die Erschließung neuer Parameterbereiche hat in den Naturwissenschaften oft zu spektakulären Entdeckungen geführt. Die Entdeckung der Supraleitung Anfangs des 20. Jahrhunderts wurde beispielsweise durch Temperaturen von nur wenigen Kelvin möglich – ein Temperaturbereich, der damals erstmalig verfügbar war. Die Entdeckung des ganzzahligen und fraktionierten Quanten-Hall-Effektes geht wiederum darauf zurück, dass in europäischen Labors hohe statische Magnetfelder von etwa 30 Tesla und zugleich tiefe Temperaturen unter 0,1 Kelvin nutzbar waren. Mit Spannung wird daher die Erschließung des Magnetfeldbereiches bis 100 Tesla erwartet, zumal eine Vielzahl von materialwissenschaftlichen Fragestellungen bei Hochtemperatursupraleitern, organischen Supraleitern, niederdimensionalen Spinsystemen, nanoskaligen Metallclustern, technisch relevanten magnetischen Halbleitern und vielen anderen Systemen Experimente in hohen Magnetfeldern verlangen. Im Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD) werden die genannten Themen bereits im Rahmen des Forschungsprogramms des FZD und im Rahmen von Kooperationen mit anderen Forschungseinrichtungen bearbeitet. Die herausragenden Ergebnisse im Jahr 2006 konnten wir schließlich in den Materialklassen der Seltenerd-Übergangsmetallverbindungen und der organischen Magnete erzielen.

### Magnetfeld beeinflusst Ladungsträgereigenschaften von Seltenerd-Übergangsmetallverbindung auf ungewöhnliche Weise

In Metallen treten Änderungen der leitungselektronischen Struktur, d. h. der Energie- und Impulsverteilung der Elektronen, nur in Begleitung magnetischer oder struktureller Phasenübergänge auf. Dies gilt seit langem als gefestigtes Lehrbuchwissen und wurde kaum hinterfragt. Bei der halbmolekularen Verbindung CeBiPt aus den Elementen Cer, Bismut und Platin wurde in Dresden jedoch erstmals gezeigt, dass die leitungselektronischen Eigenschaften eines Metalls allein durch das Anlegen eines hohen Magnetfeldes verändert werden können.

Die ersten Experimente, über die teils bereits im Jahresbericht 2005 berichtet wurde, fanden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Seltenerd-Übergangsmetallverbindungen: Struktur, Magnetismus

## Highest magnetic fields

The extension of parameter ranges has often been the key to new discoveries in natural science. As an example, the finding of superconductivity in the early 20<sup>th</sup> century has been possible by reaching temperatures of a few Kelvin - a temperature range which was not accessible until then. The discovery of the integer as well as of the fractional quantum Hall effect is a result of the availability of both high magnetic fields up to about 30 T and low temperatures to below 0.1 K. Nowadays, the access to magnetic fields up to 100 Tesla is expected with bated breath. There are numerous challenges in material science related to high-temperature, organic, and other superconductors, to low-dimensional spin systems, nanoscale metal clusters, magnetic semiconductors, and many other systems which demand experiments in high magnetic fields. These scientific topics are already under investigation at the Dresden High Magnetic Field Laboratory (Hochfeld-Magnetlabor Dresden, HLD). The activities are embedded in the in-house and user research program of the Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, FZD. Among these, we have achieved outstanding results for rare-earth transition-metal compounds and organic magnets in 2006.

### Unusual influence of the magnetic field on the conduction-electron properties of rare-earth transition-metal compounds

In metals, changes of the band structure, i.e., of the energy distribution of charge carriers in momentum space, usually occur in connection with magnetic or structural phase transitions. This was widely accepted as a fact which was never questioned. Investigations of the semimetal CeBiPt which consists of the elements cerium, bismuth, and platinum, however, have demonstrated for the first time that conduction-electron properties of a metal can be influenced by only applying a large magnetic field. First experiments, already reported in the annual report of 2005, have been performed in the pilot facility of the Dresden High Magnetic Field Laboratory at the Leibniz Institute for Solid State and Materials Research, Dresden (IFW). This activity is embedded in the DFG-Sonderforschungsbereich „Seltenerd-Übergangsmetallverbindungen: Struktur, Magnetismus und Transport“. The first experiments have been carried out in fields up to 47 Tesla.

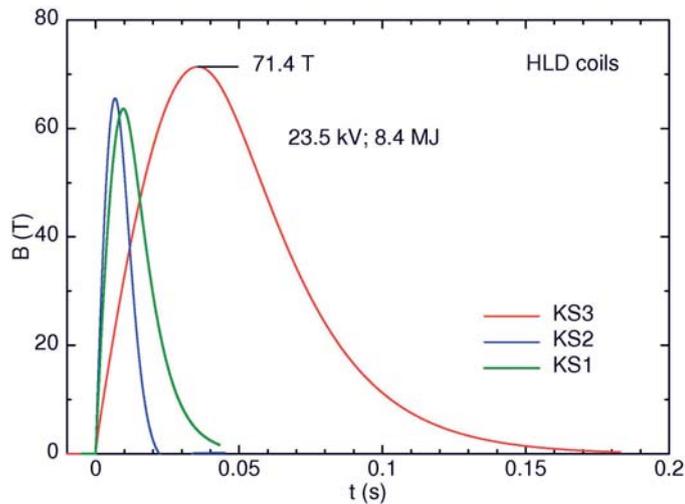
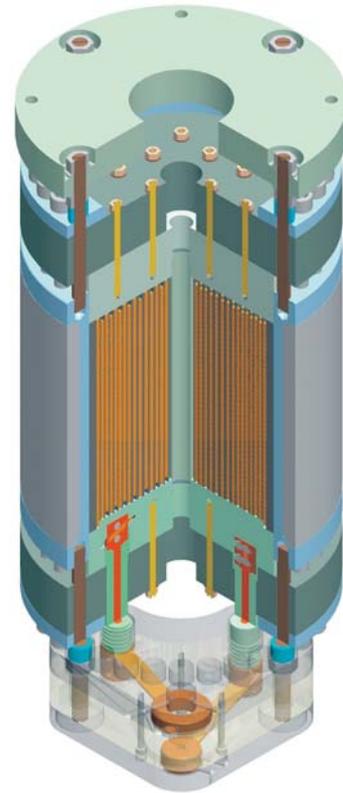


Fig. 1: Magnetpulse verschiedener für den Nutzerbetrieb am HLD entwickelter Magnetfeldspulen und Schnittzeichnung der Kompaktspule der dritten Serie (KS3), mit der Pulse bis über 70 Tesla in einem Probenraumdurchmesser von 24 mm möglich sind.

*Pulse forms of several magnets designed for the user program of the HLD as well as a sectional drawing of a compact coil (Kompaktspule) of the third design series (KS3). KS3 is in use for the generation of magnetic field pulses to above 70 Tesla in a sample-space diameter of 24 mm.*



und Transport“ am Pilotlabor der Dresdner Hochfeldinitiative im Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofforschung (IFW) Dresden in Magnetfeldern bis zu 47 Tesla durchgeführt. Das Spulenentwicklungsprogramm des FZD-Instituts Hochfeld-Magnetlabor Dresden ermöglicht mittlerweile Experimente bis etwa 72 Tesla, einem Wert, der weltweit nur in wenigen Labors erreicht werden kann. Einzigartig ist, dass im HLD diese Feldstärke für eine lange Pulsdauer bereitgestellt wird, die eine entscheidend genauere Messstatistik erlaubt. Zudem steht für Experimente ein außergewöhnlich großer Durchmesser des Probenraumes zur Verfügung (siehe Fig. 1). So konnten nun 2006 weitere Messungen der Quantenoszillationen des elektrischen Widerstandes (Shubnikov-de Haas-Effekt) von CeBiPt unter verbesserten Bedingungen durchgeführt werden. Neben komplett neu entwickelten Versuchsaufbauten der Magnetumgebung (siehe Fig. 2) und der Experimenteinsätze wurde dabei am HLD eine zweite Referenzprobe untersucht. Auch in diesem völlig unabhängigen Experiment zeigte sich eine deutliche Änderung der leitungselektronischen Struktur von CeBiPt. Dies äußert sich darin, dass die Quantenoszillationen, also die Oszillationen des elektrischen Widerstandes als Funktion des Magnetfeldes, oberhalb von 40 Tesla ausbleiben. Bei den Experimenten, die im Jahr 2006 am HLD im erweiterten Feldbereich durchgeführt wurden, konnte vor allem gezeigt werden, dass bis 70 Tesla keine neuen

Thanks to the status of the coil-design program of the Dresden High Magnetic Field Laboratory, experiments to about 72 Tesla have already been made possible at the HLD in 2006. Pulsed fields of this size are disposable in only a few labs worldwide. Uniquely, at the HLD this high magnetic field is provided for long pulse durations which permits more precise measuring statistics and allows an outstandingly large sample-space diameter (see Fig. 1) for experiments. Consequently, further electrical resistance measurements of the quantum oscillations as a function of the applied magnetic field (Shubnikov-de Haas effect) of CeBiPt have been performed in 2006 under upgraded conditions. For that purpose, the newly developed pulsed magnets and technical installations (see Fig. 2) as well as the customized experimental insets have been used. In addition, a new sample was prepared for the measurements. As mentioned before, the data demonstrated a clear field-induced change of the electronic band structure. This was clearly observed in the disappearance of the quantum oscillations at fields above 40 Tesla. In particular, the new experiments performed at the HLD have demonstrated that up to 70 Tesla no new quantum oscillations emerge. This observation allows for a deeper insight into the exotic properties of the metal CeBiPt. The change of the charge-carrier density induced by the magnetic field is understood as an effect both arising from the low number of charge carriers and from the



**Fig. 2:** Kompaktpule der dritten Serie (KS3) für Magnetfeld-pulse bis über 70 Tesla in einer der fünf Pulsfeldkammern des Hochfeld-Magnetlabors Dresden.

*Compact coil KS3 for the generation of magnetic field pulses to above 70 Tesla installed in one of the five magnet cells of the Hochfeld-Magnetlabor Dresden, HLD.*

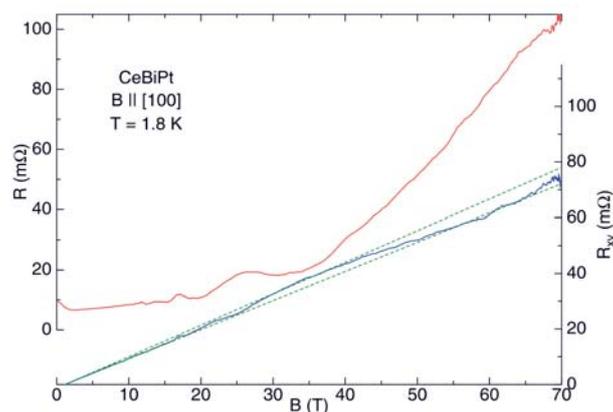
Quantenoszillationen auftreten. Diese Beobachtung unterstützt das genauere Verständnis des Metalls CeBiPt, wonach die magnetfeldinduzierte Änderung der Ladungsträgerdichte in CeBiPt sowohl auf die niedrige Leitungselektronendichte als auch auf die speziellen Eigenschaften der Bandstruktur der von den Cer-Atomen beigesteuerten 4f-Elektronen zurückzuführen ist. Dass die 4f-Elektronen von Cer eine wesentliche Rolle spielen, wurde ganz anschaulich durch Untersuchungen an der Vergleichssubstanz LaBiPt (Lanthan besitzt keine 4f-Elektronen) demonstriert. In LaBiPt existieren gewöhnliche leitungselektronische Eigenschaften. Dort wurde im gesamten untersuchten Magnetfeldbereich kein Abbruch der Quantenoszillationen beobachtet. Ein Hinweis für eine vom Magnetfeld hervorgerufene Änderung der Elektronenkonzentration in CeBiPt gelang ebenfalls. Es konnte beobachtet werden, dass die Hall-Spannung und der Hall-Widerstand ( $\rho_{xy}$  in Fig. 3), die als Messgrößen direkt über die Dichte der frei beweglichen Ladungsträger Auskunft geben, ihre Steigung als Funktionen des Magnetfeldes oberhalb von 40 Tesla ändern (siehe Fig. 3).

special properties of the electronic structure influenced by the 4f electrons of the cerium atoms. The fact that the 4f electrons of cerium play an essential role became quite clear by comparative investigations of the reference compound LaBiPt (La has no 4f electrons). For this material no vanishing of the quantum oscillations was observed in the whole magnetic-field range examined. For CeBiPt further evidence for a field-induced change of the charge-carrier density was found; it was observed that the slope of the Hall voltage and the Hall resistance ( $\rho_{xy}$  in Fig. 3) which are direct measures of the charge-carrier density changes above 40 Tesla (see Fig. 3).

These findings [1, 2], presented e.g. on international conferences, were recognized with strong interest. As a result, several external research teams have already applied for magnet time at the HLD. Thus, triggered by these experiments in 2006, first steps towards a user facility have been taken.

Diese Ergebnisse [1, 2] wurden bereits auf internationalen Konferenzen vorgestellt und dort mit großem Interesse wahrgenommen. In Folge haben bereits einige externe Arbeitsgruppen Messanträge am HLD gestellt, um die einzigartigen Messbedingungen nutzen zu können. Die ersten Schritte zum Nutzerlabor wurden so mit diesen Experimenten im Jahr 2006 getan.

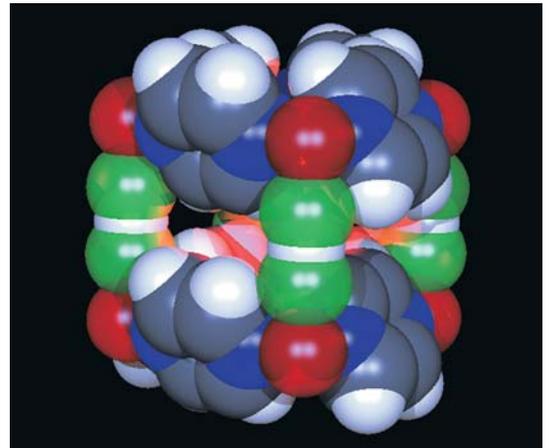
**Fig. 3:** Magnetfeldabhängigkeit des Widerstandes (rote Linie) und des Hall-Widerstandes (blaue Linie) des Metalls CeBiPt. Die blaue Linie zeigt die Änderung der Ladungsträgerdichte an.  
*Electrical resistance (red curve) and Hall-resistance (blue curve) of the metal CeBiPt. The blue line indicates a change of the charge-carrier density.*



### Dreidimensionales Polymer mit ungewöhnlichem Magnetismus

Während des Jahres 2006 gelang im Rahmen eines weiteren Kooperationsprojektes des HLD mit Arbeitsgruppen aus Cheney (Washington, USA), Argonne (Illinois, USA), Oxford (UK), Chilton (UK) und Raleigh (North Carolina, USA) der Nachweis eines ungewöhnlichen magnetischen Phasenüberganges in einer dreidimensionalen organischen Verbindung. In dem neuartigen Polymer aus  $[\text{Cu}(\text{HF}_2)(\text{pyrazin})_2]\text{BF}_4$ -Gruppen (siehe Fig. 4), das vornehmlich aus Wasserstoff, Fluor, Kohlenstoff und Kupfer aufgebaut ist, wurde erstmals eine antiferromagnetische Anordnung von atomaren magnetischen Momenten beobachtet. Die magnetischen Spin-Beiträge stammen von den im Polymer eingebetteten Kupferionen, die z. B. in metallischem (unmagnetischem) Kupfer nicht ausgebildet werden. Das überaus stabile dreidimensionale Polymer wurde von Chemikern um Jamie Manson an der Eastern Washington University hergestellt und anschließend von Physikerteams in Großbritannien und im HLD untersucht.

Mittels Messung der statischen Magnetisierung, der Wärmekapazität, der Myonen-Spin-Resonanz und zuletzt auch der differentiellen Wechselfeldsuszeptibilität konnte nachgewiesen werden, dass der antiferromagnetische Zustand unterhalb von 1,54 Kelvin, also 1,54 Grad über dem absoluten Nullpunkt von  $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$ , eintritt [3]. Diese antiferromagnetische Ordnung ist besonders interessant, da das Polymer sich durch eine neuartige und ungewöhnliche Struktur auszeichnet, in der die Kupferionen nahezu kubische Gitterplätze belegen, d. h. auf einfache Weise im Raum angeordnet sind, obwohl sie gleichzeitig mit organischen Pyrazin-Molekülen Ebenen bilden, die wiederum über Brücken aus Wasserstoff und Fluor miteinander verbunden sind. Der einfachen räumlichen Anordnung der Kupferionen steht folglich eine komplexere chemische Umgebung und damit eine interessante elektronische Struktur gegenüber, die beste Voraussetzungen für konkurrierende Elektronenaustauschwechselwirkungen liefert und somit ein reichhaltiges Magnetfeld-Temperatur-Phasendiagramm ermöglichen kann. Zum besseren Verständnis der mikroskopischen Wechselwirkungen zwischen den magnetischen Momenten untereinander und zur Klärung, inwieweit die Kopplung zwischen Kupferionen und organischen Einheiten daran beteiligt ist, werden nun weitere Messungen am HLD durchgeführt. Zur Bestimmung des magnetischen Phasendiagramms werden vor allem Experimente bei höheren Magnetfeldern und tieferen Temperaturen anvisiert.



**Fig. 4:** Kubisches Polymer  $[\text{Cu}(\text{HF}_2)(\text{pyrazin})_2]\text{BF}_4$  (hergestellt von Jamie Manson).

Rot: Kupferionen, grün: Bifluoridionen, blau: Pyrazineinheiten.

*The cubic polymer  $[\text{Cu}(\text{HF}_2)(\text{pyrazine})_2]\text{BF}_4$  which has been synthesized by Jamie Manson.*

*Red: copper ions, green: bifluoride ions, blue: pyrazine units.*

### Three-dimensional polymer with unusual magnetic properties

During 2006, another cooperation of the HLD with teams from Cheney (Washington, USA), Argonne (Illinois, USA), Oxford (UK), Chilton (UK), and Raleigh (North Carolina, USA) succeeded in observing an unusual magnetic phase transition in a three dimensional organic compound. In this new polymer consisting of  $[\text{Cu}(\text{HF}_2)(\text{pyrazine})_2]\text{BF}_4$  units (see Fig. 4) mainly containing hydrogen, fluorine, carbon, and copper, an antiferromagnetic arrangement of atomic magnetic moments has been deduced. The source of this magnetism is the spin of the copper ions embedded inside the polymer. This contrasts nonmagnetic metallic copper. The three-dimensional polymer, which is highly stable, was synthesized by Jamie Manson at the Eastern Washington University in Cheney and investigated by physicists in UK and at the HLD. By means of static magnetization, heat capacity, muon-spin rotation, and recently by differential ac-susceptibility measurements the antiferromagnetic ground state was demonstrated to occur below 1.54 K [3]. The antiferromagnetic order is exceptional, as the copper ions occupy sites on an almost cubic lattice. In spite of the complicated molecular structure, the copper ions are arranged in this simple geometrical fashion. The copper ions and the pyrazine molecules build layers which are connected by hydrogen and fluorine bridges. As a consequence, the simple copper-ion lattice is embedded in a complex molecular structure which gives rise to competing electronic exchange interactions. Further investigations are in progress at the HLD to understand the microscopic interactions

Im kommenden Jahr sollen weitere Polymer-Proben im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf untersucht werden, um den für diese Klasse der Polymere neu entdeckten Magnetismus besser verstehen zu können. Dies wäre ein wichtiger Schritt, um in Zukunft organische Materialien mit maßgeschneiderten magnetischen Eigenschaften herstellen zu können. Mit Eisen und anderen ferromagnetischen Materialien lassen sich Magnete bauen, mit Polymeren ist dies nach derzeitigem Wissenstand nicht möglich. Es bleibt aber die visionäre Hoffnung, bei neuartigen Polymerverbindungen auch auf ferromagnetische Eigenschaften zu stoßen, die schließlich die Herstellung innovativer Magnete erlauben würden.

between the magnetic moments and the coupling between copper ions and organic units. In particular, experiments at high magnetic fields and low temperatures are targeted in order to determine the magnetic phase diagram.

Additional polymeric samples from Jamie Manson's laboratory are planned to be studied at the Forschungszentrum Dresden-Rossendorf in order to examine the newly discovered magnetism for this class of polymers. This would be a significant step to synthesize organic materials with tailored magnetic properties. Permanent magnets can be produced from iron and other ferromagnetic materials, however, from polymers this is, according to the current knowledge, not possible. The great vision to realize ferromagnetic properties for novel polymeric compounds that eventually would permit the development of innovative magnets, however, remains.

**Am ersten Vorhaben [1, 2] waren außer dem HLD folgende Institute beteiligt**

Project partners of the HLD involved in the first project [1, 2]

- <sup>1</sup>Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden, Germany  
<sup>2</sup>Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Dresden, Germany  
<sup>3</sup>Physikalisches Institut, Universität Karlsruhe, Germany  
<sup>4</sup>Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Festkörperphysik, Germany  
<sup>5</sup>Institut für Mathematische Physik, Technische Universität Braunschweig, Germany  
<sup>6</sup>Department of Quantum Matter, ADSM, Hiroshima University, Japan  
<sup>7</sup>Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe, Dresden, Germany

**Am zweiten Vorhaben [3] waren außer dem HLD folgende Institute beteiligt**

Project partners of the HLD involved in the second project [3]

- <sup>1</sup>Department of Chemistry and Biochemistry, Eastern Washington University, Cheney, USA  
<sup>2</sup>Materials Science Division, Argonne National Laboratory, Argonne, USA  
<sup>3</sup>Clarendon Laboratory, Physics Department, Oxford University, UK  
<sup>4</sup>ISIS Facility, Rutherford-Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, UK  
<sup>5</sup>Department of Chemistry, North Carolina State University, Raleigh, USA

[1] "Magnetic-Field-Induced Band-Structure Change in CeBiPt",

<sup>1</sup>N. Kozlova, <sup>2</sup>J. Hagel, <sup>2</sup>M. Doerr, J. Wosnitza, <sup>1</sup>D. Eckert, <sup>1</sup>K.-H. Müller, <sup>1</sup>L. Schultz, <sup>1</sup>I. Opahle, <sup>1</sup>S. Elgazzar, <sup>1</sup>M. Richter, <sup>3</sup>G. Goll, <sup>3,4</sup>H. v. Löhneysen, <sup>5</sup>G. Zwicknagl, <sup>6</sup>T. Yoshino, and <sup>6</sup>T. Takabatake, Physical Review Letters **95**, 086403 (2005).

[2] "Magnetic-field- and temperature-dependent Fermi surface of CeBiPt",

J. Wosnitza, <sup>3</sup>G. Goll, A. D. Bianchi, B. Bergk, <sup>1</sup>N. Kozlova, <sup>1</sup>I. Opahle, <sup>1</sup>S. Elgazzar, <sup>1</sup>Manuel Richter, <sup>7</sup>O. Stockert, <sup>3,4</sup>H. v. Löhneysen, <sup>6</sup>T. Yoshino, and <sup>6</sup>T. Takabatake, New Journal of Physics **8**, 174 (2006).

[3] "[Cu(HF<sub>2</sub>)(pyz)<sub>2</sub>]BF<sub>4</sub> (pyz = pyrazine): Long-Range Magnetic Ordering in a Pseudo-Cubic Coordination Polymer Comprised of Bridging HF<sub>2</sub><sup>-</sup> and Pyrazine Ligands",

<sup>1</sup>J. L. Manson, <sup>1</sup>M. M. Conner, <sup>2</sup>J. A. Schlueter, <sup>3</sup>T. Lancaster, <sup>3</sup>S. J. Blundell, <sup>3</sup>M. L. Brooks, <sup>4</sup>F. L. Pratt, T. Papageorgiou, A. D. Bianchi, J. Wosnitza, <sup>5</sup>M.-H. Whangbo, Chemical Communications, 4894 (2006).

