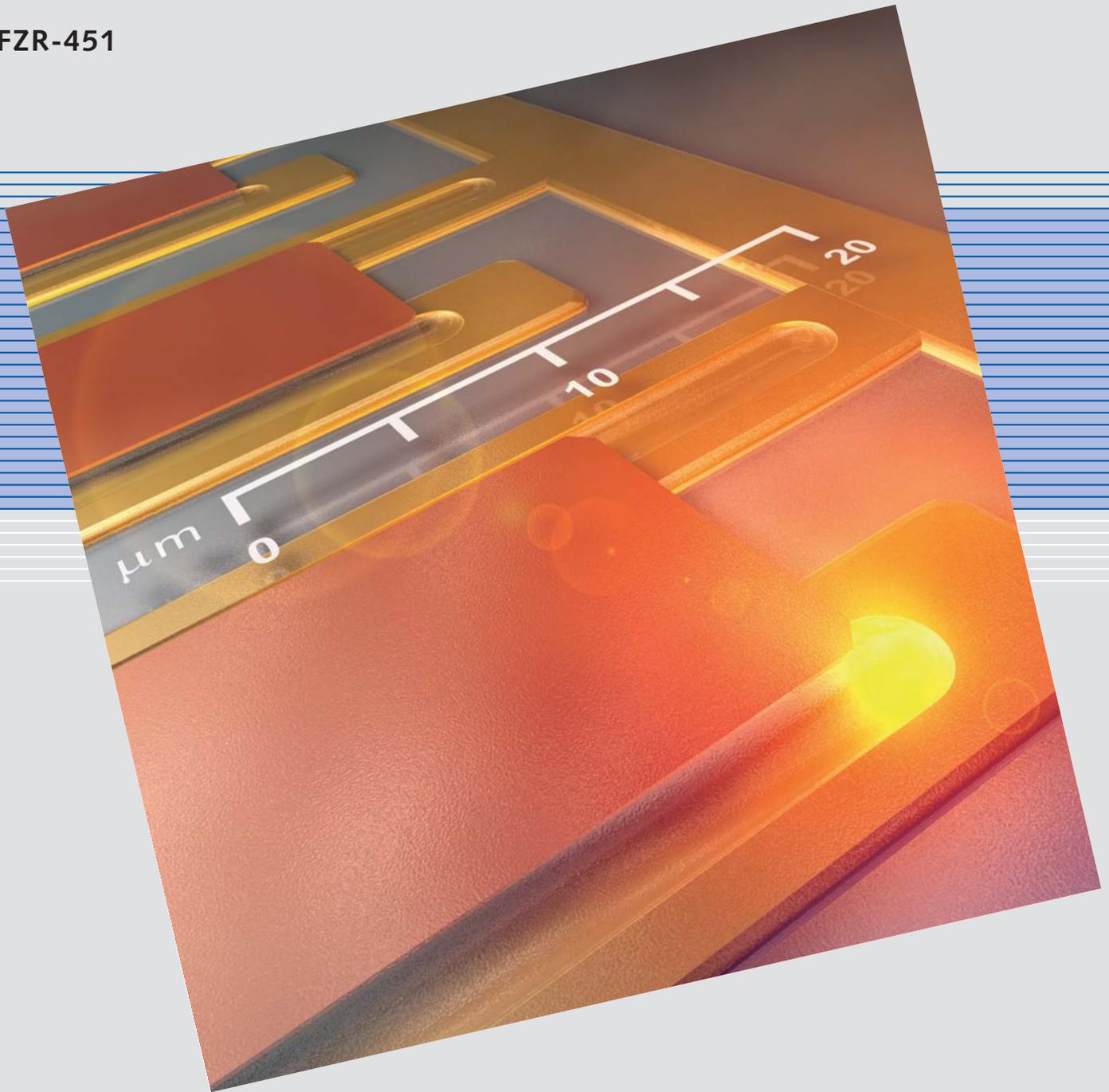


FZR-451



Jahresbericht 2005



Forschungszentrum
Rossendorf

IMPRESSUM

FZR - Jahresbericht 2005

Herausgeber: Forschungszentrum Rossendorf
Vorstand

Schriftenreihe: Wissenschaftlich-Technische Berichte
FZR-451
März 2006
ISSN 1437-322X