## Bakterien als Vorbild

Johannes Raff, Mohamed Merroun, Katrin Pollmann, Sonja Selenska-Pobell (Institut für die Radiochemie)  
Karim Fahmy, Olesya Savchuk (Institut für Strahlenphysik)

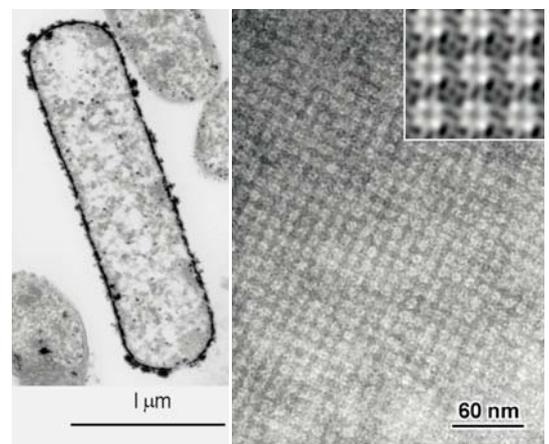
Bakterien bestehen zwar nur aus einer einzigen Zelle, bilden aber, abgesehen von ihrer einfachen Organisation und ihrer geringen Größe, eine ungewöhnlich heterogene und hoch effiziente Gruppe von Lebewesen. Einige Bakterien sind in der Lage, an sehr unfreundlichen und wenig einladenden Orten unseres Planeten zu überleben: sie finden sich in heißen Quellen, extrem basischen oder sauren Wässern, im Schlamm von Sümpfen oder sogar auf dem Grunde der Ozeane zurecht. Zur Gewinnung von Energie können Bakterien verschiedene Quellen nutzen, wie organische und anorganische Verbindungen oder sogar das Sonnenlicht. Neben ihren ungewöhnlichen biochemischen Eigenschaften sind Bakterien auch in der Lage, faszinierende nano-skalierte Strukturen zu bilden, wie zum Beispiel molekulare Motoren, ferromagnetische Eisenoxidpartikel, die sie zur Orientierung im Erdmagnetfeld nutzen, oder hoch geordnete parakristalline Hüllstrukturen, so genannte S-Layer. Obwohl letztere bereits im Jahre 1953 entdeckt und hinsichtlich ihrer Struktur, Biochemie und Genetik ausführlich untersucht wurden, ist die Funktion der S-Layer vieler Bakterien noch völlig unbekannt. Bei einigen pathogenen Bakterien fungieren S-Layer als eine Art Tarnkappe, um von dem Immunsystem ihres Wirts nicht erkannt zu werden. Andere Bakterien schützen sich mittels S-Layer gegen einen räuberisch lebenden Verwandten, das Bakterium *Bdellovibrio bacteriovorus*. Außerdem können sie als „Befestigungsmatrix“ für sekretierte Enzyme dienen und sind nicht zuletzt im Falle der Archaeen wichtig für deren Formhaltung. Trotz vieler Rätsel hinsichtlich der Funktion dieser Proteine belegt ihre weite Verbreitung sowohl im Reich der Bakterien als auch im Reich der Archaeen ihre fundamentale Bedeutung für das mikrobielle Leben.

**Fig. 1:** TEM-Bild der S-Layer von *Bacillus sphaericus* JG-A12. Das Inlet zeigt eine korrelationsgemittelte Rekonstruktion des Proteingitters.

TEM micrograph of the S-layer from *Bacillus sphaericus* JG-A12. The insert show a correlation averaged reconstruction of the lattice structure.

## Learning from bacteria

Bacteria consist of only one single cell, but apart from their simple organization and their small size they form an unbelievable complex and biochemically highly efficient group of creatures. Some bacteria are able to thrive at the most forbidding, uninviting places on earth: they live in hot springs, in extremely alkaline or acid waters, in muds of marshes or even at the bottom of the ocean. For the production of energy they can use different kinds of organic and inorganic matter or even sun light. In addition to their biochemical diversity, bacteria are also able to produce exciting nano-sized structures such as molecular motors, iron oxide particles for the orientation in the terrestrial magnetic field, or highly ordered multifunctional surface structures, so called surface layers (S-layers). Although the S-layers were already found in 1953 and a lot of research on structure, biochemistry and genetics has been conducted, the function of S-layer proteins for most bacteria is completely unknown. It has been proven that they function as a protection shield against the immune system of hosts in the case of pathogens or against raptorial bacteria like *Bdellovibrio bacteriovorus*. Additionally, they function as an immobilization matrix for exoenzymes and support the cell shape of archaea. The fundamental relevance of S-layers for the survival of many microorganisms is evidenced by their widespread occurrence in many kinds of bacteria and archaea.



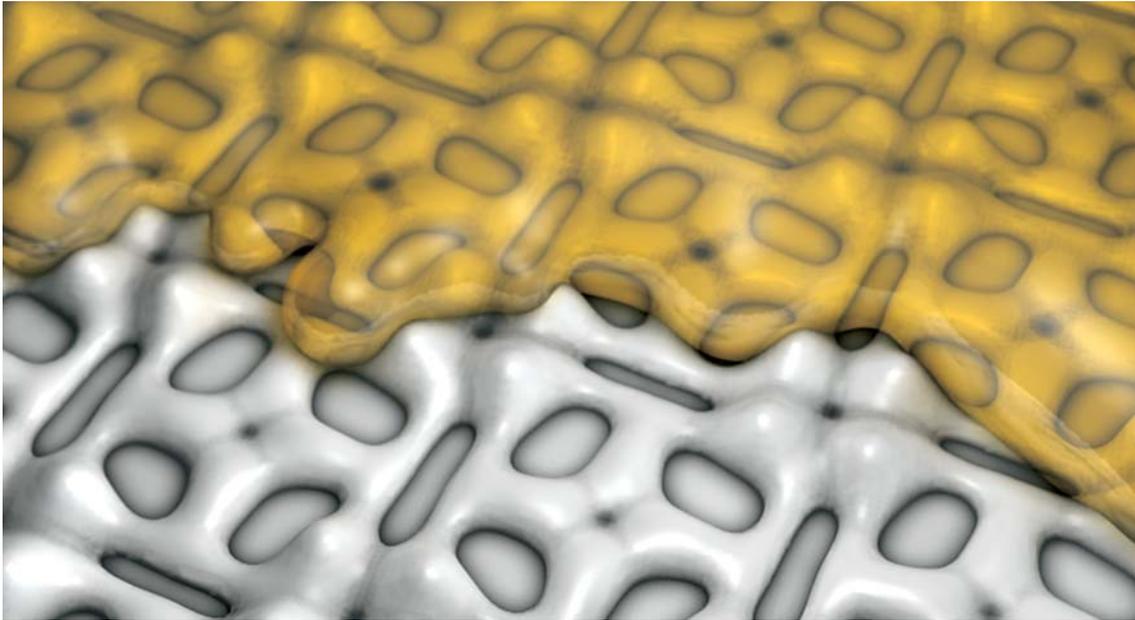


Fig. 2: 3D-Schema zur Benetzung eines S-Layers mit Metallsalzlösung

*Scheme of covering an S-layer with a metal salt solution*

Es gibt außerdem Hinweise, dass S-Layer eine wichtige Rolle bei der Bindung von Metallen spielen. So sind sie an der Biomineralisation beteiligt und schützen Zellen vor Metallausfällungen in der Zellwand. Gerade ihre Fähigkeit, verschiedenste Metalle zu binden, macht S-Layer besonders interessant für technische Anwendungen. Im Rahmen radioökologischer Arbeiten zur Wechselwirkung von Actiniden mit Bakterien wurde sogar ein neues S-Layer-Protein entdeckt, das dem Isolat *Bacillus sphaericus* JG-A12 ein Überleben in seinem ursprünglichen Habitat, einer Uranabfallhalde, erlaubt. Neben Uran bindet dieses S-Layer-Protein auch einige Edelmetalle in den Poren des hoch geordneten Proteingitters. Aufgrund dieser Eigenschaft und seiner Fähigkeit, sich an Oberflächen und Grenzflächen spontan zu monolagigen Proteingittern zusammenzulagern, ist dieses S-Layer-Protein besonders geeignet für die Entwicklung neuartiger Nanomaterialien.

Wissenschaftler des Instituts für Radiochemie und des Instituts für Strahlenphysik haben die molekularen Mechanismen der Palladiumbindung mittels verschiedener spektroskopischer Techniken wie Infrarot- und Röntgenabsorptionsspektroskopie in Kombination mit klassischen biochemischen Analysen intensiv erforscht. Dabei konnte gezeigt werden, dass zweihundert bis dreihundert Palladium-Komplexe pro Proteinmonomer gebunden werden und so eine metallisierte und strukturell stabilisierte Proteinmatrix entsteht. Als funktionelle Einheit sind Carboxyl- und Stickstoff-tragende Aminosäuren an der Bindung beteiligt. Die Zugabe reduzierender

There are several indications that S-layers play an important role in the binding of metals, as they are involved in biomineralization and protect bacteria against the precipitation of metals inside the cell wall. The metal-binding properties have been the focus of recent interest in S-layers as potential biomaterials for technological applications. During the radio-ecological research on the interaction of actinides with bacteria, a new S-layer protein was discovered a few years ago and isolated from the *Bacillus sphaericus* strain JG-A12 which lives in a uranium mining waste pile. In addition to uranium, these S-layers also bind noble metals to their highly ordered protein lattice which assembles spontaneously on surfaces and at interfaces. This renders S-layers especially interesting for the development of new nanomaterials.

Therefore, scientists of the Institute of Radiochemistry and the Institute of Radiation Physics at the Forschungszentrum Dresden-Rossendorf investigated in depth about molecular mechanisms of the binding of palladium by using different spectroscopic techniques such as infrared and X-ray absorption spectroscopy combined with classical biochemical analysis. It has been demonstrated that 200 to 300 palladium complexes were bound per protein monomer resulting in a metallized and structurally highly stable protein matrix. The chemical groups of the protein involved in metal-binding were identified as carboxyl and nitrogen-bearing amino acids. The addition of reducing agents to this matrix allowed the production of regularly distributed metal clusters

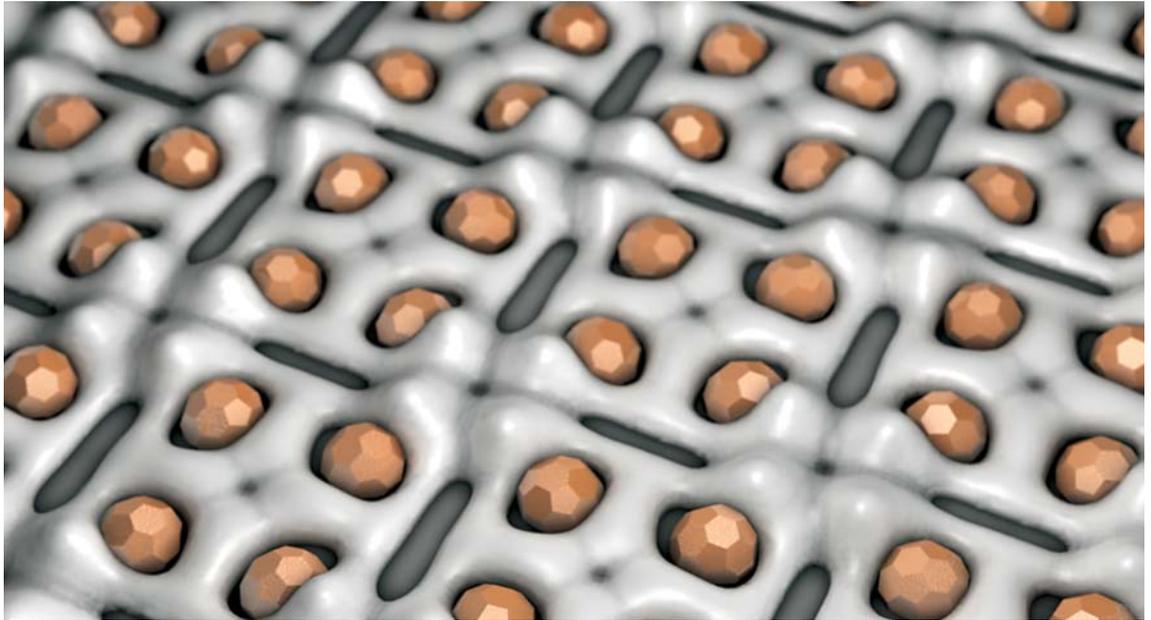


Fig. 3: 3D-Schema von Metallclustern auf einem S-Layer

*Scheme of metal nanoclusters bound to the S-layer lattice*

Agencien erlaubt dann die Herstellung regelmäßig angeordneter Metallcluster mit einer definierten Größe von nur wenigen Nanometern. Derartige nano-skalige Materialien unterscheiden sich in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften von dem entsprechenden makroskopischen Material und erlauben neben einer hoch interessanten Grundlagenforschung auch die Entwicklung neuartiger Materialien für technische Anwendungen.

Die Aufklärung der molekularen Mechanismen der Metall-Protein-Wechselwirkung im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf bildet nun die Basis, die S-Layer-Proteine gezielt genetisch oder chemisch zu modifizieren und damit maßgeschneiderte Matrizes für eine Vielzahl von Anwendungen herzustellen. Dies kann von der Nutzung in Biosensoren bis hin zur Anwendung in der chemischen Katalyse reichen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaftlern verschiedenster Fachrichtungen gestattet dem FZD zukünftig auch die Synthese weiterer Metallcluster aus anderen Metallen als Palladium und durch deren Kombination mit biofunktionalen Molekülen die Entwicklung neuer S-Layer-basierter Nanomaterialien.

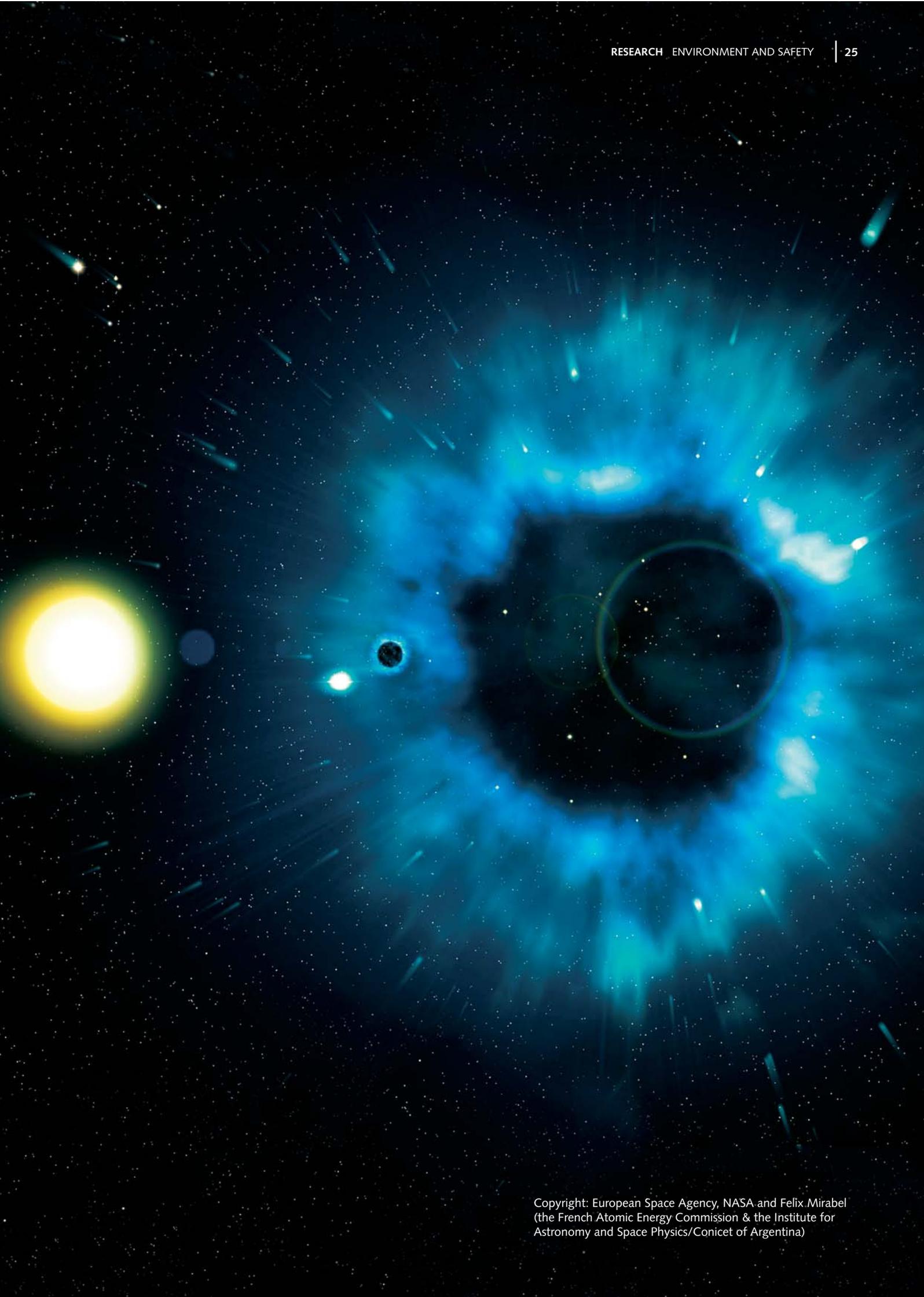
with a defined size of only a few nanometers. Such nano-sized materials differ in their physical and chemical properties from the corresponding bulk material and are thus extremely interesting for basic research as well as for technical applications.

The newly acquired knowledge on the metal protein interaction will enable scientists of the FZD to genetically or chemically modify S-Layer proteins in order to tailor their metal-binding properties to suit a variety of biotechnological applications ranging from biosensing to catalysis. The continuation of these interdisciplinary studies covering genetics, biophysics, and material science at the FZD will allow the production of metal clusters with elements other than palladium and will lead to new nanomaterials based on S-layer proteins.

# Forschung Research

**Umwelt und Sicherheit >**  
Environment and Safety





## Wie schwarze Löcher ihren Hunger stillen

Frank Stefani, Thomas Gundrum, Gunter Gerbeth

Wer kennt es nicht, das Bild vom gefräßigen schwarzen Loch, das alles um sich herum verschlingt und nichts entkommen lässt, nicht einmal Licht. Bei genauerem Hinsehen merkt man allerdings, dass es gar nicht so einfach ist, ein schwarzes Loch zu füttern. Typischerweise hat sich die Materie in der Umgebung von schwarzen Löchern in Form sogenannter Akkretionsscheiben organisiert, deren Rotation dem 3. Keplerschen Gesetz folgt. Das bedeutet, dass der Drehimpuls mit der Wurzel des Radius nach außen hin anwächst. Und damit beginnen die Probleme: Bevor Gas in das schwarze Loch stürzen kann, muss es zunächst diesen Drehimpuls loswerden. Nun kann - im Prinzip jedenfalls - Drehimpuls durch Reibung an das weiter außen liegende Scheibenmaterial abgegeben werden; nur ist die molekulare Viskosität erwiesenermaßen viel zu klein, um die Akkretionsraten schwarzer Löcher zu erklären. Eher schon könnten turbulente Strömungen für den erforderlichen Drehimpulstransport sorgen. Dem jedoch steht ein bekanntes Theorem der Hydrodynamik entgegen, wonach rotierende Strömungen mit nach außen wachsendem Drehimpuls stabil sind. Also: keine hydrodynamische Instabilität, keine Turbulenz, kein Drehimpulstransport, keine Akkretion? Da sich dieses Problem nicht nur bei schwarzen Löchern, sondern auch bei der Entstehung ganz normaler Sterne stellt, ist es tatsächlich von fundamentaler Bedeutung für die kosmische Strukturbildung.

Es klingt zunächst überraschend, dass die Lösung dieses Problems mit der Wirkung von Magnetfeldern zusammenhängen soll. Dabei hätte man es frühzeitig ahnen können: schon 1959 hatte Velikhov theoretisch gezeigt, dass eine hydrodynamisch stabile Taylor-Couette Strömung zwischen zwei coaxialen rotierenden Zylindern durch ein angelegtes axiales Magnetfeld destabilisiert werden kann. Die Bedeutung dieser „Magneto-Rotations-Instabilität“ (MRI) für den Drehimpulstransport in Akkretionsscheiben und damit für die Bildung von Sternen und schwarzen Löchern wurde aber erst 1991 von Balbus und Hawley erkannt. Dadurch wurde eine Lawine von Arbeiten ausgelöst, die sich mit den astrophysikalischen Konsequenzen der MRI befassen.

## How to feed a black hole

Everybody remembers the picture of the hungry black hole swallowing all matter in its vicinity. Not even light has a chance to escape. However, closer inspection reveals that feeding a black hole is far from trivial. Typically, the matter around black holes has organized itself into so-called accretion disks. As the rotation in such disks is governed by Kepler's third law, the angular momentum increases outwardly with the square root of the radius. Here is the problem: Before being swallowed by the black hole, the gas in the disk has to get rid of its angular momentum. In principle, angular momentum can be transported outwardly by friction. It has been shown, however, that the molecular viscosity of accretion disks is much too small to explain the accretion rates of black holes. Turbulent flows could do the job well. Unfortunately, the onset of turbulence is forbidden by a well-known theorem of hydrodynamics stating that rotating flows with radially increasing angular momentum are stable. No hydrodynamic instability, no turbulence, no angular momentum transport, no accretion? Since this problem does not only apply to black holes, but to ordinary stars, it is of fundamental importance for the formation of cosmic structures.

It might seem surprising that the solution of this puzzle has to do with the action of magnetic fields. The idea goes back to 1959 when Velikhov had shown that a hydrodynamically stable Taylor-Couette flow between co-rotating cylinders can be destabilized by an applied axial magnetic field. Yet, it was left to Balbus and Hawley to point out the importance of this „magnetorotational instability“ (MRI) for the angular momentum transport in accretion disks and hence for the formation of stars and black holes. This took place in 1991, and ever since, there has been a growing avalanche of papers dealing with the astrophysical implications of MRI.

For approximately five years, teams throughout the world have tried to create and investigate this instability in the laboratory. Unfortunately, MRI experiments in their classical Velikhov-Balbus-Hawley version require enormous efforts. The deeper reason for this is that the azimuthal field, which is necessary to enable MRI, must be produced from the applied axial field by the rotation of the flow. This is only

Seit etwa fünf Jahren gibt es weltweite Bestrebungen, diese für die Astrophysik so bedeutsame Instabilität im Laborexperiment zu demonstrieren und zu untersuchen. Leider zeigen schon einfache Abschätzungen, dass Experimente zur MRI in ihrer klassischen Velikhov-Balbus-Hawley-Version einen sehr großen Aufwand erfordern. Der tiefere Grund dafür liegt darin, dass das für die MRI erforderliche azimuthale Magnetfeld erst durch die Rotation der Flüssigkeit aus dem axialen Feld produziert werden muss. Dies funktioniert aber nur in Strömungen, in denen die magnetische Reynoldszahl (das Produkt von magnetischer Permeabilität, elektrischer Leitfähigkeit, Längenausdehnung und mittlerer Geschwindigkeit) relativ groß ist. Große magnetische Reynoldszahlen wurden bisher nur in natriumgekühlten Brutreaktoren und in speziellen Dynamoexperimenten wie in Riga und Karlsruhe erreicht. Tatsächlich konnte 2004 in einem Dynamoexperiment an der University of Maryland eine Instabilität identifiziert werden, die in ihrer Parameterabhängigkeit starke Ähnlichkeiten mit der MRI aufweist. Allerdings wurde diese Instabilität auf dem Hintergrund einer bereits hochturbulenten Strömung beobachtet, womit der ursprüngliche wissenschaftliche Anspruch, MRI als erste Instabilität auf dem Hintergrund einer stabilen, laminaren Strömung nachzuweisen, natürlich nicht eingelöst wird.

Angesichts der Schwierigkeiten, ein MRI-Experiment in der klassischen Version durchzuführen, haben Rainer Hollerbach von der University of Leeds und Günther Rüdiger vom Astrophysikalisches Institut (AIP) in Potsdam eine wesentlich vereinfachte Variante vorgestellt. In einer Arbeit aus dem Jahr 2005 fragten sie sich, warum das azimuthale Magnetfeld erst durch die Strömung erzeugt werden muss. Was hindert uns daran, es zusätzlich zum axialen Magnetfeld von außen anzulegen? Kann man auf diesem Wege den experimentellen Aufwand reduzieren? In der Tat stellt sich heraus, dass die für das Auftreten der MRI erforderliche Reynoldszahl um mehrere Größenordnungen absinkt, wenn man nur eine geeignete Kombination von azimuthalen und axialen Magnetfeldern anlegt.

possible in flows with high magnetic Reynolds numbers (defined as the product of magnetic permeability, electrical conductivity, length scale, and mean velocity). Large magnetic Reynolds numbers have only been obtained in sodium cooled fast breeder reactors or in special dynamo experiments such as in Riga and Karlsruhe. In fact, a dynamo experiment at the University of Maryland has brought about a combined magnetic field and flow pattern similar to the MRI. However, this instability was observed on the background of an already highly turbulent flow. This is, of course, in contradiction to the ambition detecting MRI as the first instability on the background of a laminar flow.

Viewing those difficulties to establish an MRI experiment in the classical version, Rainer Hollerbach from the University of Leeds and Günther Rüdiger from the Astrophysikalisches Institut Potsdam recently presented a simplified version. In a paper dated 2005, it was questioned why it was necessary to produce the azimuthal magnetic field by the flow. Why not just apply it in addition to the axial field? Would it not be possible to reduce the experimental effort by this means? And indeed, it turned out that the necessary Reynolds number to create MRI drops by several orders of magnitude if a suitable combination of azimuthal and axial fields is applied externally.

The paper of Hollerbach and Rüdiger has provided the theoretical basis for the MRI experiment that has been set up at the Forschungszentrum Dresden-Rossendorf in 2006 (Figs. 1 and 2). This so-called PROMISE experiment basically consists of two co-rotating copper cylinders with a liquid alloy (GaInSn) filling the gap between them. As long as the rotation rate of the outer cylinder is larger than a quarter of the rotation rate of the inner cylinder, the liquid metal flow is hydrodynamically stable. Only when applying magnetic fields, the first instability appears in form of an upward or downward traveling wave of the flow velocity which can be detected by two ultrasonic sensors. The appearance of MRI does not only depend on the strength of the magnetic field, but also on the ratio of its axial and azimuthal components. This is clearly visible in Fig. 3 where the axial velocity components are shown in dependence on time and vertical position. At a given azimuthal field, which is produced by an axial current of 6000 A, the strength of the axial field is changed by varying the current in the coil. Only for medium coil currents (here for 75 A, as an example) a traveling wave is observed while it disappears for weak currents (10 A) as well as for strong currents (120 A).

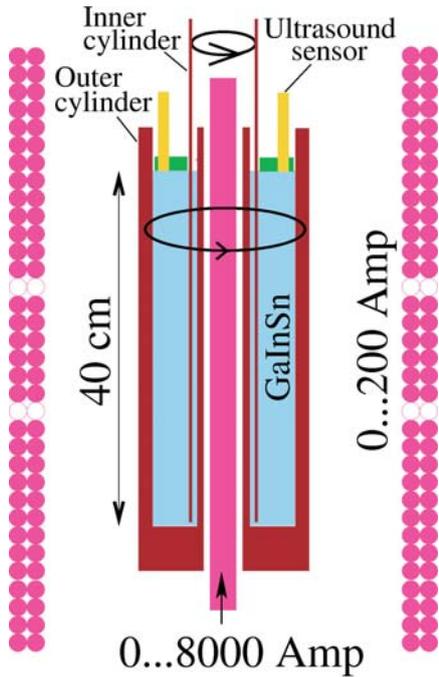


Fig. 1: Schema des PROMISE-Experiments.  
Scheme of the PROMISE experiment.



Fig. 2: Bild des PROMISE-Experiments. Durch Ströme in der großen gelben Spule wird das axiale Magnetfeld erzeugt. In der Mitte ist das axiale Kupferrohr zu erkennen, in dem Ströme bis 8000 A zur Erzeugung des Azimutalfeldes fließen.  
Photograph of the PROMISE experiment. The axial magnetic field is produced by currents in the large yellow coil. In the center, the axial copper tube is visible which carries currents of up to 8000 A for the production of the azimuthal field

Mit dieser Arbeit von Hollerbach und Rüdiger war die theoretische Grundlage für das nun im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf realisierte MRI-Experiment gelegt (Fig. 1 und 2). Dieses sogenannte PROMISE-Experiment besteht im wesentlichen aus zwei gleichsinnig rotierenden Kupferzylindern, zwischen denen sich eine Flüssigmetalllegierung (GaInSn) befindet. Deren Rotationsströmung ist hydrodynamisch stabil, falls das Verhältnis der Winkelgeschwindigkeiten von Außen- und Innenzylinder größer ist als das quadrierte Verhältnis von Innen- zu Außenradius. Erst mit angelegten Magnetfeldern setzt die erste Instabilität in Form einer nach unten oder oben wandernden Welle der Strömungsgeschwindigkeit ein, die von zwei Ultraschallsensoren ausgemessen werden kann. Das Auftreten von MRI hängt dabei nicht nur von der Stärke, sondern auch vom Verhältnis von axialem zu azimuthalem Magnetfeld ab. Dies ist deutlich in Fig. 3 zu sehen, in der die gemessene vertikale Abhängigkeit der Axialgeschwindigkeit im Zeitverlauf aufgezeigt ist. Bei festgehaltenem Azimutalfeld, das durch einen axialen Strom von 6000 A erzeugt wird, wird die Stärke des Axialfeldes durch Anlegen unterschiedlicher Ströme in der Spule variiert. Eine wandernde Welle tritt nur für mittlere Spulenströme (hier als Beispiel: 75 A) auf, während sie sowohl für kleine (10 A) als auch für große (120 A) Spulenströme verschwindet.

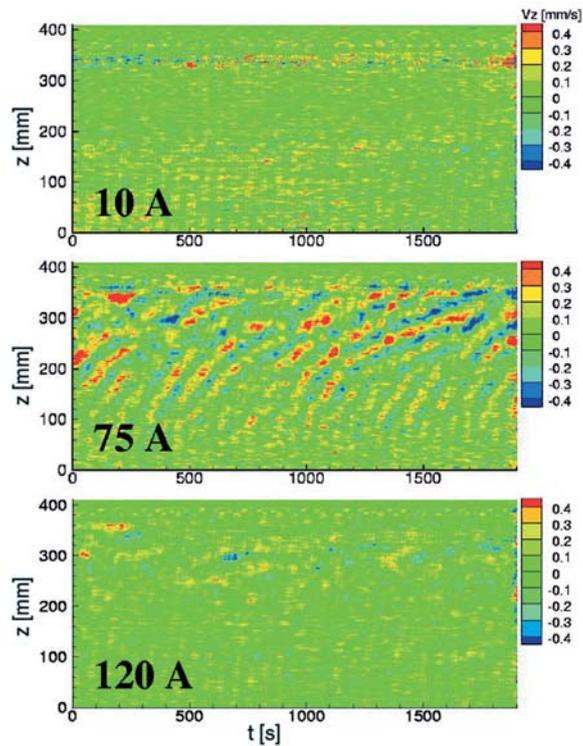
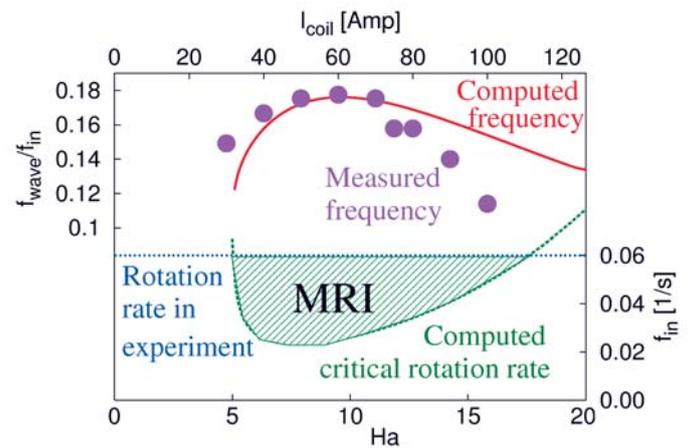


Fig. 3: Gemessene Axialgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zylinderhöhe und der Zeit. Eine wandernde Welle entsteht nur bei mittleren Werten des Spulenstroms.  
Measured axial velocity in dependence on axial position and time. The traveling wave appears only at medium values of the coil current.

**Fig. 4:** Vergleich der gemessenen und der berechneten Wellenfrequenz (normiert mit der Rotationsrate des inneren Zylinders) und berechnete kritische Rotationsraten des Innenzylinders. Für Spulenströme im Bereich zwischen 30 A und 110 A ist MRI zu erwarten.

*Comparison of measured and computed wave frequency (normalized with the rotation rate of the inner cylinder), and predicted critical rotation rate of the inner cylinder. MRI is expected in an interval of coil currents between 30 A and 110 A.*



Interessant ist nun der Vergleich der experimentellen Resultate mit numerischen Rechnungen. Im unteren Teil von Fig. 4 ist die berechnete kritische Rotationsrate des inneren Zylinders im Vergleich mit der im Experiment eingestellten Rotationsrate von 0.06 Hz dargestellt. Demgemäß sollte man MRI in einem Intervall des Spulenstromes etwa zwischen 30 A und 110 A erwarten, was im Experiment auch beobachtet wird. Vergleicht man die numerisch vorhergesagten und die experimentell gemessenen Frequenzen der wandernden Welle in diesem Intervall (oberer Teil von Fig. 4), so erkennt man ebenfalls eine recht gute Übereinstimmung. Dass diese nicht perfekt ist, liegt unter anderem an den Vereinfachungen, die den numerischen Simulationen zugrunde liegen. In diesen wird die Stabilitätsgrenze für einen axial unendlich ausgedehnten Zylinder berechnet; zudem werden die Kupferzylinder als ideal leitend angesehen. Um all diese Vereinfachungen zu überwinden, wird derzeit am Astrophysikalischen Institut Potsdam im Rahmen des Gemeinschaftsprojektes PROMISE (Potsdam Rossendorf Magnetic InStability Experiment) an einer realistischeren Simulation unseres Experimentes gearbeitet.

Neben der weiteren detaillierten Auswertung der schon erzielten experimentellen Resultate sind für die nähere Zukunft verschiedene Modifikationen des Experiments vorgesehen. Insbesondere sollen durch modifizierte Boden- und Deckelplatten die axialen Randbedingungen symmetrischer gestaltet werden. Geplant ist auch der Einsatz von geschlitzten Endplatten, deren beide Teile separat mit Innen- bzw. Außenzylinder rotieren. Mit einer solchen Konfiguration sollten sich die so genannten Ekman-Wirbel unterdrücken lassen, um den Übergang zur Instabilität noch schärfer identifizieren zu können.

It is instructive to compare the experimental results with numerical predictions. In the lower part of Fig. 4, the computed critical rotation rate of the inner cylinder and its actual experimental rotation rate of 0.06 Hz are represented. Evidently, MRI should be expected in an interval of the coil current between approximately 30 A and 110 A. This is indeed observed in the experiment. The comparison of the predicted and measured frequencies of the traveling wave in this interval (upper part of Fig. 4) also shows reasonable correspondence. The remaining misfit is probably due to the simplification used in the numerical code. This particularly applies to the assumption of an infinitely long cylinder and to the replacement of the copper cylinders by ideally conducting walls. To overcome these simplifications, work is in progress towards a more realistic simulation of our experiment which is realized within the framework of the common project PROMISE (Potsdam Rossendorf Magnetic InStability Experiment) between the FZD and the Astrophysikalisches Institut Potsdam (AIP).

Besides a more detailed analysis of the achieved results, several modifications of the experimental set-up are planned. One important point concerns the symmetrization of the axial boundary conditions by new Plexiglas lids at the top and bottom. Using split rings which rotate separately with the inner and outer cylinders, will help to suppress the so-called Ekman vortices. Hopefully, we then will be able to identify the transition to the instability in a more precise and sharp manner.

## Uranmunition im Boden

Nils Baumann, Thuro Arnold, David Read

Natürliches Uran besteht zu 99,3 % aus dem Isotop Uran-238 und zu 0,7 % aus dem Isotop Uran-235. Letzteres muss für den Einsatz von Uran als Kernbrennstoff angereichert werden. Bei diesem Prozess fällt „abgereichertes Uran“ (Depleted Uranium, DU) als Abfallprodukt an, und das weltweit in beträchtlichen Mengen. DU kann wegen seiner hohen Dichte ( $19,1 \text{ g/cm}^3$ ) im zivilen Bereich zur Herstellung von Ausgleichsgewichten für Schiffe und Flugzeuge verwendet werden; wegen dieser hohen Dichte wird es aber im militärischen Bereich auch für Abschirmungen und Panzerungen benutzt sowie für Projektilpanzerbrechender Waffen.

Derartige Projektilen wurden in den Irak-Kriegen, in Serbien und Bosnien sowie im Kosovo von NATO-Streitkräften eingesetzt. Beim Aufprall eines Projektils wird dieses pulverisiert, gelangt als fein verteiltes Uranpulver in den Boden und kann zu langfristigen ökologischen Problemen vor allem auf später landwirtschaftlich genutzten Flächen führen. Verunsicherungen in der Öffentlichkeit und Diskussionen in der Presse betreffs möglicher Schädigungen der Zivilbevölkerung und der Soldaten durch den Kontakt mit DU waren und sind die Folge.

Abgereichertes Uran enthält noch etwa 0,2% U-235 und ist somit weniger radioaktiv als natürliches Uran. Doch gefährlicher noch als die verbliebene Radioaktivität ist die chemische Giftigkeit des Schwermetalls Uran. Vom menschlichen Organismus aufgenommen, reichert Uran sich in Niere und Knochen an; es ist Lebergift und kanzerogen. Der von den verschossenen Projektilen kontaminierte Boden kann Ausgangspunkt sein für den Eintrag toxischen Urans in das Trinkwasser oder in landwirtschaftliche Nutzpflanzen und es gelangt dadurch - auch über Nutztiere - in die menschliche Nahrungskette. Um das Verhalten von Uran in den Böden einschätzen zu können, sind Untersuchungen zu seiner Bindungsform unter den unterschiedlichen Bedingungen, die auch von der Nutzung des Bodens abhängen, notwendig. Die Langzeitauswirkungen auf Grund- und Trinkwasser durch Uran aus Projektilen in Böden sind bislang kaum bekannt. Darum wurde im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten die Reaktion von abgereichertem Uran aus Projektilen mit einer an Kalzium und Phosphat reichen Lösung,

## Uranium ammunition in soil

Natural uranium contains the isotope U-238 of 99.3 % and the isotope U-235 of 0.7 %. U-235 has to be enriched for using uranium as nuclear fuel. Depleted uranium (DU) is a by-product in that enriching process. It is accumulated in considerable amounts in this process all over the world. Due to its high density ( $19.1 \text{ g/cm}^3$ ) DU is used as counterweights in ships and airplanes in the civil industry. In addition, DU is utilised for military purposes both in cladding for armoured vehicles and projectiles.

Such projectiles were used by NATO troops in the wars of Iraq, Serbia, Bosnia, and Kosovo. At impact the projectile becomes pulverized and transferred as finely dispersed powder into soil and may cause long-term ecological problems especially in agriculturally used areas. Consequently, the public was alarmed and discussions concerning possible health risks for civil population and soldiers who came into contact with DU arose.

Depleted uranium still contains about 0.2 % U-235 and thus has a lower specific activity than natural uranium. However, the chemical toxicity of the heavy metal uranium is more dangerous. After ingestion into the human body it accumulates in kidneys and bones; DU is a hepatotoxic agent and carcinogenic. Soil which is contaminated by DU projectiles could be the origin for the incorporation of toxic uranium in drinking water or in agricultural plants. Thus, uranium could be transferred into the human food chain. Possible risks for human health have triggered research on the geochemical behaviour of DU in nature including transport and immobilisation in soil. Of particular interest are studies of the uptake of uranium by agricultural plants, incorporation in forage crops, and its subsequent transfer into the human food chain. However, the long-term effect on groundwater and drinking water as a result of finely dispersed DU projectiles in soil is far from being understood.

Knowledge about the specification of uranium depending on the type of agricultural utilization is necessary to predict its behaviour in soil. In order to contribute to a better understanding our group studied the weathering of DU in laboratory experiments representing agricultural soil, i.e. rich

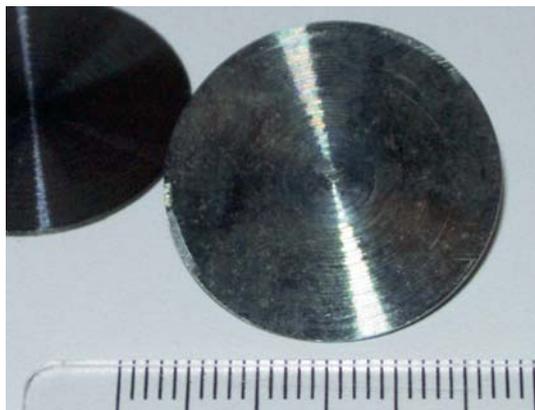


Fig. 1: Probe und „Blank“  
DU-sample and blank

wie sie durch entsprechende Düngung auf landwirtschaftlich bewirtschaftete Flächen aufgebracht werden kann, untersucht. Dabei konnte mit Hilfe der im Institut für Radiochemie seit einigen Jahren etablierten Methode der Zeitaufgelösten Laser-induzierten Fluoreszenzspektroskopie (Time-resolved Laser-induced Fluorescence Spectroscopy, TRLFS) eine Sekundärmineralbildung auf der Oberfläche des Uranprobestückes nachgewiesen und identifiziert werden.

Mit einem grundlegenden Experiment in Zusammenarbeit mit britischen Wissenschaftlern um Prof. David Read (Enterpris, University of Reading und University of Aberdeen) wurde dazu eine von einem originalen Projektil abgedrehte, etwa 0,5 mm starke und 25 mm im Durchmesser betragende Scheibe aus abgereichertem Uran untersucht (Fig. 1). Diese Scheibe wurde ein halbes Jahr lang bei konstanten 24°C in eine schwach konzentrierte Kalziumphosphatlösung ( $10^{-3}$  M Phosphat und  $2,5 \cdot 10^{-3}$  M Kalzium) gelegt. Der pH-Wert der Lösung wurde zu Beginn des Experiments auf 6,0 eingestellt, er betrug am Ende 5,2. Die Gehalte an Kalzium, Phosphat und Uran in der Lösung wurden ebenfalls bestimmt.

Die TRLFS-Messungen wurden danach an der Oberfläche dieser Scheibe durchgeführt und mit Messungen derselben Probe verglichen, die keiner Kalziumphosphatlösung ausgesetzt war, einem „Blank“. An beiden Proben wurde exakt bei gleichen Messbedingungen (Laserenergie, Belichtungszeiten u. a.) gearbeitet. 20 Laserblitze pro Sekunde von je ca. 10 Nanosekunden Dauer werden bei der TRLFS zur Probe gelenkt. Die Anregungswellenlänge betrug 266 Nanometer. Zwischen den Laserblitzen wird das daraufhin von der Probe ausgesendete Fluoreszenzlicht durch ein Spektrometer in wellenlängenabhängige Anteile zerlegt, und dies vielfach

in calcium and phosphate. In this context, surface alteration products were identified by time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy (TRLFS), a method, which has been established at the Institute of Radiochemistry several years ago. The formation of a secondary mineral on the surface of the DU sample was detected and identified by that method.

In cooperation with British scientists from the group of Prof. David Read (Enterpris, University of Reading and University of Aberdeen) a study was undertaken in which discs of DU (25 mm in diameter, 0.5 mm in thickness) obtained from a pristine British military tank shell (Fig. 1), were placed in a low concentrated, well defined solution of calcium and phosphate ( $10^{-3}$  M phosphate and  $2.5 \cdot 10^{-3}$  M calcium), and kept there at 24°C for about half year. The pH of this solution was adjusted to an initial value of 6.0. It gradually decreased to about pH 5.2 at the end of the experiment. The solution concentration of calcium, phosphate and uranium and the pH was monitored during the experiment.

TRLFS measurements on the surface of the sample were carried out and compared with measurements conducted at the same conditions (laser energy, gate width) on an unaltered DU disc, the so-called "blank", which was not in contact with the Ca-P solution described above. 20 laser shots per second were guided to the sample. A laser shot takes only approximately 10 nanoseconds. The excitation wavelength was 266 nm. The emitted fluorescence light, acquired between the laser pulses, was decomposed in its individual wavelength components by a spectrometer. All measurements were repeated several times and were carried out in a time resolved fashion so that in addition to the fluorescence spectrum the fluorescence life time could be determined. It is important to stress that uranium in the oxidation state +6 and its associate species show characteristic fluorescence spectra with well-defined life times. However, metallic uranium shows no fluorescence properties at all! The acquired TRLFS spectra showed six distinct emission bands at 486, 501, 522, 546, and 601 nanometer (Fig. 2), a pattern typical for U(VI). The fluorescence life times were calculated as  $50 \pm 5$  and  $700 \pm 25$  ns. The shorter life time of  $50 \pm 5$  ns was interpreted as a result of the inhomogeneity and disturbances in the crystal lattice on the surface.

The observed red shift towards higher wave lengths compared to the spectra of the so-called free uranyl(VI) in water ( $\text{UO}_2^{2+}_{(aq)}$ ) is indicative for U-phosphates. Therefore, the fluorescence spectra

und zeitabhängig nacheinander, so dass neben dem Fluoreszenzspektrum auch die Lebenszeit des Fluoreszenzsignals ermittelt werden kann. Uran in der Oxidationsstufe +6 und dessen Verbindungen zeigen charakteristische Fluoreszenzspektren, die darüber hinaus noch definierte Lebensdauern besitzen, metallisches Uran jedoch zeigt keine Fluoreszenzeigenschaften. Die gewonnenen TRLFS-Spektren (Fig. 2) wiesen sechs deutliche Emissionsbanden bei 486, 501, 522, 546, 573 und 601 Nanometern auf – ein Spektrum, wie es für eine Uran(VI)-Verbindung typisch ist. Die Lebensdauern des Signals betragen bei diesen Messungen  $50 \pm 5$  und  $700 \pm 25$  Nanosekunden, wobei die kurze Lebenszeit von  $50 \pm 5$  Nanosekunden als ein Ergebnis von Inhomogenitäten und Störungen an der Kristalloberfläche zu erklären ist.

Die Rotverschiebung (hin zu höheren Wellenlängen) gegenüber dem Spektrum des Aquokomplexes Uranyl ( $\text{UO}_2^{2+}_{(\text{aq})}$ ) ist typisch für Uranphosphatverbindungen. Darum wurde das an der Uranscheibe gewonnene Spektrum mit anderen TRLFS-Spektren, die von bekannten Uranphosphatmineralen stammen, verglichen. Eine Vielzahl derartiger Vergleichsspektren bildet den Grundstock einer Datenbank, die im Institut für Radiochemie aufgebaut wurde und ständig erweitert wird. Die Minerale dazu wurden synthetisiert oder stammen aus verschiedenen mineralogischen Sammlungen, wie aus der des mineralogischen Instituts der Technischen Universität Bergakademie Freiberg.

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen des hier beschriebenen Experiments hätten auf der Metalloberfläche sowohl Uranoxide, Uranhydroxide, Urancarbonate sowie Uranphosphate entstehen können - es hätte aber auch nicht zu einer nachweisbaren Sekundärmineralbildung kommen können. Das an der Uranscheibe gemessene TRLFS-Spektrum stimmt mit dem Spektrum von Metaautunit,  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_8$ , überein (Fig. 3 und 4). Das betrifft die Lage der Peakmaxima, die Peakgrößenverhältnisse zueinander als auch die Lebenszeiten des Fluoreszenzsignals. Dagegen unterscheiden sich die TRLFS-Spektren der Uranphosphatminerale Autunit,  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_{10-12}$ , und Chernikovit,  $(\text{H}_3\text{O})_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_6$ , eindeutig von dem des Sekundärmineralfilms auf der Uranscheibe. Damit zeigte sich die Analysenmethode der Zeitaufgelösten Laserinduzierten Fluoreszenzspektroskopie (TRLFS) in der Lage, auch in geringsten Konzentrationen die Bindungsform des Urans zu bestimmen – ein Nachweis, wie er mit anderen modernen Analysemethoden bisher nicht erzielt werden konnte.

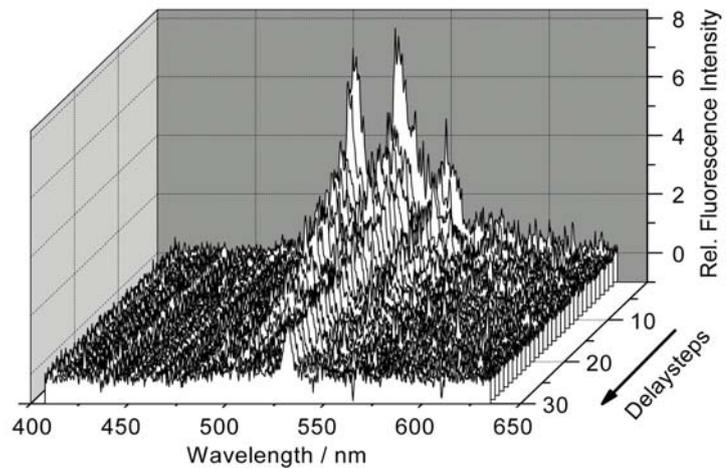
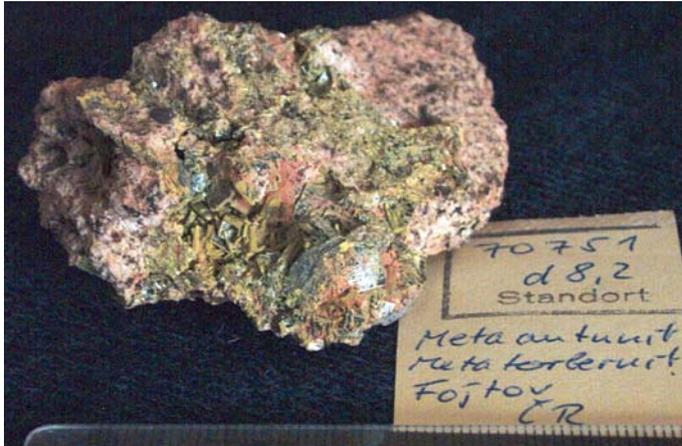


Fig. 2: TRLFS-Spektrum der Sekundärmineralschicht  
TRLFS spectrum from secondary mineral generated on DU

of the U(VI) phase on DU were compared with TRLFS data from well-known U-phosphates. A multitude of such reference TRLFS spectra (fingerprints) is compiled in an in-house data base which was designed and assembled at the Institute of Radiochemistry, which is constantly upgraded when new spectroscopic data becomes available. The respective minerals were either synthesized in the laboratory or provided by courtesy of different mineralogical collections, like e. g. the mineral collection of the TU Bergakademie Freiberg.