Konzeption & Redaktion: Dr. Christine Bohnet, FZR

Gestaltung und Layout: Werbeagentur Preußel, Coswig

Fotos: FZR, C. Preußel

Druck: Druckerei Thieme, Meißen

Abrufbar unter: <http://www.fz-rossendorf.de>

Zu beziehen bei: Forschungszentrum Rossendorf
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Bautzner Landstr. 128
01328 Dresden

Zusätzlich zum FZR-Jahresbericht 2005 in Deutsch sind „Annual Reports“ der FZR-Institute erhältlich.

Titelbild: 3D-Bearbeitung einer REM-Aufnahme der Terahertz-Strahlungsquelle (s. Artikel S. 10 -12)

Inhalt

3 Vorwort

4 Profil

Mission | Forschungsprogramm | Großgeräte



Forschung

- 10 Neues Licht ins Dunkel der Terahertz-Lücke
- 13 Starkes Magnetfeld verändert exotisches Metall
- 15 Kerne im Licht der ELBE-Bremsstrahlung
- 19 Radioaktive Metalle für die Tumorthapie
- 24 Beitrag zur Sicherheit - Untersuchungen zur Nuklidmigration im Endlager für radioaktive Stoffe Morsleben
- 27 Modelle für die Simulation von Mehrphasenströmungen mit CFD-Codes
- 31 Maßgeschneiderte Magnetfelder für den industriellen Einsatz - der DFG-Sonderforschungsbereich 609
- 34 Höchste Magnetfelder als Basis für Kooperationen mit Partnern aus Dresden, Europa und Übersee
- 37 Tomographie komprimierter Kernmaterie: Resultate von Experimenten der internationalen SIS-HADES-Kollaboration

43 Internationales

Workshops und Konferenzen
Stipendiaten der Alexander von Humboldt-Stiftung

48 Ereignisse

Personalia | Auszeichnungen
FZR-Preise | Termine

56 Bildung

Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften
und Tag des offenen Labors
Schüler und Lehrer
Studenten und Doktoranden
Ausbildung im FZR

60 Daten und Fakten

Organe und Gremien | Überblick

62 Organigramm





Prof. Dr. Bernd Johannsen
Wissenschaftlicher Direktor



Dr. Peter Joehnke
Kaufmännischer Direktor

Vorwort

Eines der Wissenschaftsworte des Jahres 2005 war neben „Exzellenz“ das Wort „Wettbewerb“. Allein auf der Internetseite des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) ergibt eine aktuelle Suche nach „Wettbewerb“ 1.042 Treffer. „Wettbewerb“ wird auch groß geschrieben im neu aufgelegten „Pakt für Forschung und Innovation“. Dieser verspricht den Forschungseinrichtungen einen jährlichen Zuwachs in Höhe von drei Prozent bis zum Jahr 2010, von dem ab 2006 auch das FZR profitieren wird. Wir stellten im Jahr 2005 gleich zwei entsprechende Anträge an den „Senatsausschuss für Wettbewerb“ der Leibniz-Gemeinschaft. Bei dem Antrag des Instituts Hochfeld-Magnetlabor Dresden ging es um Investitionsmittel für resonante Messverfahren, damit die am Hochfeldlabor-Projekt beteiligten Dresdner Institute bald über hochmoderne Geräte für Kern-Spin-Resonanz-, Infrarot-Spektroskopie- oder auch Elektronen-Spin-Resonanz-Experimente in höchsten Magnetfeldern verfügen können. Ein gemeinsames Forschungsanliegen verfolgen auch der Rossendorfer Bereich Magneto-hydrodynamik und das Astrophysikalische Institut Potsdam bei ihren Arbeiten zu Magnetfeldern im Kosmos.