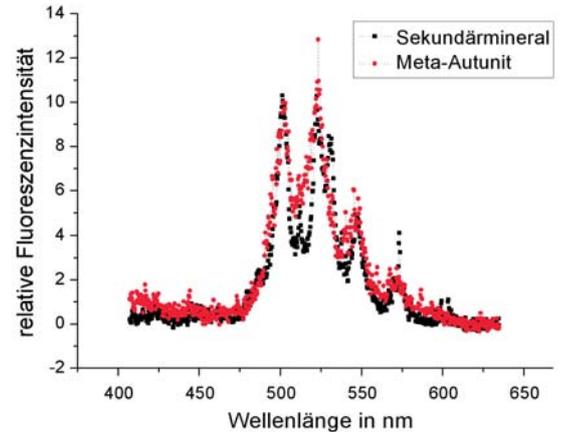
Uraniumoxides, uraniumhydroxides, uraniumcarbonates and uraniumphosphates could be formed as alteration products on the DU disc under specified experimental conditions. At the same time, no recognizable formation of a secondary mineral could take place on the disc. By far the best match from spectra measured on altered DU was found for the spectra of a natural mineral meta-autunit,  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_8$  (Fig. 3 and 4). Here, we found the best agreement in peak maxima, peak length ratios, and in the life times of the fluorescence signals. In contrast, the TRLFS spectra from the U-phosphates autunit,  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_{10-12}$ , and chernikovite,  $(\text{H}_3\text{O})_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_6$ , were significantly different compared to the spectra measured on altered DU. So far, evidence for the formation and the identification of such a thin mineral layer and the uranium speciation in very low concentrations could only be obtained with the analytical method of TRLFS. No other analytical method could deliver comparable results.



**Fig. 3:** Metaautunitstufe der Freiburger Mineraliensammlung für das Vergleichsspektrum

*Naturally accruing meta-autunite sample from the TU Bergakademie Freiberg mineral collection*

Es kann daraus geschlossen werden, dass unter den geschilderten Bedingungen der Auflöseprozess des Uranprojektils unter Bildung von Metaautunit erfolgt. Die Mobilität des Urans wird also weitgehend vom Auflöseverhalten der gebildeten Sekundärmineralphase Metaautunit bestimmt. Mit dieser beispielhaften Untersuchung konnte aufgezeigt werden, dass es möglich ist, die Wechselwirkungen mit und den Transport von Munitionsuran in Wässern und Böden aufzuklären. Mit dem Wissen um die konkrete Bindungsform des Urans ist eine Basis geschaffen, um Langzeitprognosen zum Verhalten dieser Uranform in der Umwelt zu erstellen und damit zum Schutz des Menschen und seiner Umwelt beizutragen.



**Fig. 4:** Übereinstimmung der Fluoreszenzspektren der Sekundärmineralschicht auf dem DU mit dem von Metaautunit  
*Conformity from the fluorescence spectra of the mineral layer generated on DU with the spectra of meta-autunite*

It was concluded that under circumstances described here, the dissolving process from uranium projectiles is connected to formation of meta-autunite. The mobility of DU originated from weathering projectiles is determined by its solubility product and the dissolution behaviour of the newly formed secondary mineral phase meta-autunite. With this exemplary investigation the Institute of Radiochemistry was able to show that interactions from DU ammunition with water and soil, i.e. the reaction mechanism, can be clarified. By that means, the basis is given to estimate risks concerning the long-term stability and migration behaviour of such uranium species in the environment and deliver a contribution to the protection of human and the environment with that investigation presented here.

# Forschung Research

Lebenswissenschaften >  
Life Sciences





## [<sup>18</sup>F]Fluoracetat: Vom Gift zum PET-Tracer

Ralf Bergmann, Susan Richter, Jens Pietzsch, Frank Wüst

Organofluorverbindungen treten in der Natur sehr selten auf. Es sind nur einige bekannt, die von Pflanzenarten und Mikroorganismen produziert werden. Fluoracetat ist der am häufigsten vorkommende fluorhaltige Naturstoff. Anhand des Bakteriums *Streptomyces cattleya* gelang es vor kurzem, einige Schritte der zellfreien Biosynthese von Fluoracetat aufzuklären. In der Krebsforschung erscheint die Substanz vielversprechend. Erste Ergebnisse bei kleinen Versuchstieren im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf legen den Schluss nahe, dass Fluoracetat als radioaktive Sonde sehr gezielt bei Prostatakarzinomen eingesetzt werden kann.

Seit seiner Entdeckung als chemisches Anti-Mottenmittel im Jahre 1930 und seiner Giftigkeit für Nagetiere erfährt Fluoracetat eine weltweite Anwendung in der Landwirtschaft als Rodentizid. Die Sensitivität verschiedener Spezies auf das Toxin variiert dabei



Fig. 1: Das Bakterium *Streptomyces cattleya*  
Bacterium *Streptomyces cattleya*

## [<sup>18</sup>F]Fluoroacetate: From toxin to PET-tracer

Organofluorine compounds are very rarely observed in nature. Only a few fluorine-containing natural products are known which are produced in plants and microorganisms. Fluoroacetate is the most frequently occurring fluorine-containing natural product. Recently, several steps of the cell-free biosynthesis of fluoroacetate were uncovered in the bacterium *Streptomyces cattleya*. Fluoroacetate represents a promising compound in tumor research. First studies on small research animals at the Forschungszentrum Dresden-Rossendorf suggest that the compound can be used as radioactive probe for diagnosing prostate cancer.

Since the discovery of fluoroacetate as a potent insecticide in 1930 and its toxicity for rodents the compound has been used worldwide in agriculture as effective rodenticide. The sensitivity of species toward the toxin varies quite significantly. Thus,

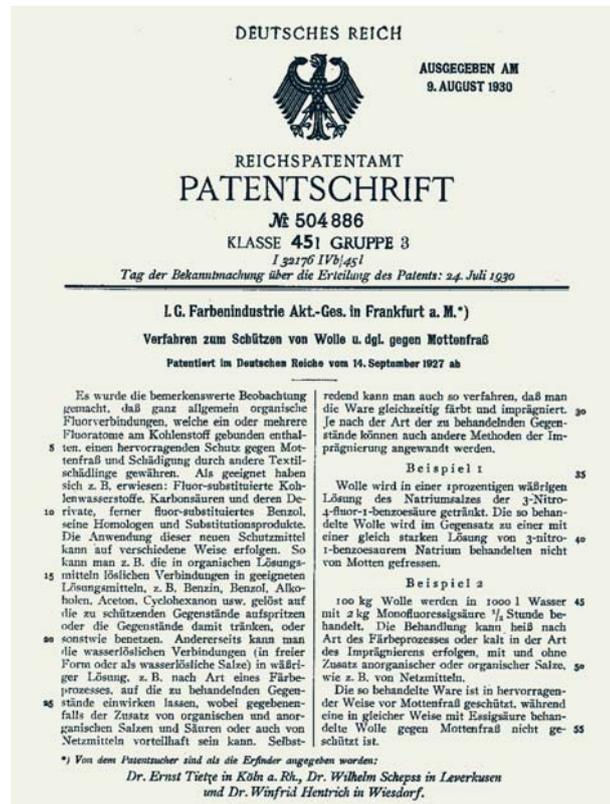
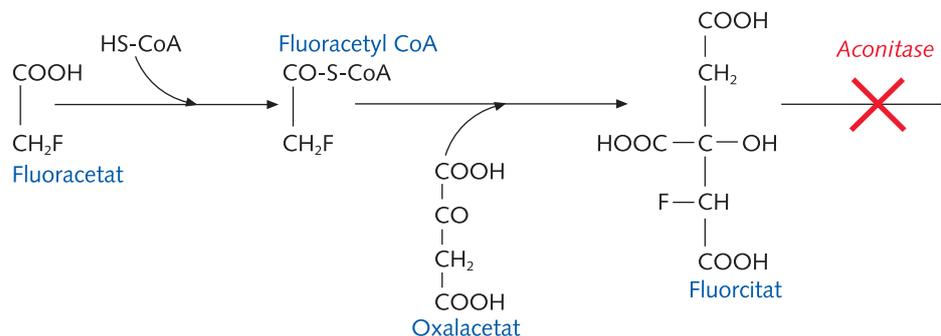


Fig. 2: Patentanmeldung von Fluoracetat als Anti-Motten-Mittel - 1930  
Patent application of fluoroacetate as insecticide in 1930



**Fig. 3:** Fluoroacetat-initiierte Hemmung der Aconitase im Citratzyklus  
*Fluoroacetate-mediated inhibition of aconitase within the citrate cycle*

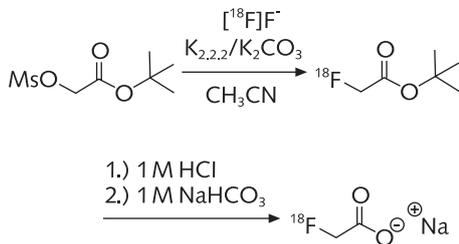
stark. So ist Fluoroacetat extrem toxisch für Säugetiere, wohingegen Amphibien toleranter reagieren. Der LD<sub>50</sub>-Wert – das ist die lethale Dosis für die Hälfte der Versuchstiere – von Fluoroacetat für eine Ratte beträgt 0,2 mg/kg. Als Fluorderivat der Essigsäure (Acetat) nimmt Fluoroacetat als Zellgift am Stoffwechsel teil. Seine toxische Wirkung ist dabei unmittelbar mit dem Citratzyklus verbunden, einem zentralen, energieliefernden Stoffwechselfvorgang unter Nutzung von Acetat. Durch die Hemmung der Aconitase, einem wichtigen Schlüsselenzym innerhalb des Citratzyklus, kommt es zu einer Anreicherung von Citrat in Geweben und im Blut. Die Folge ist ein gestörter Energiestoffwechsel bis hin zum Zelltod. Daraus resultieren Symptome wie Lethargie, Zittern, Krämpfe, verlangsamter Herzschlag, bis schließlich der Tod durch Atemstillstand oder Herzversagen eintritt.

Krebserkrankungen gehören nach wie vor zu den häufigsten Todesursachen. Die frühzeitige Erkennung ist dabei entscheidend für die Prognose und Therapie der Krebserkrankungen. Eine wichtige Rolle nehmen dabei bildgebende Verfahren der Medizin ein, unter denen die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als empfindlichste Methode zur Darstellung von Tumorstoffwechselprozessen besonders gut geeignet ist. Eine Tumorart, in dem der Acetat-Stoffwechsel eine zentrale Funktion hat, ist das Prostatakarzinom. In der bildgebenden Diagnostik des Prostatakarzinoms mittels PET wird daher häufig <sup>11</sup>C-markiertes Acetat ([<sup>11</sup>C]Acetat) als Radiotracer eingesetzt. Durch die sehr kurze Halbwertszeit von Kohlenstoff-11 (t<sub>1/2</sub> = 20 min) steht allerdings nur ein enges Zeitfenster für die PET-Untersuchungen zur Verfügung. Im Gegensatz dazu stellt das langlebigere [<sup>18</sup>F]Fluoroacetat (t<sub>1/2</sub> = 110 min) eine interessante Alternative zum [<sup>11</sup>C]Acetat als PET-Radiotracer für die Untersuchung des Prostatakarzinoms dar.

fluoroacetate is very toxic in mammals, whereas amphibians show much higher tolerance. The LD<sub>50</sub>-value, also referred to as the lethal dose for half of the examined animals, of fluoroacetate is 0.2 mg/kg in rats. As a fluorine derivative of acetate the fluoroacetate is involved within the body's metabolism as a cellular toxin. The toxicity of fluoroacetate is directly connected to the citrate cycle, a central energy-providing metabolic process through the consumption of acetate. Inhibition of aconitase, an important key enzyme within the citrate cycle, leads to an accumulation of citrate in tissue and blood causing a disturbed energy metabolism and even cell death. The corresponding symptoms are lethargy, tremor, spasms, reduced heart beat, and finally death through breathing arrest and heart failure.

Cancer diseases still belong to the major causes of death. An early and reliable detection is crucial for prognosis and success of therapy. In this line, various medical imaging techniques play an important role. Among these techniques positron emission tomography (PET) as the most sensitive method for early tumor detection is particularly useful. A frequently occurring tumor entity where acetate metabolism plays a central role is prostate cancer. Tumor imaging of prostate cancer by means of PET utilizes <sup>11</sup>C-labeled acetate as radiotracer. The very short half-life of carbon-11 (t<sub>1/2</sub> = 20 min), however, provides only a limited time window for PET studies. In contrast, the longer half-life of [<sup>18</sup>F]fluoroacetate (t<sub>1/2</sub> = 110 min) represents an attractive alternative to [<sup>11</sup>C]acetate as PET-radiotracer for imaging prostate cancer.

The PET-Center Rossendorf has developed a strategy for convenient and reliable synthesis of [<sup>18</sup>F]fluoroacetate. As a PET radiotracer the total amount of fluoroacetate is in the nanogram range, hence toxic effects as discussed above can be excluded due to the extremely low dose.



**Fig. 4:** Radiosynthese von [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoracetat im Synthesemodul  
*Radiosynthesis of [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroacetate in a synthesis module*

Im PET-Zentrum Rossendorf wurde daher eine Synthesestrategie zur Herstellung von [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoracetat entwickelt. Da der auf diesem Wege hergestellte PET-Radiotracer nur in sehr geringen Stoffmengen (Nanogramm-Mengen) anfällt, können die oben diskutierten toxischen Effekte aufgrund der extrem niedrigen Dosis von Fluoracetat vernachlässigt werden. Die erforderliche Radiosynthese wurde im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelt und wird ferngesteuert in einem abgeschirmten Synthesemodul durchgeführt. [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoracetat kann zuverlässig in einer robusten Zwei-Stufen-/Ein-Topf-Synthese in guten radiochemischen Ausbeuten und sehr hoher radiochemischer Reinheit hergestellt werden.

Der Radiotracer [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoracetat wurde in präklinischen Untersuchungen radiopharmakologisch charakterisiert. Dazu wurden die Bioverteilung von [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoracetat und der Metabolismus des Radiotracers untersucht sowie insbesondere Kleintier-PET-Messungen an tumortragenden Mäusen durchgeführt. Die PET-Untersuchungen in den Mäusen zeigten eine deutliche Radioaktivitätsanreicherung im Tumor.

Die hohe Zuverlässigkeit der Radiosynthese von [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoracetat und die ermutigenden Ergebnisse der präklinischen Testung sind wichtige Voraussetzungen, diesen Radiotracer nach weiteren Bewertungen im PET-Zentrum Rossendorf in enger Kooperation mit den klinischen Partnern der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin und dem Zentrum für Medizinische Strahlenforschung in der Onkologie (OncoRay) für Tumordiagnostik und Therapiekontrolle anwenden zu können.

**Fig. 5:** Kleintier-PET Aufnahme von [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoracetat in einer tumortragenden Maus

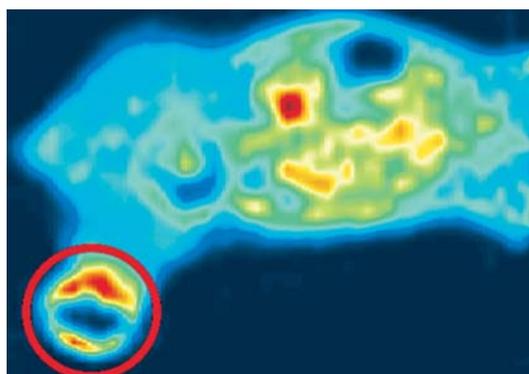
*Small animal PET image of [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroacetate in tumor-bearing mouse*

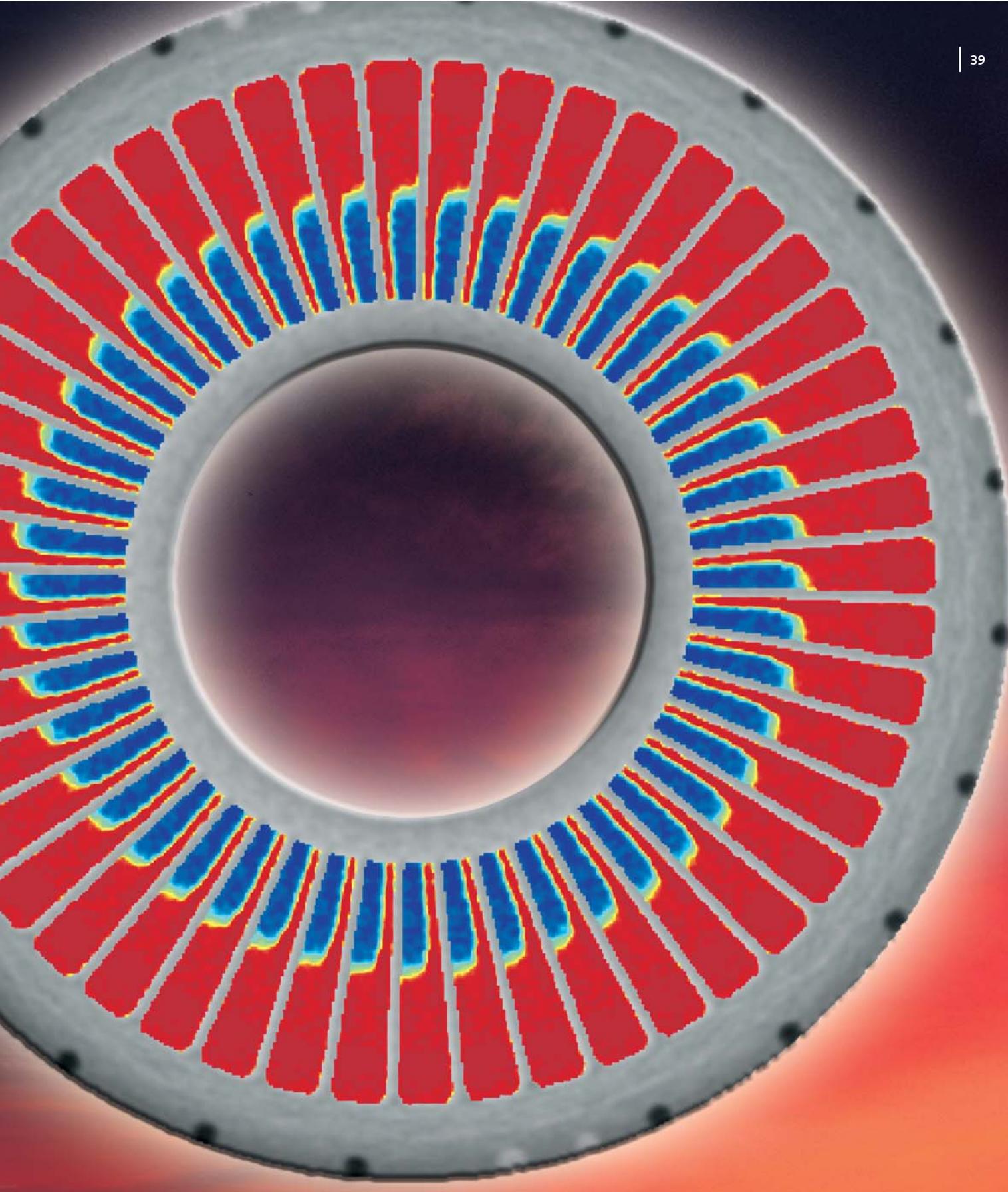


The radiosynthesis of [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroacetate was developed in course of a diploma thesis. The synthesis is performed in a remotely-controlled, well-shielded synthesis module. [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoroacetate can be prepared very reliably as a robust two-step/one-pot synthesis sequence in good radiochemical yields and very high radiochemical purity.

The radiotracer [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroacetate was used in preclinical studies for radiopharmacological characterization. For this purpose biodistribution and metabolism of [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroacetate were studied in mice and rats. The radiopharmacological evaluation also included small animal PET studies using tumor-bearing mice. The small animal PET studies in mice show an accumulation of radioactivity in the tumor.

The high reliability of the radiosynthesis of [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroacetate and the encouraging results of preclinical evaluation are important prerequisites to implement the compound in the PET-Center Rossendorf in close collaboration with clinical partners at the Carl Gustav Carus Medical School Dresden (Clinic of Nuclear Medicine and Center for Radiation Research in Oncology: OncoRay) as radiotracer for tumor diagnosis and therapy control.





# Industriekooperation >

Cooperation with Industry

## Optimierung von Turbokupplungen

Uwe Hampel, Marco Jose da Silva, Eckhard Schleicher, Dietrich Hoppe, Cornelius Zippe, Andreas Fleischer (FZD), Reinhard Kernchen, Karl-Heinz Diele (Voith Turbo GmbH Crailsheim)

Um Vorgänge im Inneren von Anlagen und Maschinen beobachten zu können, entwickeln Wissenschaftler im FZD-Institut für Sicherheitsforschung spezielle Messverfahren und Sensoren für den industrienahen Einsatz. Dazu zählen unter anderem computertomographische Messverfahren auf der Basis von Röntgen- und Gamma-Strahlung sowie leitfähigkeitsbasierte Sensoren für rauhe Einsatzbedingungen. Mit ihnen können Strömungsvorgänge in Rohren, Pumpen, Druckgefäßen oder Chemiereaktoren sichtbar gemacht werden, die ansonsten für das menschliche Auge nicht zugänglich sind. Ein Beispiel dafür sind Turbokupplungen. Sie dienen der Drehmomentübertragung in Hochleistungsantriebssystemen, wo immer Maschinen angefahren und bewegt oder große Massen sanft beschleunigt werden müssen. Sie sind unter anderem in Kraftwerken zur Kopplung von Turbine und Generator, im Bergbau in Antrieben für Kettenförderer und Bandanlagen, sowie in Schiffs- und Schienenfahrzeugantrieben zu finden. Ihr hydrodynamisches Prinzip ermöglicht eine verschleißarme Leistungsübertragung.

Bis zum heutigen Tage waren Untersuchungen von Strömungszuständen des Betriebsfluides im Inneren einer laufenden Turbokupplung nahezu unmöglich.

## Optimisation of fluid couplings

To study the flow phenomena inside process equipment and hydrodynamic machines, scientists at the FZD Institute of Safety Research develop special measurement techniques and sensors for industrial use. Among them are computed tomography based on X-rays and gamma rays as well as multiphase flow sensors for harsh environments. Using such techniques and sensors, flow measurement in pipes, pumps, pressure vessels and chemical reactors, which are not accessible by the human eye, becomes possible. An example of this is fluid couplings. They are used for power transmission in heavy-duty drive systems, wherever machines need to be started up or large masses need to be gently accelerated. Thus, fluid couplings can be found in power stations for coupling turbines and generators, in the drives of chain and band conveyors as well as in ship and train propulsions. Their hydrodynamic principle permits power transfer with low wear.

Until now, the investigation of flow conditions inside a running fluid coupling was almost impossible. This can be explained by the construction of a fluid coupling with constant filling, shown in Fig. 1. It consists of two solid wheels inside a metal housing, the pump wheel on the driving side and the turbine wheel on the driven side. The wheels and the

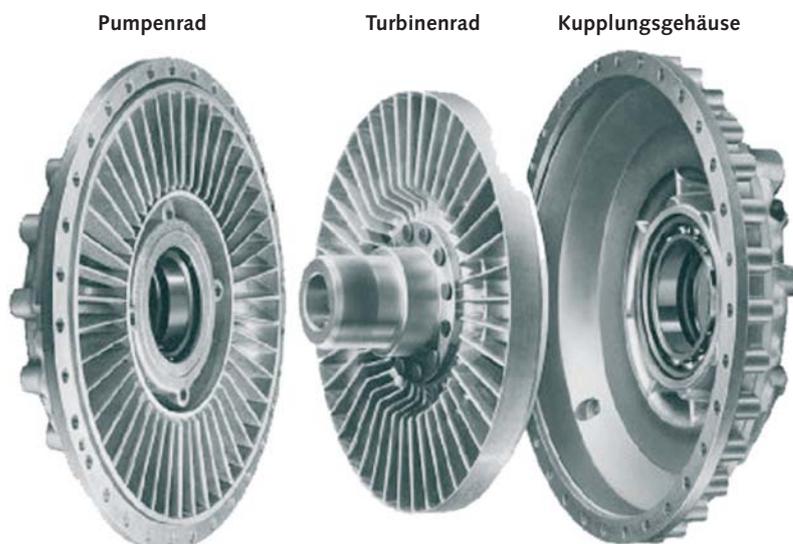


Fig. 1: Aufbau einer Turbokupplung mit konstanter Füllung.  
Construction of a fluid coupling with constant filling.

Dies erklärt sich unter anderem aus dem in [Fig. 1](#) gezeigten Aufbau einer Konstantfüllungskupplung. Sie besteht aus zwei massiven, in einem Metallgehäuse untergebrachten Rädern, dem Pumpenrad auf der Antriebsseite und dem Turbinenrad auf der Abtriebsseite. Die Räder und die Gehäuseteile sind aus einer Aluminiumsiliziumlegierung. Der Durchmesser der Kupplung kann bis zu 1,3 Meter betragen, die Drehzahl der Kupplungsräder erreicht bis zu 3600 Umdrehungen pro Minute. Damit ist es sehr schwierig, an oder gar in einer Kupplung Sensorik zur Messung von lokalen Strömungsparametern, wie Phasenverteilung oder Fluidgeschwindigkeit, zu betreiben.

Durch die Mitarbeiter des Instituts für Sicherheitsforschung wurden im November 2006 erstmalig kombinierte Strömungsmessungen beim Projektpartner Voith Turbo GmbH, einem weltweit führenden Hersteller von Turbokupplungen, mit Hilfe neuartiger Spezialmesstechnik vorgenommen. Ein wichtiger Bestandteil der Entwicklungsarbeiten bei der Voith Turbo GmbH besteht in der Optimierung der Kupplungen für ein möglichst breites Einsatzfeld, von niedrigen zu hohen Drehzahlen und kleinen zu großen Schlupfwerten. Das Prinzip der Kraftübertragung durch ein Betriebsfluid bedeutet, dass Betriebseigenschaften wie die Drehmomentcharakteristik und Laufruhe einer solchen Kupplung von der Strömungsstruktur im Kupplungsinneren abhängen. Unerwünschte Effekte wie etwa schnelle Änderungen des Abtriebsdrehmomentes in gewissen Schlupfbereichen infolge eines qualitativen Strömungsumschlags in der Kupplung, insbesondere bei Teilfüllung, sind nach Möglichkeit durch geeignete konstruktive Maßnahmen zu unterbinden, da diese zu instationärem Übertragungsverhalten und zu Extrembelastungen des Materials führen und keinen stabilen Arbeitspunkt zwischen Kraft- und Arbeitsmaschine zulassen.

Bei der vom FZD untersuchten Kupplung handelte es sich um eine Versuchskupplung mit einem Außendurchmesser 492 mm, die in den Versuchen mit einer maximalen Drehzahl von 780 Umdrehungen pro Minute angetrieben wurde. Dabei kamen ein hoch auflösender Gammatomograph sowie ein Leitfähigkeitsflächensensor zum Einsatz. Jedes Messverfahren für sich stellt eine technische Neuheit dar. Die Kombination beider Messverfahren bietet einen im Wortsinne völlig neuen Einblick in das Strömungsgeschehen einer Turbokupplung.

Mit Hilfe des Gammatomographen ([Fig. 2](#)) ist es möglich, scharfe dreidimensionale Bilder der Phasenverteilung in der Kupplung zu erzeugen.

housing are made of an aluminum silicon alloy. The diameter of a coupling can be up to 1.3 m, the rotational speed up to 3600 rpm. This makes it very difficult to operate sensors at or inside such a coupling, for instance to measure local phase distribution or flow velocity.

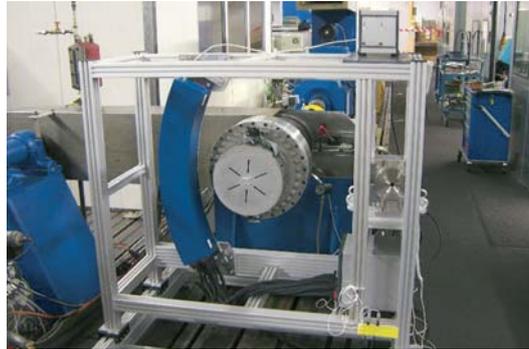
In November 2006 scientists of the Institute of Safety Research were able to perform combined flow measurements in a fluid coupling for the first time using innovative measurement technologies. The project was carried out at Voith Turbo GmbH, a leading manufacturer of fluid couplings worldwide. An essential part of the engineering efforts at Voith Turbo GmbH consists of optimising fluid couplings for a wide field of applications, from low to high speed and low to high slip values. The principle of power transmission through fluid means that operating properties like torque characteristics and smoothness of running of a coupling depend on the flow structure inside the coupling. Unwanted effects, such as rapid changes in the output torque in certain slip regions caused by sudden changes of the flow pattern in the coupling, should be avoided by suitable construction features, because this leads to unstable operation and extreme loading of the material.

The coupling investigated by FZD is a test coupling with an external diameter of 492 mm, which was driven at a maximum speed of 780 rpm. A high-resolution gamma ray tomograph and conductivity surface sensors were operated to visualise flow patterns in the coupling during full operation. Each measurement technology by itself is a technical innovation. Even more so, the combination of the two techniques provides a totally new insight into a running fluid coupling.

Using the gamma ray tomograph ([Fig. 2](#)) it is possible to obtain time-averaged three-dimensional images of the fluid distribution. For this purpose, the gamma ray tomograph uses high energy radiation from a Cs-137 isotopic source to transilluminate the coupling. The radiation that penetrates the object is recorded by an arc detector mounted at the opposite side of the coupling. This detector is a special development by FZD and allows resolving structural details down to 2 mm. A special feature of the detector is the synchronisation of the data acquisition with the rotation cycle of the coupling. In this way tomographic projection data is generated within the rotating frame of coordinates. This data is then reconstructed to a cross-sectional image in the same way as it is done in a medical tomograph. However, the difference here is that the object instead of the

Dazu wird die Kupplung mit hochenergetischer Gammastrahlung des Isotops Cs-137 einer Isotopenstrahlungsquelle durchstrahlt. Der Strahlungsquelle gegenüber ist ein Bogendetektor angebracht, der die durch die Kupplung übertragene Gammastrahlung registriert. Bei dem Detektor handelt es sich um eine Spezialentwicklung des FZD mit einer räumlichen Auflösung von Strukturdetails bis zu 2 mm. Ein spezielles Messwerterfassungssystem zeichnet die durch das Untersuchungsobjekt übertragene Strahlung synchron zur Drehbewegung der Kupplung auf, so dass ein tomographischer Projektionsdatensatz wie bei einem medizinischen Computertomographen, nur hier mit rotierendem Objekt und nicht mit rotierendem Messsystem, erstellt wird. Jeder Datensatz wird nach ca. 5 Minuten Messzeit durch einen Computer zu einem Schnittbild rekonstruiert, welches die Verteilung der Flüssigkeit in der ausgewählten Kupplungsebene zeigt. Aus mehreren Schnittbildern entlang der Kupplungsachse lässt sich so die Flüssigkeitsverteilung dreidimensional als zeitlich gemittelttes Bild für einen konstanten Betriebspunkt darstellen.

Die Erfassung schnell veränderlicher Strömungsmuster sowie die Messung von Fluidgeschwindigkeiten sind mittels der Gammatomographie nicht möglich. Deshalb wurde für diesen Zweck ein neuer Leitfähigkeitsflächensensor entwickelt. Dieser besteht aus einer an die Innenwand einer Kupplungskammer aufgebrachtten dünnen Platine, auf deren Oberfläche sich in einem gleichmäßigen Raster miteinander matrixförmig verbundene Sensorelemente befinden, an denen quasi-simultan die elektrische Leitfähigkeit des Umgebungsmediums gemessen wird. Diese unterscheidet sich für Luft und das Betriebsfluid (Wasser). Der Sensor verfügt über 32 x 32 Einzelelemente von ca. 3 mm x 3 mm Ausdehnung, so dass komplette Bilder der Leitfähigkeitsverteilung an der Kammerwand mit einer Bildrate von ca. 10 kHz aufgezeichnet werden können. Dabei wurde jeweils ein Sensor an der druck- und saugseitigen Wand einer Kammer im Pumpenrad der Kupplung

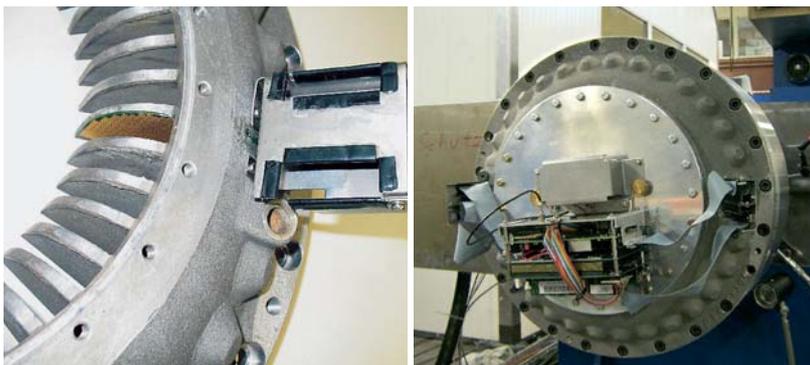


**Fig. 2:** Gammatomograph mit Kupplung im Prüffeld der Voith Turbo GmbH in Crailsheim.

*Gamma ray tomograph and fluid coupling at the test facility of Voith Turbo GmbH in Crailsheim.*

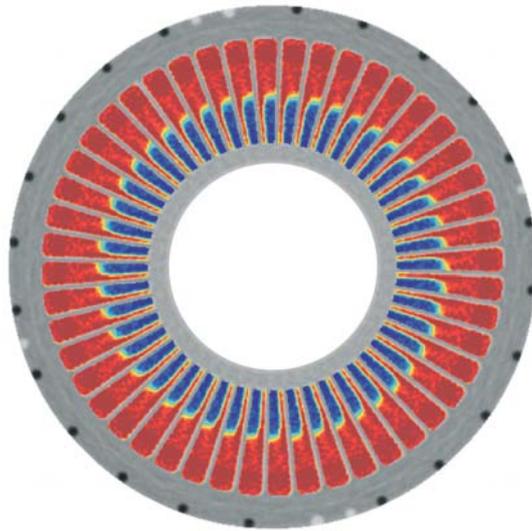
source-detector system is rotating at considerable angular speed. It takes about 5 minutes integration time to produce one cross-sectional image. For generation of three-dimensional images the tomograph is moved along the coupling axis and the slice images obtained at different axial positions are then synthesised to a three-dimensional image by computer.

The recording of rapidly altering flow patterns and the measurement of fluid velocities are not possible using gamma ray tomography. For this purpose, a new surface conductivity sensor was developed. This sensor consists of a thin printed circuit board mounted on the internal wall of a coupling chamber. Its surface is structured into a grid of small conductivity sensor elements which are connected to measurement electronics in a matrix structure fashion. This type of sensor allows a two-dimensional fast and quasi simultaneous measurement of electrical conductivity at the surface of the sensor, which effectively gives images of the instantaneous wetting of the surface. One sensor consists of 32 x 32 individual sensor elements with dimensions of approximately 3 mm x 3 mm and can be operated at a frame rate of about 10 kHz. During the experiments two such sensors were applied, one located



**Fig. 3:** Photo des in die Kupplung eingebauten Leitfähigkeitsflächensensors (links) und Datenerfassungselektronik am Kupplungsgehäuse (rechts).

*Surface conductivity sensor (left) and measurement electronics (right) after mounting.*

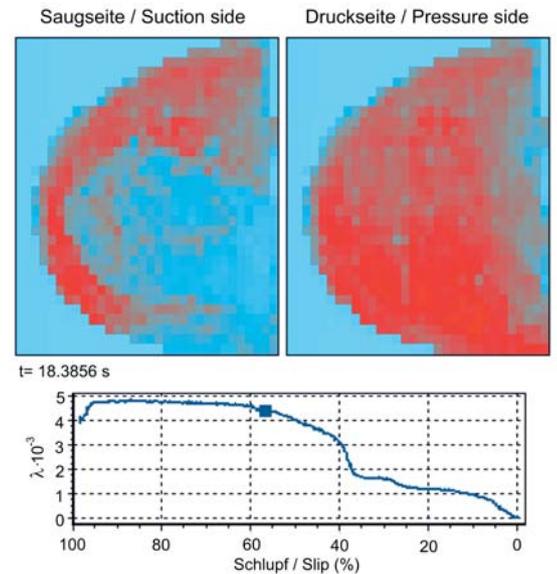


**Fig. 4:** Gammatomographie: Verteilung der Flüssigphase (rot) und der Gasphase (blau) in den pumpenradseitigen Kammern der Turbokupplung.

*Gamma ray tomography: distribution of the liquid phase (red) and the gas phase (blue) in the pump wheel of the coupling.*

angeordnet, um die Strömung an beiden Kammerwänden zu untersuchen. Die erforderliche Messelektronik befindet sich außerhalb des Kupplungsgehäuses und rotiert mit. Die Steuerung durch den PC erfolgt über eine Funkverbindung, die Messdaten werden lokal auf einem miniaturisierten Datenlogger gespeichert und bei Stillstand der Kupplung mittels USB-Schnittstelle zum PC übertragen. Fig. 3 zeigt den in der Kupplung eingebauten Sensor sowie die Messelektronik.

Mit Hilfe der am FZD entwickelten Spezialmesstechnik ist es erstmalig gelungen, räumlich hoch aufgelöste Bilder der Strömungsstruktur in der Kupplung zu erzeugen und dabei gleichzeitig transiente Strömungsvorgänge mit Hilfe eines eingebauten Leitfähigkeitsflächensensors zu erfassen. Die gewonnenen Daten sind von außerordentlicher Bedeutung für die zukünftige Verbesserung des Kupplungsdesigns sowie für die Validierung von Rechnungen mit numerischen Strömungssimulationsprogrammen. Die Ergebnisse dieses Projektes stehen dabei in einer Reihe mit anderen Forschungsarbeiten der Abteilung Experimentelle Thermofluid-dynamik, die auf die experimentelle Untersuchung sowie Modellierung und Simulation von Mehrphasenströmungen für industrielle Anwendungen zielen.



**Fig. 5:** Leitfähigkeitsflächensensor: Momentaufnahme der wandnahen Strömung an der druck- und saugseitigen Kammerwand (oben) mit Darstellung des aktuellen Kupplungsbetriebspunktes (unten). Die Flüssigphase ist rot, die Gasphase blau dargestellt.

*Surface conductivity sensor: snap-shots of the flow along both chamber walls (top) and display of current coupling operation point (bottom). The liquid phase is shown in red, the gas phase in blue.*

on the pressure-side wall and one on the suction-side wall of a chamber in the pump. This was necessary in order to investigate the flow at both chamber walls. The measurement electronics is mounted outside the coupling housing and rotates with it. The control by PC is realised via wireless communication but the acquired digital data is stored in a miniaturised data logger which is part of the acquisition electronics. The data is transmitted to the PC using a USB interface when the coupling has stopped. Fig. 3 shows the sensor mounted in the coupling and the measurement electronics.

Using a combination of computed tomography with gamma radiation and a surface conductivity sensor array both developed by FZD it became possible to obtain high-resolution three-dimensional images of the fluid distribution inside a running fluid coupling and at the same time video-like image sequences of transient flow patterns close to the chamber walls. Such data is of extraordinary importance for the improvement of the design of fluid couplings and for the validation of numerical flow simulation programmes. The results of this project are in a row with other research work done in the department of Experimental Thermal Fluid Dynamics, which aim at experimental investigation, modelling and simulation of multiphase flow in industrial applications.

## Magnetfelder beim Aluminium-Feinguss

Sven Eckert, Vladimir Galindo, Gunter Gerbeth, Bernd Willers

Neue Anwendungen speziell im Automobil- und Luftfahrtsektor stellen die Gießereitechnik heute vor große Herausforderungen. Es geht vor allem um die Herstellung von großen, dünnwandigen und immer komplexer werdenden Gussteilen bei gleichzeitig höheren spezifischen Festigkeitseigenschaften. Im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf entwickelte Magnetsysteme helfen dabei, die steigenden Anforderungen der Industrie an Gussteile in der Praxis umzusetzen.

Für den Metallguss ist bekannt, dass das Einfüllen der Metallschmelze in die Form eine entscheidende Phase im Hinblick auf die Herstellung hochwertiger Gussteile ist. Bei der Formfüllung treten Probleme auf, wenn es an hydraulisch kritischen Punkten der Gussform wie Umlenkungen oder dem Eintritt der Schmelze in die Gusstraube zur Bildung starker Wirbel kommt, die einen Transport von Gasblasen oder von Oxidhäuten in das Innere der Schmelze bewirken. Im Ergebnis entstehen Inhomogenitäten im Gefüge, die in wesentlichem Maße die mechanischen Eigenschaften des Bauteils verschlechtern.

Eine kontaktlose Beeinflussung der Strömung zur Verhinderung derartiger Wirbel ist über Magnetfelder möglich. Statische Magnetfelder können die Strömung von Metallschmelzen bremsen und die turbulenten Fluktuationen deutlich reduzieren. In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) über vier Jahre geförderten Forschungsprojekt des FZD wurde diese Strömungskontrolle systematisch untersucht und entwickelt. Dazu wurden numerische Simulationen und Laborexperimente mit kalten Modellschmelzen (z.B. der bei Raumtemperatur flüssigen Legierung GaInSn) durchgeführt. In solchen kalten Schmelzen kann die lokale Strömung vollständig ausgemessen werden, was für die Validierung der numerischen Berechnungsverfahren wesentlich ist.

Auf dieser Basis wurden Magnetsysteme entwickelt und beim Industriepartner, der Aluminiumfeinguss Soest GmbH & Co. KG (AFS), erprobt. Nach diesen Vortests wurde der Magnet beim Feinguss des in [Fig. 1](#) gezeigten Gussteils eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein Gussteil aus der Flugzeugindustrie mit Wandstärken im Bereich von 3 bis 13 mm. Der industrielle Guss solcher Teile erfolgt im Verbund

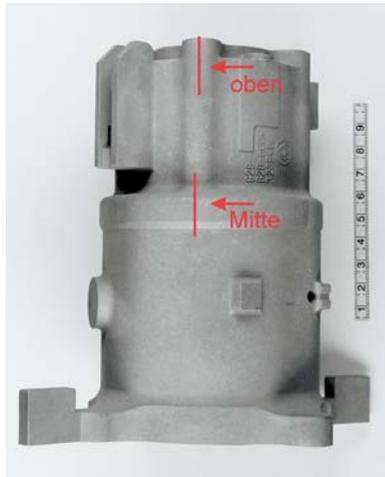
## Magnetic fields in aluminum investment casting

Today new applications in car and aviation industry represent a challenging task for the metal casting industry. An important issue is the realization of large, thin-wall and complex castings which should possess higher strength at the same time. Magnetic systems developed at Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) in close cooperation with industrial partners turned out to be useful in order to meet those growing casting requests.

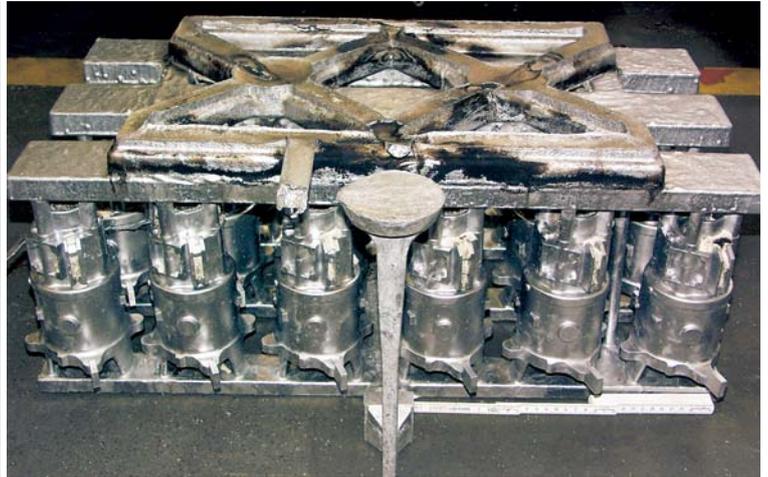
In metal casting it is well known that the pouring process represents a critical issue with respect to the casting quality. A weak point of this process consists of the high velocity at the beginning of the pouring process which is expected to have a significant influence on typical casting problems such as the entrapment of gas bubbles or inclusions into the casting units. A high rate of turbulence in the flow is supposed to transport impurities, oxides or gas bubbles from the walls or some free surfaces, respectively, into the bulk of the casting pattern. This leads to inhomogeneities in the microstructure which may significantly deteriorate the mechanical properties of the casting products.

Magnetic fields represent an attractive tool to influence the incoming flow and, thus, to control the entrapment of gas bubbles or inclusions. Static magnetic fields are able to brake metal flows and to strongly reduce the turbulent fluctuations. This magnetic flow control was systematically investigated at FZD in frame of a research project funded by the German Ministry of Education and Research. Numerical simulations of the pouring process were accompanied by model experiments using the room-temperature metallic melt GaInSn. In this melt the local velocity field can be measured with full resolution, thus enabling a validation of the numerical calculations.

On this basis, special magnet systems for the pouring flow control have been developed and tested at the industry partner Aluminiumfeinguss Soest (AFS). After some preliminary tests, the magnet was applied to the investment casting shown in [Fig. 1](#), a casing for the aircraft industry with wall thicknesses in the range of 3...13 mm. The realistic industrial casting arrangement consists of 18 pieces as shown in [Fig. 2](#). All 18 castings are filled with the



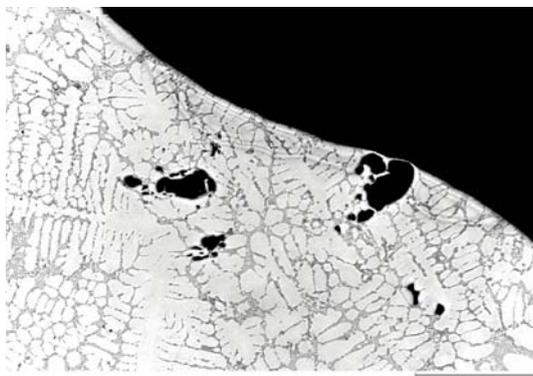
**Fig. 1:** Aluminium-Gussteil  
Aluminum casting



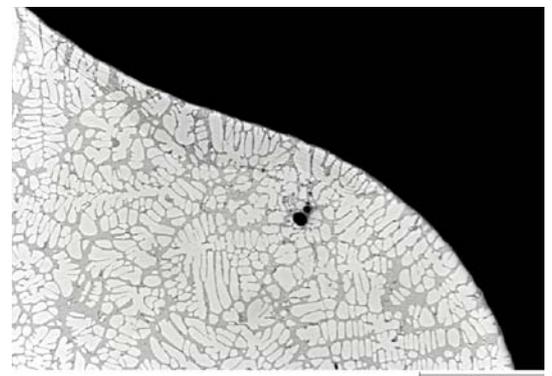
**Fig. 2:** Anordnung der 18 Gussteile in einer Traube.  
Im Vordergrund der Kanal zum Einfüllen der Schmelze.  
Arrangement of 18 casting parts into one casting unit.  
In front the channel for the melt pouring.

von  $3 \cdot 6 = 18$  Gussteilen wie in Fig. 2 dargestellt. Alle 18 Gussteile werden durch den in Fig. 2 im Vordergrund sichtbaren Füllkanal bespeist, an dem der Magnet angeordnet wird. Einen typischen Effekt der magnetfeldbedingten Strömungsberuhigung zeigt die metallografische Auswertung in Fig. 3. Wie der Vergleich der Gefüge ohne bzw. mit Magnetfeld deutlich belegt, bewirkt die magnetfeldbedingte Strömungsberuhigung einen signifikant geringeren Eintrag von Gasblasen in das Gussteil. Es wurden Serien von einigen Hundert dieser Bauteile gegossen, und anschließend den für solche Gussteile üblichen Qualitätskontrollen unterzogen. Es zeigte sich, dass durch den Einsatz des Magnetfeldes die Rate der als Ausschuss einzustufenden Gussteile um etwa den Faktor vier reduziert werden konnte. Das Verfahren der magnetfeldgesteuerten Formfüllung wurde gemeinsam mit dem Industriepartner AFS patentiert.

melt through the pouring channel visible in front of Fig. 2 at which the magnet was installed. A typical effect of the magnetic flow damping shows the metallographic analysis in Fig. 3. The comparison of microstructures with and without magnetic field clearly shows that the magnetic field results in a reduced entrapment of gas bubbles into the casting. Several hundreds of castings have been performed, and were inspected according to industrial standards. The steady magnetic field improves the quality of the castings significantly, thus reducing the rate of casting failures by a factor of about four. The method of a magnetic field controlled pouring of the casting melt is patented together with the industrial partner AFS.



**Fig. 3:** Mikrostruktur im Bereich der mittleren Stufe des Gussteils von Fig. 1 ohne Magnetfeld (links) und mit einem Magnetfeld von 0.86 Tesla im Bereich des Einfüllkanals.



*Microstructure in the step region at mid-height of the casting part of Fig. 1 without magnetic field (left) and with a magnetic field of 0.86 T (right) applied to the pouring channel.*

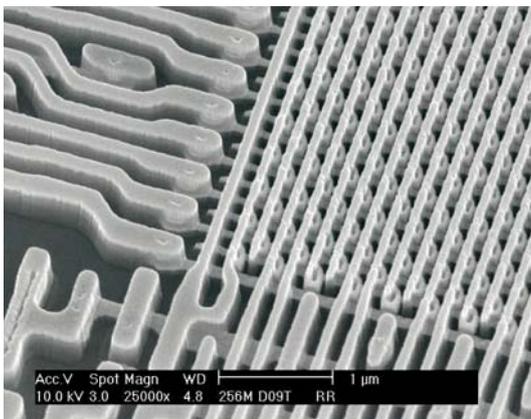
## Erfolgreich gestartet: FZD und Qimonda

Johannes von Borany, Steffen Teichert (Qimonda)

Die stetige Verkleinerung der Strukturdimensionen bei Speicherchips erfordert zunehmend den Ersatz bisher eingesetzter Materialsysteme (Fig. 1).

Qimonda entwickelt am Standort Dresden die nächsten Technologien für Speicherbauelemente. Für diese Technologien spielen beispielsweise neue Materialien mit hoher Dielektrizitätskonstante ("High-k"-Material) eine wichtige Rolle zum Erreichen der Produktspezifikationen bei ständig höherer Speicherdichte. Bei der Entwicklung neuer Materialien und Schichtsysteme und deren Integration in einen Fertigungsprozess nimmt die Analytik eine ausschlaggebende Funktion ein. Da die Schichten inzwischen mitunter nur noch wenige Atomlagen "dick" sind, werden Methoden benötigt, die einerseits eine Tiefenauflösung im Bereich einzelner Atomlagen besitzen und andererseits für solch geringe Materialmengen empfindlich genug sind.

Hier trafen sich das Interesse von Qimonda Dresden und die analytischen Möglichkeiten im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) in Zusammenarbeit mit dem Center of Competence im Fraunhofer CNT. Mit der hochauflösenden Ionenstrahlanalytik gelingt es, Element-Tiefenprofile an ultradünnen Schichten mit einer sehr hohen Tiefenauflösung zu

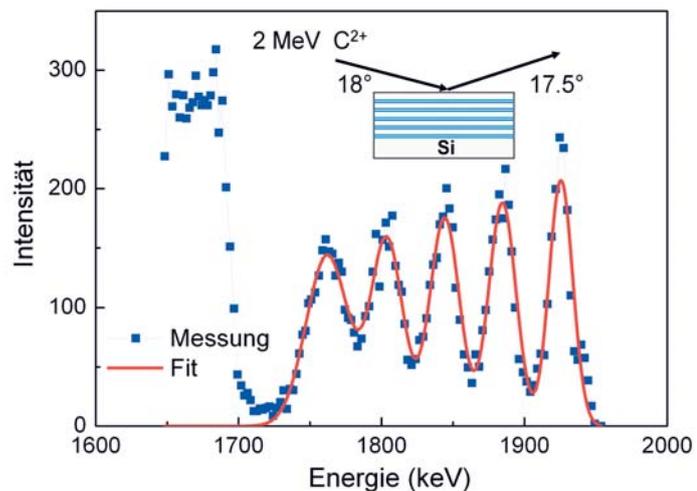


**Fig. 1:** Chipstruktur  
Detail of a memory chip

## Start of a cooperation: FZD and Qimonda

Qimonda AG Dresden, is a main location for the development of the next generation(s) of nano-electronic memory devices (chips) with steadily increasing memory density (Fig. 1). To fulfil the requirements of future device specification, the continuous decrease of the structure dimensions of memory chips often requires the replacement of classical materials involved in chip technology. Among others, new materials with high permittivity ("High-k" dielectrics) for the gate capacitors are of essential importance. For the development of new layer materials and their integration into the technology of chip fabrication, the analytical characterization of these materials plays a crucial role. As the layers nowadays have only a thickness of a few nanometers, techniques are necessary which enable an atomic monolayer depth resolution and a high sensitivity for such ultra-thin films.

Qimonda's interest meets the analytical competence of the Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) within this subject. The high-resolution ion-beam analysis enables the measurement of elemental depth profiles of ultra-thin films with an extraordinary depth resolution (Fig. 2). The main advantage of this technique is the possibility to



**Fig. 2:** Hochauflösende Ionenstrahlanalytik: In einer Multilagenschicht  $5 \times (0.57 \text{ nm Ta}_{0.1}\text{Si}_{0.9} / 5.2 \text{ nm Si})$  kann das Ta der einzelnen Schichten deutlich nachgewiesen werden.

*High-resolution ion beam analysis (HRIBA): The Ta contents from the different TaSi layers within a multilayer stack of  $5 \times (0.57 \text{ nm Ta}_{0.1}\text{Si}_{0.9} / 5.2 \text{ nm Si})$  can be clearly distinguished.*



**Fraunhofer** Center  
Nanoelektronische  
Technologien

messen (Fig. 2) und diese Profile hinsichtlich Tiefe und Elementkonzentration standardfrei zu quantifizieren. Beide Vertragspartner werden dieses Verfahren weiter qualifizieren, damit die zukünftigen Anforderungen aus den neuen Material- und Schichtsystemen insbesondere bei der Empfindlichkeit erfüllt werden. Ein anderes Feld der Zusammenarbeit ist die röntgenanalytische Charakterisierung der strukturellen Schichteigenschaften, z.B. deren kristalline Phasen und die Stabilität bei der Anwendung thermischer Prozessschritte. Von besonderem Interesse ist dabei die Einbindung des Synchrotron-Messplatzes des FZD - Rossendorf Beamline - an der Europäischen Synchrotron-Strahlungsquelle in Grenoble. Durch die um Größenordnungen höhere Strahlintensität und die Möglichkeit der Energievariation der Röntgenstrahlung ist eine sehr hohe Empfindlichkeit und optimale Anpassung an unterschiedliche Materialsysteme gegeben.

Die im Herbst 2006 vertraglich vereinbarte Zusammenarbeit zwischen Qimonda und dem Forschungszentrum über zunächst zwei Jahre schließt neben der Nutzung und Weiterentwicklung der im FZD vorhandenen Analysetechnik auch die enge Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologien (CNT) – ein Entwicklungszentrum für zukünftige Chiptechnologien – ein.

determine the depth and the concentration quantitatively without a reference standard. Qimonda and FZD will qualify this technique to further improve the sensitivity with respect to future material classes.

Another field of cooperation is the structural characterization using x-ray techniques, e.g. the investigation of phase formation and/or transformations during thermal treatments. Here, synchrotron radiation is of special interest, which is available at the Rossendorf Beamline (ROBL) at the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble. The orders of magnitude higher X-ray intensity in comparison to a laboratory source and the possibility to vary the X-ray energy offers options to improve the sensitivity and to adjust the measuring conditions for optimized thin film analysis.

The collaboration between Qimonda and FZD started in autumn 2006. Besides the use and further development of the analytical equipment of the FZD it includes a close cooperation with the Fraunhofer Center of Nanotechnology CNT Dresden, which was established as a development center of future technologies for processor and memory technologies.

## Radiopharmaka- Herstellung

Frank Füchtner, Jörg Zessin, Stephan Preusche, Jörg Steinbach

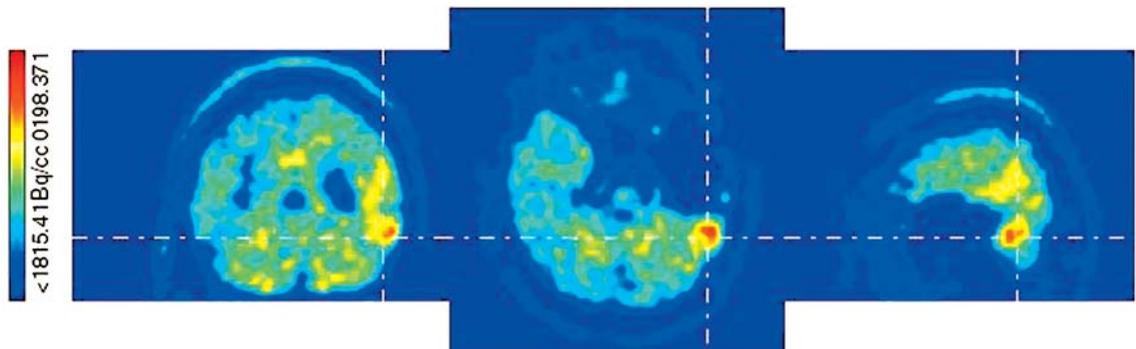
Für die im Forschungszentrum betriebene Krebsforschung spielt das moderne bildgebende Verfahren der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) eine entscheidende Rolle. Die PET ist für die Darstellung von Tumoren und Metastasen die derzeit empfindlichste Methode. Sie basiert auf der Gabe eines radioaktiven Arzneimittels, dessen Strahlung von außen mit Hilfe von Detektoren verfolgt und gemessen werden kann. Dementsprechend ist die radiopharmazeutische Forschung im FZD einerseits auf die Bildgebung von Tumoren auf molekularer Ebene und andererseits auf die Therapie onkologischer Erkrankungen mit Hilfe von radioaktiv markierten Substanzen fokussiert. Am Anfang eines neuen Radiopharmakons stehen radiochemisch-radiopharmakologische Grundlagenarbeiten zur Entwicklung einer maßgeschneiderten Substanz. Dem folgen Tests an Zellen und kleinen Versuchstieren, bis schließlich die Herstellung des Präparats zur Nutzung für die medizinische Forschung und klinische Anwendung direkt am Menschen erfolgen kann. Der Entwicklungsprozess eines neuen Radiopharmakons umfasst somit chemische, biologische, pharmakologische sowie medizinische Forschungsarbeiten, die einen mehrjährigen Zeitraum erfordern.

Die Nutzung von Substanzen mit kurzlebigen, Positronen emittierenden Radonukliden für die medizinische Forschung setzt voraus, dass sie unter Bedingungen hergestellt werden, die ihre Anwendung als radioaktive Arzneimittel am Menschen erlauben. Wie bei konventionellen Pharmaka erfordert dies die strikte Einhaltung einer Vielzahl gesetzlicher Grundlagen wie beispielsweise das Arzneimittelgesetz und GMP-Richtlinien (GMP - Good Manufacturing Practice). Das Forschungszentrum erhielt 1997 die Herstellungserlaubnis für PET-Radiopharmaka und besitzt seitdem den Status eines Arzneimittelherstellers. Im Jahr 2006 wurde die arzneimittelrechtliche Zulassung für das Radiopharmakon 2-[<sup>18</sup>F]Fluor-2-desoxy-D-glukose (FDG, *GlucosRos*<sup>®</sup>) erteilt. *GlucosRos*<sup>®</sup> wird vom FZD in Kooperation mit einem mittelständischen Unternehmen vertrieben. Direkte Abnehmer des Präparates sind zugleich auch enge Forschungspartner des FZD, das sind die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Technischen Universität Dresden im gemeinsamen

## Manufacturing of radiopharmaceuticals

The modern imaging process Positron Emission Tomography (PET) plays a decisive role in cancer research performed at the research centre. At the moment PET is the most sensitive method of displaying tumours and metastasis. It is based on the administration of a radioactive substance, radiation from which is followed from outside using detectors and can be measured. On the one hand radiopharmaceutical research at FZD is focussed on displaying tumours on a molecular level and on the other hand on therapy for oncological illnesses with the aid of radioactively marked substances. The first step in the development of a new radiopharmaceutical is radiochemical-radiopharmaceutical background work to develop a tailor-made substance. Thereafter, the preparation is tested on cells and small laboratory animals and finally produced for use in medical research and clinical application. The development process of a new radio-medicine therefore includes chemical, biological, pharmaceutical and medical research over many years.

Substances for medical research with short-lived radionuclides emitting positrons are manufactured under conditions allowing their use as radioactive medication for humans. As with conventional pharmaceuticals, this strictly demands the observation of a multitude of legal regulations like the medicines law and the GMP guidelines (GMP - Good Manufacturing Practice). The Rossendorf research centre received the manufacturing authorization for PET radiopharmaceuticals in 1997 and has since then possessed the status of a pharmaceutical manufacturer. The radiopharmaceutical 2-[<sup>18</sup>F]Fluor-2-desoxy-D-glukose (FDG, *GlucosRos*<sup>®</sup>) obtained a marketing authorization in 2006. *GlucosRos*<sup>®</sup> is marketed by FZD in cooperation with a small business. Direct purchasers of this preparation are also close research partners of the FZD. These are the clinic and health centre for nuclear medicine at the Technische Universität Dresden in the shared PET-Centre, and the centre for medical radiation research in oncology, abbreviated „OncoRay“, a cooperative enterprise of the TU Dresden, the FZD and the University Hospital Dresden. External nuclear medical establishments are also supplied with radiopharmaceuticals manufactured by FZD for research purposes and clinical use.



**Fig. 1:** Hirn-PET mit 3-O-Methyl- $^{18}\text{F}$ Fluor-DOPA:  
Rezidiv eines Hirntumors (Astrozytoms) 4 Jahre nach  
operativer Entfernung und postoperativer Strahlentherapie

*Brain-PET with 3-O-Methyl- $^{18}\text{F}$ Fluor-DOPA:  
brain tumor recurrent (Astrocytoma) 4 years after resection  
and postoperative radiotherapy*

PET-Zentrum sowie das Zentrum für medizinische Strahlenforschung in der Onkologie, kurz „Onco-Ray“, eine gemeinsame Einrichtung der TU Dresden, des FZD und des Universitätsklinikums. Aber auch externe nuklearmedizinische Einrichtungen werden für Forschungszwecke mit im FZD hergestellten Radiopharmaka versorgt.

Derzeit stehen zwölf unterschiedliche Radiopharmaka zur Verfügung. Deren Herstellung und Qualitätskontrolle sind mit besonderen Herausforderungen verbunden, die sich etwa durch die kurzen Halbwertszeiten der verwendeten Radionuklide ergeben. Arbeitstäglich werden bis zu vier unterschiedliche Radiopharmaka hergestellt, was sich im Monat auf bis zu 300 Patientendosen summiert. Neue Anforderungen aus der Forschung erfordern auch neue Radiotracer. Ein Beispiel für ein neues Präparat ist das im FZD entwickelte Radiopharmakon 3-O-Methyl- $^{18}\text{F}$ Fluor-DOPA, eine mit dem kurzlebigen Radionuklid Fluor-18 markierte Aminosäure. Sie erlaubt die Erfassung von Hirntumoren, die für die Beurteilung des Erfolges einer vorangegangenen Therapie wie der operativen Entfernung oder Strahlentherapie von Tumoren von Bedeutung ist (Fig. 1). Gegenstand weiterer medizinischer Forschungsarbeiten ist, ob dieses Radiopharmakon das Potential für die Diagnostik anderer Tumorentitäten hat.

Die Verfügbarkeit der Radiopharmaka ist die Basis für die Zusammenarbeit mit zahlreichen externen Kooperationspartnern. Der hohe GMP-Standard der Radiopharmakaherstellung macht das Forschungszentrum als Partner der global agierenden Pharmaindustrie für die Durchführung von klinischen Studien attraktiv.

At the moment, there are twelve different radiopharmaceuticals available. Their manufacture and the quality control pose special challenges arising partly from the short half-life of the radionuclides used. Up to four different radiopharmaceuticals are produced every working day, which gives a total of up to 300 patient doses per month. New challenges arising from research also demand new radiotracers. An example of a new preparation is the radiopharmaceutical developed by FZD 3-O-Methyl- $^{18}\text{F}$ Fluoro-DOPA, an amino-acid marked with the short-lived radionuclide fluorine 18. This permits the detection of brain tumours, which is important in the evaluation of the success of completed treatments like the operative removal of tumours, or radiation therapy of tumours (Fig. 1). The aim of further medical research is to determine whether this radiopharmaceutical has potential in the diagnosis of other tumour entities.

The availability of radiopharmaceuticals is the basis of collaboration with numerous external cooperation partners. The high GMP standard of radiopharmaceutical manufacture makes the research centre attractive as a partner for the globally active pharmaceutical industry in the implementation of clinical studies.

**1. Radionukliderzeugung am Zyklotron**

Nuklid	HWZ [min]	Kernreaktion	max. Aktivität [GBq]
<sup>11</sup> C	20	<sup>14</sup> N(p,α) <sup>11</sup> C	100
<sup>13</sup> N	10	<sup>16</sup> O(p,α) <sup>13</sup> N	15
<sup>15</sup> O	2	<sup>14</sup> N(d,n) <sup>15</sup> O	24
<sup>18</sup> F	110	<sup>18</sup> O(p,n) <sup>18</sup> F <sup>-</sup>	120
		<sup>20</sup> Ne(d,α) <sup>18</sup> F <sub>2</sub>	12

**1. Radionuclide production in the Cyclotron**

Nuclide	HL [min]	Nuclear reaction	maximum [GBq]
<sup>11</sup> C	20	<sup>14</sup> N(p,α) <sup>11</sup> C	100
<sup>13</sup> N	10	<sup>16</sup> O(p,α) <sup>13</sup> N	15
<sup>15</sup> O	2	<sup>14</sup> N(d,n) <sup>15</sup> O	24
<sup>18</sup> F	110	<sup>18</sup> O(p,n) <sup>18</sup> F <sup>-</sup>	120
		<sup>20</sup> Ne(d,α) <sup>18</sup> F <sub>2</sub>	12

**2. Herstellung im Reinraum unter GMP-Bedingungen**

Radiopharmaka

**Zucker**

2-[<sup>18</sup>F]Fluoro-2-desoxy-D-glukose

**Aminosäuren**

6-[<sup>18</sup>F]Fluoro-L-DOPA

3-O-Methyl-6-[<sup>18</sup>F]Fluor-L-DOPA

**Rezeptorliganden**

[<sup>11</sup>C]GSK215083

(+)-[<sup>18</sup>F]FMe-McN5652

16α-[<sup>18</sup>F]Fluoroestradiol

**weitere**

[<sup>11</sup>C]Acetat, [<sup>18</sup>F]FMISO, [<sup>18</sup>F]Fluorid

[<sup>15</sup>O]Wasser, [<sup>13</sup>N]Ammoniak

**2. Manufacture in clean room under GMP conditions**

Radiopharmaceuticals

**Sugar**

2-[<sup>18</sup>F]Fluoro-2-desoxy-D-glukose

**Amino acids**

6-[<sup>18</sup>F]Fluoro-L-DOPA

3-O-Methyl-6-[<sup>18</sup>F]Fluor-L-DOPA

**Receptor ligands**

[<sup>11</sup>C]GSK215083

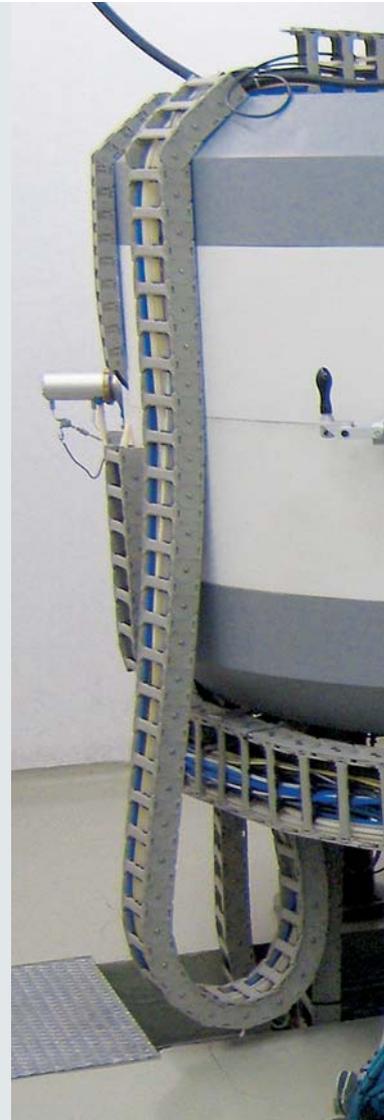
(+)-[<sup>18</sup>F]FMe-McN5652

16α-[<sup>18</sup>F]Fluoroestradiol

**Other**

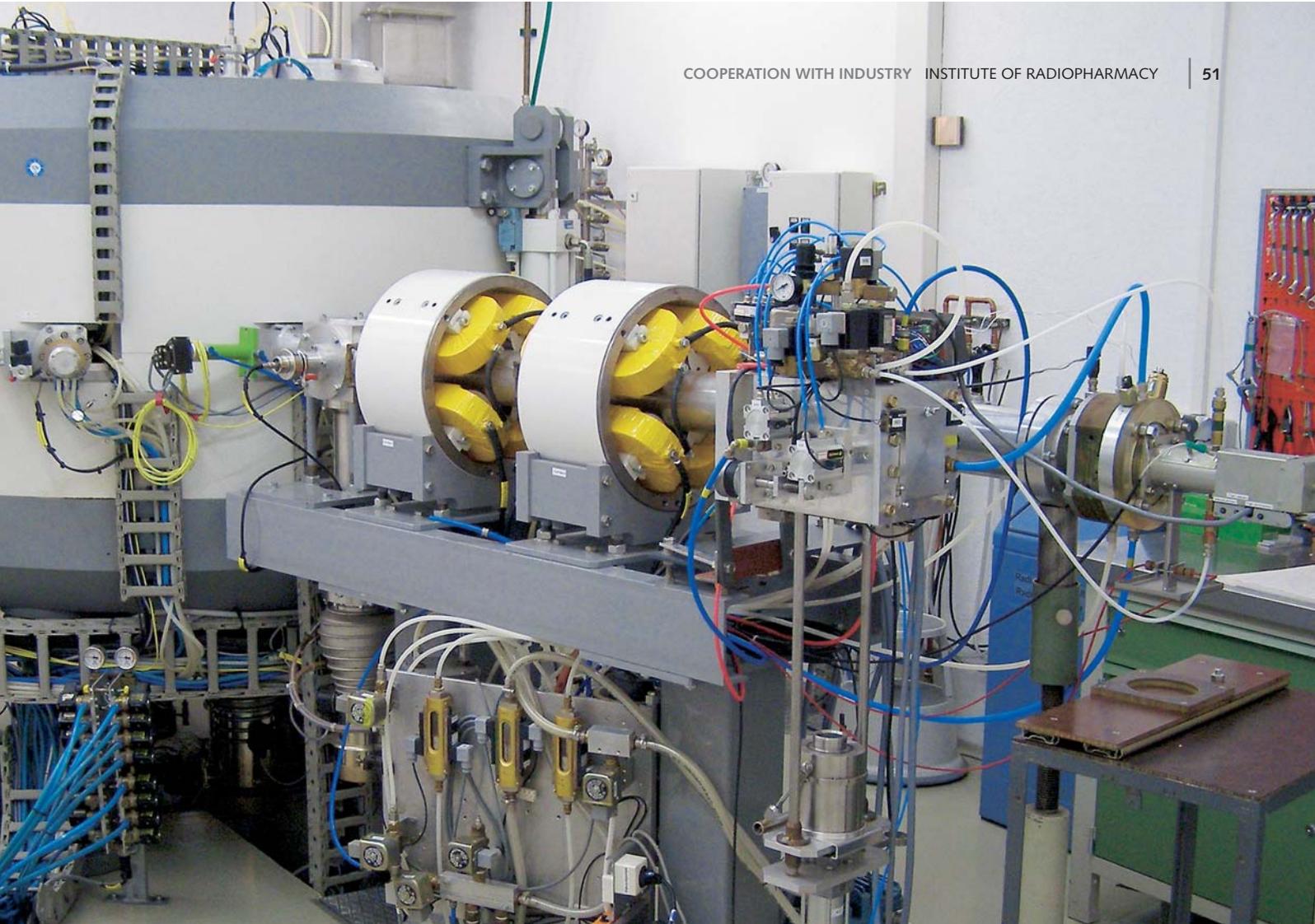
[<sup>11</sup>C]Acetate, [<sup>18</sup>F]FMISO, [<sup>18</sup>F]Fluoride

[<sup>15</sup>O]Water, [<sup>13</sup>N]Ammonia



**Radiopharmakaherstellung** Radiopharmaceutical manufacture





### 3. Qualitätskontrolle Freigabe der Arzneimittel

#### Prüfparameter

- Identität
- Radiochemische Reinheit
- Chemische Reinheit
- Radionuklidreinheit
- Spezifische Aktivität
- pH-Wert, Osmolalität
- Sterilität, Apyrogenität

#### Nuklearmedizinische Diagnostik

- Onkologie
- Neurologie
- Kardiologie

### 3. Quality controls, release as medicines

#### Test parameters

- Identity
- Radiochemical purity
- Chemical purity
- Radionuclide purity
- Specific activity
- pH value, osmolality
- Sterility, apyrogenity

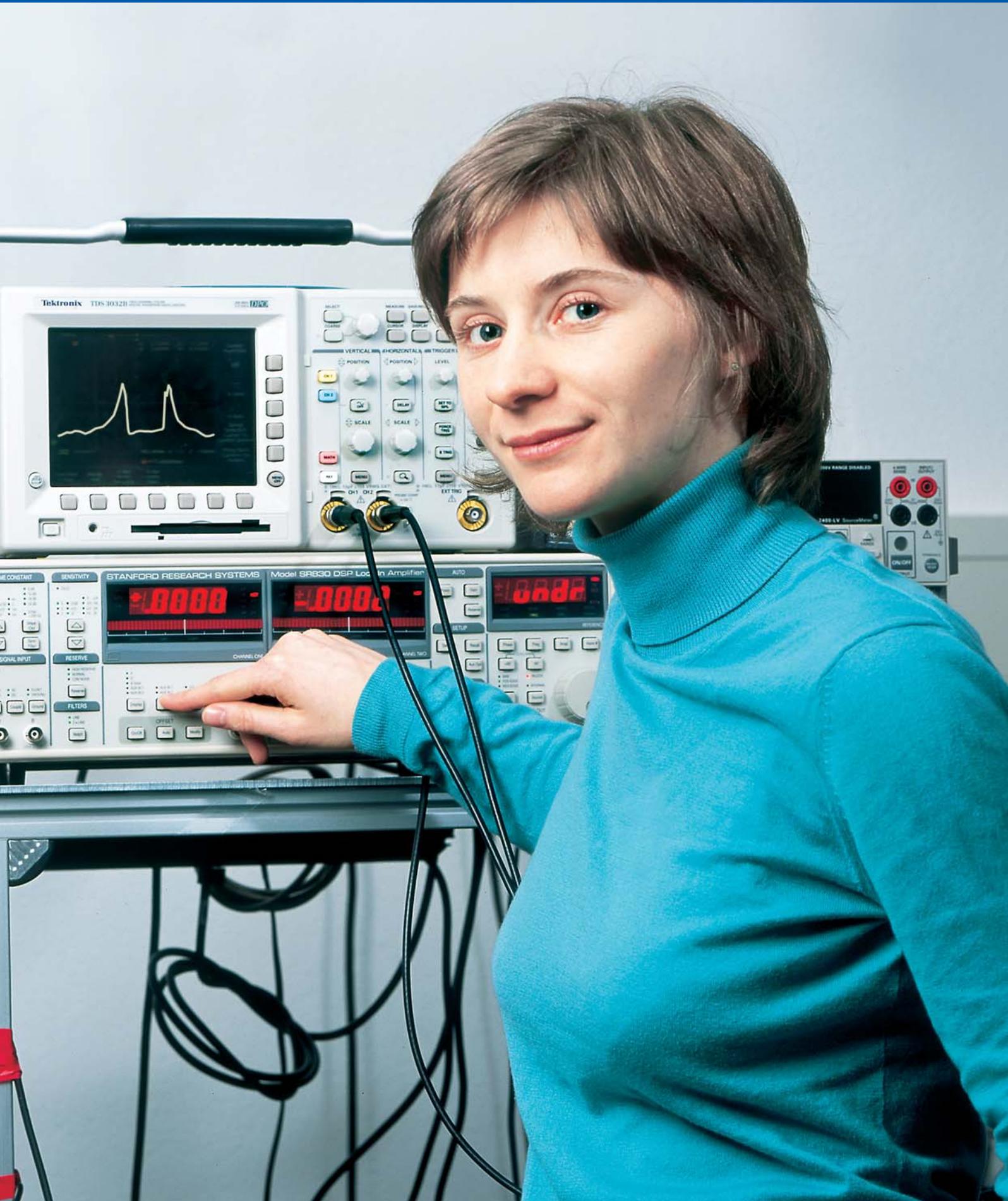
#### Nuclearmedical diagnosis

- Oncology
- Neurology
- Cardiology



# DRESDEN. STADT DER WISSENSCHAFT 2006





# Ereignisse

**Personalia** | Auszeichnungen und Preise

**Termine** | Workshops, Kongresse, Seminare

## Personalia

### Amtswechsel im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf

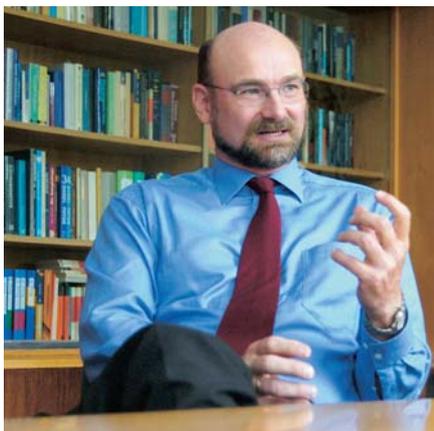
Am 3. Mai 2006 wurde Prof. Dr. Roland Sauerbrey feierlich in sein neues Amt als Wissenschaftlicher Direktor im Forschungszentrum eingeführt. Gleichzeitig wurde Prof. Dr. Bernd Johannsen nach gut dreijähriger Amtszeit als Wissenschaftlicher Direktor verabschiedet. Der Chemiker Prof. Bernd Johannsen blickt auf ein reichhaltiges und erfolgreiches Berufsleben zurück. Nach seinem Studium der Lebensmittelchemie in Dresden und der Promotion zu einem Thema der Proteinchemie kam er 1966 in das damalige Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf. Hier beschäftigte er sich zunächst mit Radio-Iodierungen von Peptiden und Proteinen, leitete dann zur Entwicklung von Radioimmunoassays über, um sich schließlich dem Radionuklid <sup>99m</sup>Tc zu widmen. Seine Habilitationsschrift aus dem Jahr 1981 avancierte zu einem Standardwerk der Technetium-Radiopharmazie. Als Anerkennung erhielt er hierfür den Walter-Friedrich-Preis der Gesellschaft für Radiologie der DDR.

1982 wechselte er an die Charité Berlin. Meilensteine dort waren die Entwicklung eines MAG3-Kits, die Entwicklung von in-vitro-Tumormarkern, die Monographie „Radiopharmakologie“, sein Wirken als IAEA-Experte (International Atomic Energy Agency), die Vorstandstätigkeit in der Gesellschaft für Nuklearmedizin der DDR sowie im Vorstand der Berlin-Brandenburgischen Gesellschaft für Nuklearmedizin. 1990 wurde ihm der Virchow-Preis verliehen. Prof. Johannsen ist Autor von ca. 200 Publikationen und hat zahlreiche Doktoranden erfolgreich zur Promotion geführt. Er war Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin. Erwähnt werden sollen hier auch sein Engagement für Gründung, Aufbau und Entwicklung der Arbeitsgemeinschaft Radiochemie/ Radiopharmazie in der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN), die seit 1993 ca. 150 Fachkollegen zusammenführt, sowie die langjährige Leitung des Arbeitsausschusses Radiopharmaka der DGN. Seit 1. April 2006 ist Prof. Bernd Johannsen Ehrenmitglied der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin.

Nach der Wende kam Prof. Johannsen als Gründungsdirektor des jetzigen Instituts für Radiopharmazie aus Berlin nach Dresden zurück. Fachlich richtete er das Institut auf die Entwicklung von Technetium-markierten Liganden für Hirnrezeptoren inklusive radiopharmakologischer Vorarbeiten aus; gleichzeitig entstand unter seiner Leitung – gemeinsam mit der Medizinischen Fakultät der TU Dresden – das erste PET-Zentrum der neuen Bundesländer.

Am 1. März 2003 übernahm Prof. Johannsen die Leitung des Forschungszentrums. In seine Amtszeit fielen neben generellen Fragen der Profilierung und Zentrumsentwicklung der weitere Ausbau und die Fertigstellung der Strahlungsquelle ELBE sowie der Aufbau des Instituts Hochfeld-Magnetlabor Dresden.





Prof. Roland Sauerbrey ist ausgewiesener Experte auf dem Gebiet der Hochleistungslaser-Physik. Sein Karriereweg führte ihn von Würzburg über die Privatuniversität „Rice University“ in Houston/Texas an die Friedrich-Schiller-Universität Jena. Dort setzte er im Jahr 1996 einen der damals stärksten Laser der Welt in Betrieb. Außerdem begann in Jena sein Engagement für die Physik in Deutschland. Prof. Sauerbrey war von 1998 bis 2002 das für wissenschaftliche Programme und Preise zuständige Vorstandsmitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) und von 2002 bis 2004 DPG-Präsident. Die Mitgliedschaft bei folgenden Organisationen zeichnet Prof. Sauerbrey als herausragenden Vertreter seines Faches aus: Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Mitglied seit 1998), Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt (Mitglied seit 1998), American Physical Society (APS), Optical Society of America (OSA, Fellow seit 2002), Institute of Physics (IOP, Fellow seit 2002) und Russian Academy of Sciences (Honoris Causa seit 2003). Er gewann zahlreiche Preise, u. a. den Thüringer Forschungspreis (2004) und den Prix la Recherche des französischen Wissenschaftsmagazins „La Recherche“ (2005).



#### **Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung**

Unter der Leitung von PD Dr. Ulrich Schramm wurde zum 1. November 2006 die Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung im Forschungszentrum gegründet. Dr. Schramm hat 1994 am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg mit einer Arbeit über laserinduzierte Rekombinationsprozesse in überlagerten Ionen- und Elektronenstrahlen promoviert. Anschließend war er dort als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Speicherring TSR tätig. Im Jahr 1996 wechselte er an die Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), wo er sich mit der Dynamik lasergekühlter Ionenstrahlen befasste. Der Nachweis kristalliner Strahlen mündete 2002 in seine Habilitation. Dort sowie am Max-Planck-Institut für Quantenoptik war er auch für Laserbeschleunigungsexperimente von Ionen und Elektronen verantwortlich. Seit April 2006 war Dr. Schramm an der LMU als Professor tätig. Im Jahr 2002 wurde ihm der mit 7500 Euro dotierte Röntgenpreis der Universität Gießen verliehen.

Teilchenbeschleuniger, die auf mit Lasern erzeugten Plasmen basieren, entwachsen durch die rasante Entwicklung der Hochleistungskurzpuls laser gerade den Kinderschuhen und versprechen faszinierende Eigenschaften. Auf nur wenigen Millimetern wurden beispielsweise Elektronenenergien von einigen 100 MeV, also etwa der zehnfachen Energie des Elektronenbeschleunigers ELBE, in nur wenigen Mikrometer langen Pulsen erzielt, allerdings bei erheblich niedrigerer Puls wiederholrate. Um im FZD die Expertise im Bereich brillanter Strahlungsquellen mit dem aufstrebenden Feld der Laserbeschleunigung zu bündeln, soll bis Frühjahr 2008 in der ELBE-Halle ein Hochleistungslaserlabor eingerichtet werden. Zwei Fragestellungen stehen bei der Forschung mit dem dann installierten 100 TW-Laser im Mittelpunkt: zum einen geht es um elementare Fragen der Wechselwirkung extremer Felder mit Materie und zum anderen um die medizinische Anwendung laserbeschleunigter Strahlen sowie laserbasierter brillanter Strahlungsquellen im Röntgenbereich. Im Zusammenspiel mit der Strahlungsquelle ELBE und der Expertise im Bereich der Strahlenbiologie – hier ist die enge Kooperation im Zentrum für Innovationskompetenz „OncoRay“ zu nennen – soll im FZD diese Technologie zur Anwendungsreife gebracht werden.

### Gastprofessur für Prof. Dr. Frank Gabriel

Prof. Dr. Frank Gabriel wurde am 17. Mai 2006 offiziell zum Gastprofessor an der Universität Peking ernannt. Als Leiter der Abteilung Forschungstechnik im FZD war er mit der Leitung für Entwicklung und Bau des Beschleunigers „Strahlungsquelle ELBE“ beauftragt. Nun wird er das in Rossendorf erworbene Know-how im Rahmen der Gastprofessur an die Universität Peking weitergeben, wo ein Zwilling der Rossendorfer Anlage gebaut werden soll. Bereits im März 2005 wurde ein erster Versuchsaufbau, der zur Erzeugung von Elektronenpulsen dient, an der Pekinger Anlage in Betrieb genommen.



### Ehrendoktorwürde für Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk

Dem Kaufmännischen Direktor des FZD, Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk (links im Bild), wurde am 11. Mai 2006 die Ehrendoktorwürde der Slowakischen Technischen Universität (STU) Bratislava verliehen. Damit wurde sein Engagement für den Wissenschaftlertausch und die Nachwuchsförderung zwischen der Slowakei und Deutschland sowie die Beratung und Unterstützung bei der Einführung moderner Managementmethoden an der Fakultät für Werkstoffe und Technologien der STU geehrt.



### Habilitationen

Im Jahr 2006 schloss Herr PD Dr. Frank Wüst seine Habilitation mit dem Titel „Transition metal-mediated syntheses with the short-lived positron emitters  $^{11}\text{C}$  and  $^{18}\text{F}$ “ ab. Die Habilitation an der Technischen Universität Dresden bezieht sich auf das Berufungsgebiet Biochemie.

Ebenfalls im letzten Jahr wurde das Berufungsgebiet für Herrn PD Dr. Jens Pietzsch an der Technischen Universität Dresden erweitert. Die „Umhabilitation“ betrifft das Gebiet Pathobiochemie. Herr PD Dr. Pietzsch ist, wie Herr PD Dr. Wüst auch, Abteilungsleiter am Institut für Radiopharmazie des FZD.

## Auszeichnungen und Preise

### Behnken-Berger-Preis an Frau Dr. Katia Parodi

Frau Dr. Katia Parodi wurde für ihre Arbeiten auf dem Gebiet „Anwendung physikalischer Methoden in der Radiologie“ mit dem ersten Behnken-Berger-Preis 2005 ausgezeichnet. Ausdrücklich in die Auszeichnung eingeschlossen war dabei die im FZD entstandene Promotion unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. Wolfgang Enghardt mit dem Titel „On the feasibility of dose quantification with in-beam PET data in radiotherapy with  $^{12}\text{C}$  and proton beams“. Frau Dr. Parodi erhielt hierfür bereits den FZD-Doktorandenpreis 2004. Der erste Preis der Behnken-Berger-Stiftung ist mit 10.000 Euro dotiert und wurde am 17. November 2006 in Berlin überreicht. Nach der Promotion in Dresden ging Dr. Parodi an das Massachusetts General Hospital der Harvard Universität in Boston, heute arbeitet sie mit beim Deutschen Schwerionentherapieprojekt in Heidelberg.





#### Boysen-Preis an Herrn Dr. Hans-Georg Willschütz

Der Förderpreis der Friedrich-und-Elisabeth-BOYSEN-Stiftung des Jahres 2005 ging an Herrn Dr. Hans-Georg Willschütz vom Institut für Sicherheitsforschung für seine Dissertation zum Thema: „Thermomechanische Modellierung eines Reaktordruckbehälters in der Spätphase eines Kernschmelzunfalls“. Die Friedrich-und-Elisabeth-Boysen-Stiftung vergibt seit vier Jahren einen mit 5.000 Euro dotierten Preis für Dissertationen junger Wissenschaftler auf dem Gebiet der Umwelttechnik an der TU Dresden. Der Preis wurde Herrn Dr. Willschütz am 29. April 2006 zum Tag der Fakultät Maschinenwesen übergeben.



#### Siempelkamp Kompetenzpreis 2006 an Herrn André Bieberle

Herrn Dipl.-Ing. André Bieberle wurde auf der Jahrestagung für Kerntechnik in Aachen (16.05. - 18.05.2006) der Siempelkamp Kompetenzpreis 2006 für seinen Vortrag „Messung der Dampfgehaltsverteilung in Brennelementbündeln mittels eines neuen hochauflösenden Gammatomographen“ verliehen. Dieser Preis wird für herausragende Leistungen von Doktoranden auf dem Gebiet der Kerntechnik vergeben. Herr Bieberle ist gemeinsamer Doktorand des Forschungszentrums und der AREVA NP GmbH.

### FZD-Preise 2006

#### Forschungspreis

Dr. Gunter Gerbeth, Dr. Frank Stefani und Thomas Gundrum - für den erstmaligen experimentellen Nachweis der Magneto-Rotationsinstabilität.

Bei der Entstehung von Sternen und Planetensystemen, aber auch bei der Bildung Schwarzer Löcher im Zentrum von Galaxien, spielt die Magneto-Rotationsinstabilität eine entscheidende Rolle. Seit Jahren gibt es weltweite Bestrebungen, diesen Prozess im Laborexperiment nachzuweisen. Im FZD wurde gemeinsam von Dresdner Physikern und Wissenschaftlern vom Astrophysikalischen Institut Potsdam (AIP) das Experiment PROMISE zum Nachweis der Magneto-Rotationsinstabilität aufgebaut und erfolgreich durchgeführt (s.a. den Beitrag „Wie schwarze Löcher ihren Hunger stillen“ in der Rubrik Forschung).



#### FZD-Technologiepreis

André Dreyhaupt, Dr. Stephan Winnerl und Prof. Thomas Dekorsy - für die Entwicklung einer neuartigen Terahertz-Strahlungsquelle.

Die Terahertz-Strahlung liegt auf dem elektromagnetischen Spektrum zwischen den langwelligen Radio- und Mikrowellen und dem unsichtbaren Infrarotbereich, der sich direkt an die dem menschlichen Auge noch sichtbare Farbe Rot anschließt. Als Gegenstand der Forschung ist der Terahertz-Bereich sehr vielversprechend, doch fehlten bislang die entsprechenden Geräte zur einfachen Erzeugung der Strahlung. Die im FZD entwickelte Strahlungsquelle wurde mittlerweile zum Patent angemeldet und wird über die Firma Gigaoptics GmbH in Konstanz weltweit vertrieben.



### FZD-Doktorandenpreis

Dr. Tobias Heinrich – für seine Doktorarbeit „Entwicklung robuster und anpassbarer radioaktiver Rheniumkomplexe auf der Grundlage neuer, von Dimercaptobernsteinsäure (DMSA) abgeleiteter Chelatbildner“.

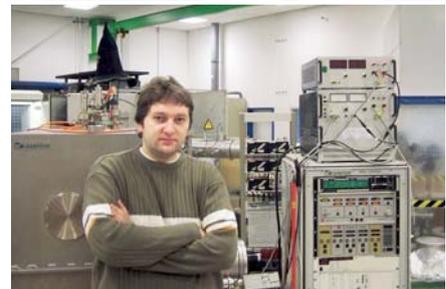
Das Promotionsthema von Herrn Dr. Heinrich gehört zum Gebiet der Radionuklidtherapie von Tumoren. Diese Therapieform hat zum Ziel, ein Arzneimittel direkt und gezielt im Körper über die Blutbahnen zu den Tumoren und Metastasen zu transportieren. Ein therapeutischer Einsatz von Radionukliden stellt besonders hohe Anforderungen an die Stabilität der zu entwickelnden radioaktiven Arzneimittel. Herrn Dr. Heinrich gelang es, das therapeutische Radionuklid Rhenium-188 mit sehr hoher Stabilität zu binden.

Je einen Anerkennungspreis für ihre herausragenden Doktorarbeiten erhielten Dr. Karsten Opel und Dr. Jiri Krepel (auf dem Bild zu sehen zusammen mit Prof. Dr. Sauerbrey).



### FZD-Forschungs Sonderpreis für junge Wissenschaftler

Dr. Gintautas Abrasonis - für die Entdeckung einer bisher unbekanntenen Tiefenwirkung von Ionenstrahlen.



### FZD-Wissenschaftskommunikationspreis

Dr. Thomas Herrmannsdörfer - für sein herausragendes Engagement für die Vermittlung wissenschaftlicher Inhalte im Rahmen der Veranstaltungen „Dresden - Stadt der Wissenschaft 2006“.



Das Forschungszentrum dankt den Sponsoren Dresdner Bank, ACCEL Instruments GmbH und ROTOP Pharmaka AG für die großzügige Unterstützung der FZD-Preise 2006.

### FZD-Ideenwettbewerb 2006

Das außerordentliche Engagement für die Veranstaltungen im Rahmen von „Dresden – Stadt der Wissenschaft“ wurde in diesem Ideenwettbewerb prämiert.

Der Vorstand wählte aus den eingegangenen Bewerbungen folgende Teams aus:

- > Dr. Thomas Herrmannsdörfer und Steffen Dittrich (Hochfeld-Magnetlabor Dresden)
- > Jens Langner und Christian Pötzs (Institut für Radiopharmazie)
- > Dr. Thomas Höhne, Matthias Beyer, Christophe Vallée sowie Heiko Rußig (Institut für Sicherheitsforschung)
- > Jaroslava Potfajová, Doktorandin im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung





## Termine

### Einweihung der Kondensatorbank im Hochfeld-Magnetlabor Dresden

Am **22. Februar 2006** nahm der sächsische Ministerpräsident Prof. Dr. Georg Milbradt das Herzstück des Hochfeldlabors in Betrieb: die 10 Millionen Euro teure Kondensatorbank. Um ein Magnetfeld mit der Feldstärke von 100 Tesla, also dem Zweieinhalbmillionenfachen des Erdmagnetfeldes, zu erreichen, wird eine elektromagnetische Energie von 50 Megajoule (MJ) und ein Spitzenstrom von mehreren hundert Kiloampere (kA) benötigt. Die modernste und effizienteste Methode, diese Energie zu speichern und pulsartig in die Magnetfeldspule zu übertragen, ist die Verwendung einer Pulsentladungs-Kondensatorbank. Die Rossendorfer Energieversorgungs-Anlage „EVA“ ist in Kooperation mit der Rheinmetall AG konzipiert und umgesetzt worden. Sie lässt sich mit kleinem Strom kostengünstig aufladen und dann mit großem Strom vollständig entladen (50 MJ, 24 kV, 600 kA). Das Hochfeld-Magnetlabor Dresden wird ab 2007 als Nutzerlabor mit einzigartigen experimentellen Möglichkeiten für Kooperationspartner aus der Dresdner Wissenschaft sowie für Forscher aus ganz Europa offen stehen.



Hohe gepulste Magnetfelder sind von großem Interesse für Forschungen etwa auf den Gebieten Hochtemperatursupraleiter, Charakterisierung von Metallen und Halbleitern oder auch für ingenieurtechnische Anwendungen wie der Materialumformung. So sind starke Magnetfelder genauso wie Hochdruckpressen in der Lage, Stähle oder Leichtmetalle zu verformen. Damit lassen sich spezielle Einzelteile für den Automobil- oder Flugzeugbau herstellen. Aber auch die Charakterisierung von halbleitenden oder optoelektronischen Materialien erfolgt idealerweise in hohen Magnetfeldern und bei tiefen Temperaturen. So können z.B. die Elektronendichte von halbleitenden Materialien hoch präzise bestimmt werden bzw. optoelektronische Eigenschaften mit besonderer Genauigkeit charakterisiert werden. Auch die Spintronik (aus den Worten Spin und Elektronik) gehört zu den bereits angelaufenen Forschungsarbeiten. Die Spintronik nutzt das magnetische Moment des Elektrons zur Informationsdarstellung und -verarbeitung aus - zusätzlich zur Ladung wie in der herkömmlichen Halbleiter-Elektronik. Forscher erwarten sich von der Spintronik neue Bauelemente, die mit dem Spin des Elektrons schalten und damit um ein Vielfaches schneller sein könnten als die heute gebräuchlichen Elemente.

### Teilnahme an der ACHEMA

Das Institut für Sicherheitsforschung nahm vom **15. - 19. Mai** an der ACHEMA in Frankfurt teil. Es handelt sich um den größten internationalen Ausstellungskongress für Chemische Technik, Umweltschutz und Biotechnologie.



### Zweiter Freie-Elektronen-Laser in Betrieb genommen

Am **21. August 2006** ging im Forschungszentrum am Freie-Elektronen-Laser (FEL) ein zweiter Undulator mit Namen U100 erfolgreich in Betrieb. Er kann Laserlicht bis in den schwer zugänglichen Bereich des tiefen Infrarots erzeugen. Ein Undulator ist das Herzstück eines Freie-Elektronen-Lasers (FEL), denn er erzeugt durch eine spezielle Magnetanordnung intensives Laserlicht durch beschleunigte Elektronen.

Der Dresdner FEL deckt nun insgesamt den für Menschen nicht sichtbaren Bereich von 3 bis 200 Mikrometer Wellenlänge ab. Besonderes Interesse gilt dabei dem Bereich des tiefen Infrarotlichts, das im Übergangsbereich zwischen Mikrowellen und Infrarot liegt und auch Terahertz-Strahlung genannt wird. An der Erzeugung und Anwendung dieser Strahlung z.B. für die medizinische Diagnostik wird zur Zeit weltweit intensiv geforscht. Im FZD wird die Terahertz-Strahlung insbesondere eingesetzt, um das dynamische Verhalten von Elektronen in Halbleitermaterialien zu untersuchen und besser zu verstehen. Der Rossendorfer FEL wird von der Europäischen Union als Nutzereinrichtung gefördert.



#### Erstes FZD-weites Doktorandenseminar

Vom **11. bis 13. Oktober 2006** fand das erste Doktorandenseminar des Forschungszentrums in Oybin statt. Es wurde von den Rossendorfer Doktoranden selbstständig organisiert. Im Mittelpunkt standen die sorgfältig vorbereiteten Präsentationen der Doktoranden zu ihren Fachgebieten und Promotionsthemen. Daneben gab es reichlich Gelegenheit, Kontakte über die Instituts Grenzen hinweg zu knüpfen. Das Fazit der rund 100 Doktoranden, Post-Doc's, Abteilungsleiter und Institutsdirektoren lautete: dieses Doktorandenseminar ist der Anfang einer neuen Seminarreihe.



#### Einweihung des „leistungsfähigsten Magneten der Welt“

Am **24. November 2006** weihte die Sächsische Forschungsministerin Dr. Eva-Maria Stange den leistungsfähigsten Magneten der Welt im FZD-Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden ein. Das Projekt für ein Hochfeld-Magnetlabor begann mit einem Antrag von fünf Dresdner Forschungseinrichtungen, der im Jahr 2002 vom Bundesforschungsministerium bewilligt wurde. Die Erzeugung höchster Magnetfelder für die Forschung konnte sowohl pünktlich im Zeitplan als auch im Rahmen des vorhandenen Budgets umgesetzt werden. Beweis hierfür ist der erste Puls mit dem Prototyp des Magneten, der 100 Tesla (Tesla ist die Einheit für die Magnetfeldstärke) erzeugen soll. 100 Tesla entsprechen dem Zweieinhalbmillionenfachen des Magnetfeldes der Erde und markieren die Grenze des technologisch Machbaren für zerstörungsfreie Magnetfelder.



## Workshops, Kongresse, Seminare

#### Nanoscale Magnets – Top Down meets Bottom up

Ziel dieses 364. WE-Heraeus-Seminars war es, neue Ideen für die Herstellung und Charakterisierung magnetischer Strukturen mit Dimensionen im Bereich von 2 bis 100 Nanometern und deren großflächige periodische Anordnung zu entwickeln. Hierzu trafen sich rund 100 Wissenschaftler aus acht Nationen, die einerseits mit lithographischen Methoden und andererseits unter Ausnutzung von Selbstorganisationsphänomenen immer kleinere magnetische Strukturen herstellen. Warum nanoskalige Systeme auch von großem technologischen Interesse sind, wurde sehr schön in Vorträgen zur Magnetotopik gezeigt. Hier gelingt es, durch geschickte Kombination von Nanomagneten verschiedener Geometrie logische Gatter durch extern angreifende Magnetfelder zu treiben. Das Seminar war gekennzeichnet durch viele anregende „Top down“- trifft „Bottom up“-Diskussionen im



Physikzentrum Bad Honnef. Für die Hilfe bei der organisatorischen Abwicklung und für die finanzielle Unterstützung dieses Seminars, welches unterschiedliche Nano-Schulen zusammengebracht hat, sei hier der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung ein ganz herzlicher Dank ausgesprochen.

#### **Fachtagung der KTG-Fachgruppen · März 2006**

Brennelemente und Kernbauteile, Reaktorphysik und Berechnungsmethoden;  
Stand der Entwicklung für LWR-Brennelemente und Auslegungsmethoden;  
Institut für Sicherheitsforschung



#### **Fachtagung der KTG-Fachgruppen · April 2006**

Sicherheit kerntechnischer Anlagen, Thermo- und Fluidodynamik, Betrieb von kerntechnischen Anlagen; Aktuelle Themen der Reaktorsicherheitsforschung in Deutschland; Institut für Sicherheitsforschung

### **6. HADES-Treffen in Dresden**

Vom 4. bis zum 8. April 2006 diskutierten über 80 Wissenschaftler aus 20 Instituten aus 9 europäischen Ländern die Ergebnisse der Experimente mit dem HADES-Spektrometer. Das hochauflösende Dileptonen-Spektrometer HADES am Schwerionensynchrotron der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt ist ein Detektor der zweiten Generation, mit dessen Hilfe unter anderem die Fragestellungen zum Verhalten von Vektormesonen in heißer und dichter Kernmaterie untersucht werden. Der Schwerpunkt der 50 Vorträge lag auf den Ergebnissen der Experimente mit HADES, die sowohl Schwerionen-Kollisionen als auch elementare Hadronen-Reaktionen umfassen. Dabei hatte auch die Mehrzahl der 27 Doktoranden Gelegenheit, ihre Arbeiten vorzustellen. Einigen Wissenschaftlern, insbesondere Doktoranden aus Osteuropa, wurde die Teilnahme durch das Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst ermöglicht.

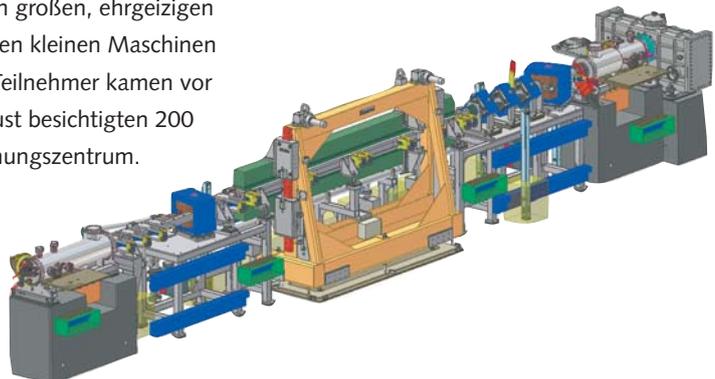


**Multi-Phase Flows** · Juni 2006

Workshop: Simulation, Experiment and Application; **Institut für Sicherheitsforschung**

**Konferenz über Freie-Elektronen-Laser (FEL 2006) in Berlin**

Die 28. internationale FEL-Konferenz 2006 vom 27. August bis 1. September 2006 wurde gemeinsam von der Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung mbH, kurz BESSY, und dem FZD ausgerichtet. Das Spektrum der Vorträge umfasste wissenschaftliche, technologische und Nutzungsaspekte von Freie-Elektronen-Laser. Das Experteninteresse galt dabei den großen, ehrgeizigen Projekten wie etwa dem XFEL von DESY in Hamburg und den kleinen Maschinen wie dem Freie-Elektronen-Laser im FZD. Die mehr als 300 Teilnehmer kamen vor allem aus den USA, Europa, Japan und China. Am 30. August besichtigten 200 Konferenz-Teilnehmer den Freie-Elektronen-Laser im Forschungszentrum.

**Dresdner Symposium Radionuklidtherapie am 21. und 22. September 2006**

Die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus und das Institut für Radiopharmazie am Forschungszentrum Dresden-Rossendorf blicken gemeinsam auf ein halbes Jahrhundert des Bestehens und der Zusammenarbeit zurück. 1956 gründete sich am damaligen Zentralinstitut für Kernphysik Rossendorf die Vorläufereinrichtung des heutigen Instituts für Radiopharmazie, der Bereich Radiochemie. Ebenfalls 1956 gründete Prof. Konrad Hennig die Isotopenabteilung der Strahlenklinik der damaligen Medizinischen Akademie Dresden. Von Anfang an arbeiteten beide Häuser eng zusammen. Das „Dresdner Symposium Radionuklidtherapie“ am 21. und 22. September feierte dieses Jubiläum mit einer Bestandsaufnahme beider Einrichtungen und einem Ausblick auf die Möglichkeiten der Therapie von Krebs und Lymphknotenvergrößerungen mit so genannten „offenen Radionukliden“, darunter auch den bisher wenig genutzten Alphastrahlern.

**Dense Hadronic Matter and QCD Phase Transitions** · Oktober 2006

3rd Workshop, initiated und financed by the Helmholtz Association;  
**Institut für Strahlenphysik**

**Master Curve Approach to Monitor Fracture Toughness****of Reactor Pressure Vessels in Nuclear Power Plants** · November 2006

Technical Meeting (Research Co-ordination Meeting) of the Co-ordinated Research Project (CRP); **Institut für Sicherheitsforschung**

**Atom 2006** · November 2006

Internationaler Workshop

Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung des FZD  
und Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme

## Bildung

Dresden – Stadt der Wissenschaft 2006

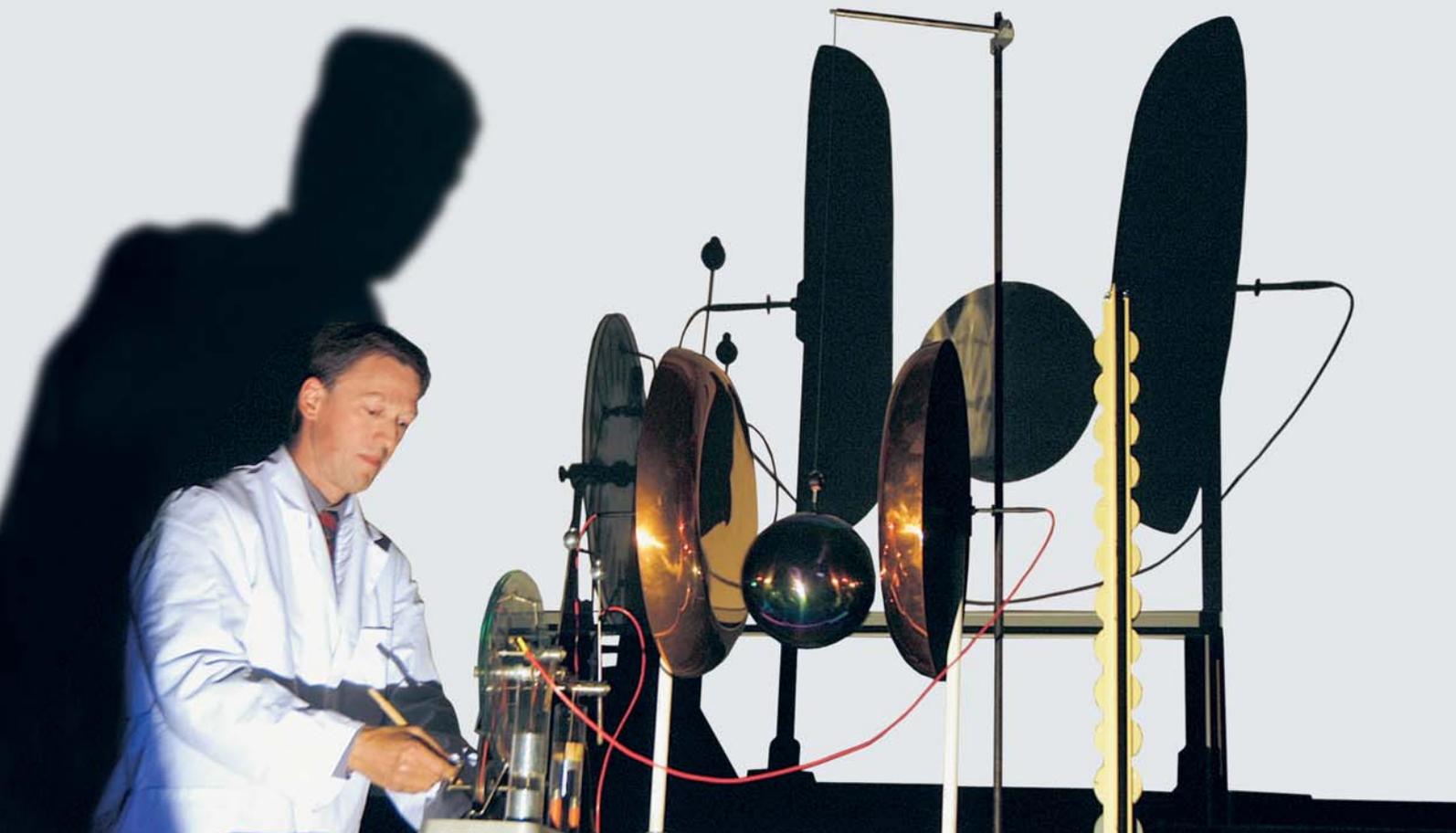
Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften und Tag des offenen Labors

Schüler und Lehrer | Berufsausbildung im FZD



### Dresden – Stadt der Wissenschaft 2006

Das vom Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft mit dem Wettbewerb „Stadt der Wissenschaft“ verknüpfte Ziel, Wissenschaft, Wirtschaft, Kultur und Politik zu vernetzen, hat sich in Dresden realisiert. Das Netzwerk Dresden – Stadt der Wissenschaft 2006, zu dem das Forschungszentrum gehört, hat durch vielfältige Aktionen und Veranstaltungen Tausende von Bürgern zum Mitmachen bewegt und begeistert. Um nur ein Beispiel zu nennen: rund 400 Schüler nahmen am Programm des Juniordoktors teil und lernten so viele wissenschaftliche Einrichtungen, etwa bei den Tagen der offenen Tür oder bei der Langen Nacht der Wissenschaften kennen. Neben diesen bereits bestehenden Veranstaltungen beteiligte sich das FZD aktiv am Schaufenster der Wissenschaft, an der Faszination Technologie sowie am Abschlussfest im Dresdner Schloss. Unsere Wissenschaftler konnten im Jahr 2006 im Rahmen öffentlichkeitswirksamer Veranstaltungen sowie durch Führungen und Vorträge im FZD rund 15.000 Menschen erreichen.





### Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften und Tag des offenen Labors in Rossendorf

**30. Juni.** Rund 100 Wissenschaftler und Mitarbeiter des FZD verbrachten den Abend und die halbe Nacht im Hörsaalzentrum der Technischen Universität Dresden. Exponate zum Staunen und Mitmachen, spannende Vorträge und die ideenreiche Kinderbetreuung durch die Auszubildenden des FZD zogen über 4.000 Besucher an.

**20. Mai.** Das Motto des erstmalig in den Mai verlegten „Tag des offenen Labors“ lautete „50 Jahre Forschung in Rossendorf.“ Eine Ausstellung in der Bibliothek, ein eigens herausgegebenes Sonderheft zum Jubiläum sowie Filme und Exponate waren der Geschichte des Forschungsstandortes gewidmet. Die rund 2.400 Besucher, darunter auch viele Studenten, kamen jedoch in der Hauptsache, um in 50 Laboren Wissenschaft hautnah zu erleben.

### Schüler und Lehrer

Sechs von vierzehn eingereichten Arbeiten für den sachsenweiten Wettbewerb „Schülerpreise für die besten Besonderen Lernleistungen im Fachbereich Physik 2006“ gewannen je einen Hauptpreis. Die Auswahl wurde von Physikprofessoren der TU Dresden, TU Chemnitz, TU Bergakademie Freiberg, Universität Leipzig sowie des Forschungszentrums getroffen. Das Auswahlkomitee war begeistert von der hohen Qualität und der Kreativität vieler Arbeiten. Die jugendlichen Preisträger konnten sich bei der Preisvergabe am 22. September im Qimonda-Werk Dresden über einen Geldpreis (Sponsor: Qimonda Dresden) sowie über Sachpreise der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) freuen.



### Die sechs Hauptpreise 2006 gingen an:

Aufbau eines Praktikumsversuches zur Bestimmung der durchschnittlichen Lebensdauer von Myonen	> <b>Richard Pausch</b> , Pestalozzi-Gymnasium Dresden
Untersuchung des Ermüdungsverhaltens ferroelektrischer Dünnschichten	> <b>Axel Boeltzig</b> , Martin-Andersen-Nexö-Gymnasium Dresden
Wechselwirkungen energetischer Ionen mit Festkörperoberflächen	> <b>Tim Felker</b> , Martin-Andersen-Nexö-Gymnasium Dresden
Entwicklung, Bau und Test einer Messeinrichtung zur Unterscheidung der Aggregatzustände von Wasser	> <b>Simon Kimme</b> , Albert-Schweitzer-Gymnasium Limbach-Oberfrohna
Effekte der speziellen Relativitätstheorie	> <b>Sina Meister, Susann Mach</b> , Johannes-Kepler-Gymnasium Chemnitz
Weltraumschrott eine Gefahr für die Raumfahrt? Betrachtung der Auswirkungen von Weltraumschrott auf die Lebensdauer von Satelliten	> <b>Marcus Sperling</b> , Marie-Curie-Gymnasium Dresden

Das Forschungszentrum vergibt darüber hinaus Sonderpreise in Form von Forschungspraktika im bundesweiten Wettbewerb „Jugend forscht“. Im Jahr 2006 absolvierten Frau Anne Schrön aus Thüringen ein zweiwöchiges und Herr Magnus Anselm aus Bayern ein dreiwöchiges Praktikum in Dresden-Rossendorf.

Die Lehrerfortbildung am 17. Februar widmete sich dem Thema „Astrophysik“. 80 Lehrer naturwissenschaftlicher Fächer aus ganz Sachsen nahmen daran teil. Lehrer und Schüler kommen zudem, ebenso wie Studenten mit ihren Professoren, über das ganze Jahr verteilt zu Laborbesichtigungen und Vorträgen in das FZD. Im Jahr 2006 teilten sich die insgesamt gut 1700 Besucher auf 56 Gruppen auf.

### Berufsausbildung im FZD

Zum siebten Mal in ununterbrochener Folge wurde das Forschungszentrum von der Industrie- und Handelskammer Dresden auch 2006 wieder als „hervorragender Ausbildungsbetrieb“ ausgezeichnet. Zwei Auszubildende des FZD schlossen ihre Berufsausbildung im Kammerbezirk Dresden als Berufsbeste mit dem Prädikat „sehr gut“ ab. Frau Romy Jäger erlernte im FZD den Beruf der Europäischen Bürokauffrau, Herr Markus Meyer den des Industrieelektronikers im Fachbereich Gerätetechnik. Beide wurden anschließend zudem als Beste Sächsische Jungfacharbeiter in ihrem Berufsbild prämiert.



Im Jahr 2006 erhielten 13 junge Menschen einen Ausbildungsplatz im FZD, womit sich die Gesamtzahl der Auszubildenden im Ausbildungsjahr 2006/2007 auf 35 erhöht hat.

# Daten und Fakten

## ORGANE UND GREMIEN

### Kuratorium

MR Dr. Gerd Uhlmann (Vorsitzender)	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
RD Dr. Jan Grapentin (Stellvertreter)	Bundesministerium für Bildung und Forschung
RR'in Cathrin Liebner	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
Prof. Dr. Peter Fulde	Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme
Prof. Dr. Frank Gabriel	Forschungszentrum Dresden - Rossendorf

### Vorstand

Prof. Dr. Bernd Johannsen	Wissenschaftlicher Direktor bis 31.03.2006 (Sprecher des Vereins)
Prof. Dr. Roland Sauerbrey	Wissenschaftlicher Direktor ab 01.04.2006 (Sprecher des Vereins)
Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk	Kaufmännischer Direktor

### Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. August P. Schubiger (Vorsitzender)	Zürich/Schweiz
Prof. Dr. Roger Grundmann (stellv. Vorsitzender)	Dresden
Prof. Dr. Gerd Folkers	Zürich/Schweiz
Dr. Peter Fritz	Karlsruhe
Prof. Dr. Hilbert von Löhneysen	Karlsruhe
Prof. Dr. Martha Ch. Lux-Steiner	Berlin
Prof. Dr. Werner Mäntele	Frankfurt
Prof. Dr. James Ritman	Jülich
Prof. Dr. Andreas Türler	München
Prof. Dr. Dr. h. c. Ehrenfried Zschech	Dresden

### Beiräte für Großgeräte

- ◆ Beirat des PET-Zentrums
- ◆ Scientific Advisory Committee (SAC) für die Strahlungsquelle ELBE
- ◆ Scientific Technical Advisory Committee (STAC) für das Hochfeldlabor Dresden
- ◆ Scientific Advisory Committee (SAC) für das Ionenstrahlzentrum

Ausführliche Informationen zu allen Organen und Gremien befinden sich auf der Internetseite „Organisation“ unter [www.fzd.de](http://www.fzd.de).

## ÜBERBLICK

Name	Forschungszentrum Dresden - Rossendorf e.V.
Träger	Freistaat Sachsen, Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
Finanzierung	Grundfinanzierung: 50 % Länder, insbesondere Freistaat Sachsen, 50 % Bundesrepublik Deutschland
Planstellen	399 (Stichtag 31.12.2006)
Mitarbeiter	ca. 650 (incl. Annexstellen, Doktoranden, Projektstellen, Azubis)
Grundfinanzierung	57,62 Mio. €
Drittmittel	8,3 Mio. €

### Wissenschaftliche Institute

#### ◆ Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung

Direktoren: Prof. Dr. Wolfhard Möller    Tel.: +49 351 260-2245    E-mail: w.moeller@fzd.de  
 Prof. Dr. Manfred Helm    Tel.: +49 351 260-2260    E-mail: m.helm@fzd.de

#### ◆ Institut für Radiopharmazie

Direktor: Prof. Dr. Jörg Steinbach    Tel.: + 49 351 260-3170    E-mail: j.steinbach@fzd.de

#### ◆ Institut für Radiochemie

Direktor: Prof. Dr. Gert Bernhard    Tel.: +49 351 260-3210    E-mail: g.bernhard@fzd.de

#### ◆ Institut für Sicherheitsforschung

Direktor: Prof. Dr. Frank-Peter Weiß    Tel.: +49 351 260-3480    E-mail: f.p.weiss@fzd.de

#### ◆ Institut für Strahlenphysik

Direktor: Prof. Dr. Eckart Grosse    Tel.: +49 351 260-2270    E-mail: e.grosse@fzd.de

#### ◆ Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden

Direktor: Prof. Dr. Joachim Wosnitza    Tel.: +49 351 260-3524    E-mail: j.wosnitza@fzd.de

#### ◆ Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleuniger (ab 01.11.2006)

Leiter: Dr. Ulrich Schramm    Tel.: +49 351 260-2471    E-mail: u.schramm@fzd.de

### Zentralabteilungen

#### ◆ Forschungstechnik

Leiter: Prof. Dr. Frank Gabriel    Tel.: +49 351 260-3109    E-mail: f.gabriel@fzd.de

#### ◆ Strahlungsquelle ELBE

Leiter: Dr. Peter Michel    Tel.: +49 351 260-3259    E-mail: p.michel@fzd.de

#### ◆ Verwaltung

Leiter: Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk    Tel: +49 351 260-3384    E-mail: p.joehnk@fzd.de

#### ◆ Technischer Service

Leiter: Dr. Wolfgang Matz    Tel: +49 351 260-3070    E-mail: w.matz@fzd.de

### Patente 2006

Erfindungsmeldungen:	10	Patenterteilungen national:	9
Patentanmeldungen national:	8	Patenterteilungen international:	6
Patentanmeldungen international:	6		



**Struktur der Materie**

**Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden**  
Prof. Joachim Wosnitza

**Institut für Ionenstrahlphysik u. Materialforschung**  
Prof. W. Möller und Prof. M. Helm

**Lebenswissenschaften**

**Institut für Radiopharmazie**  
Prof. Jörg Steinbach

**Institut für Strahlenphysik**  
Prof. Eckart Grosse

**Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung**  
Dr. Ulrich Schramm

**Umwelt und Sicherheit**

**Institut für Sicherheitsforschung**  
Prof. Frank-Peter Weiß

**Institut für Radiochemie**  
Prof. Gert Bernhard

**Zentralabteilung Forschungstechnik**  
Prof. Frank Gabriel

**Zentralabteilung Strahlungsquelle ELBE**  
Dr. Peter Michel

**Zentralabteilung Verwaltung**  
Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk

**Zentralabteilung Technischer Service**  
Dr. Wolfgang Matz