Das FZR wirkte 2005 zudem aktiv an weiteren „Exzellenzclustern“ mit. Im Dresdner Raum sind hier stellvertretend der Sonderforschungsbereich 609 „Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie“ (s. S. 31-33) sowie das Zentrum für Innovationskompetenz für medizinische Strahlenforschung „OncoRay“ (s. S. 53) zu nennen. Bundesweit rückt die verstärkte Kooperation an HADES, einer großen Detektorinstallation am Schwerionensynchrotron der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt (s. S. 37-41) in den Mittelpunkt. Und schließlich kommen im vorliegenden Jahresbericht unter dem

Stichwort „Forschung in Netzwerken“ auch Institute in Europa und Übersee vor, denn höchste Magnetfelder schaffen eine hervorragende Basis für weltweite Kooperationen (s. S. 34-36). Um unsere internationalen Aktivitäten 2005 zu unterstreichen, stellen wir in der Rubrik „Internationales“ Stipendiaten und Preisträger der Alexander von Humboldt-Stiftung sowie internationale Workshops und Seminare vor.

Den eigentlichen Kern dieser Broschüre bilden die Beiträge aus unseren sechs Instituten, stellt doch jedes Institut in der Rubrik „Forschung“ das wissenschaftliche Highlight des vergangenen Jahres vor (alle Forschungsergebnisse sind im Übrigen in den englischen „Annual Reports“ der einzelnen FZR-Institute zu finden).

Das Jahr 2005 zeichnete sich schließlich dadurch aus, dass die letzte und dazu über einen längeren Zeitraum nur kommissarisch besetzte Direktorenstelle im Forschungszentrum besetzt werden konnte. So haben wir uns über den Amtsantritt von Herrn Prof. Jörg Steinbach als Direktor des Instituts für Radiopharmazie sehr gefreut. Groß war auch die Freude über die Verleihung des Kurt-Schwabe-Preises der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig an drei Forscher unseres Instituts für Radiochemie. Lesen Sie doch einfach selbst nach in der Rubrik „Ereignisse“ bzw. blättern unseren Jahresbericht nach für Sie interessanten Daten und Fakten durch.

Unseren Zuwendungsgebern, Kuratoren, Beiratsmitgliedern und Kooperationspartnern möchten wir für die Unterstützung und die konstruktive Zusammenarbeit im Jahr 2005 danken. Wir freuen uns auf die gemeinsamen Aufgaben und Projekte der Zukunft!

Prof. Dr. Bernd Johannsen

Dr. Peter Joehnk

Profil

Mission | Forschungsprogramme | Großgeräte

Mission

Die Mission des FZR besteht darin, wesentliche Beiträge auf den Gebieten der Grundlagenforschung sowie der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung zur

- ◆ Aufklärung von Strukturen im nanoskaligen und subatomaren Bereich und der darauf beruhenden Eigenschaften der Materie
- ◆ frühzeitigen Erkennung und wirksamen Behandlung von Tumor- und Stoffwechselerkrankungen als den dominierenden Gesundheitsproblemen in der modernen Industriegesellschaft
- ◆ Verbesserung des Schutzes von Mensch und Umwelt vor technischen Risiken zu erbringen. Dazu werden sechs Großgeräte eingesetzt, die europaweit unikale Untersuchungsmöglichkeiten auch für auswärtige Nutzer bieten.

Forschungsprogramme

Untersetzt wird die Mission des FZR durch die drei Forschungsprogramme

- ◆ **Struktur der Materie**
- ◆ **Lebenswissenschaften**
- ◆ **Umwelt und Sicherheit.**

Diese Forschungsprogramme wiederum gliedern sich in Programmbereiche und Forschungsvorhaben, die im Folgenden in Kürze vorgestellt werden.

Struktur der Materie

Im Forschungszentrum Rossendorf sind zwei einzigartige Laboratorien für die Strukturforschung angesiedelt: das Ionenstrahlzentrum mit seiner großen Zahl von Anlagen und Geräten zur Behandlung und Untersuchung von Materialoberflächen sowie die Strahlungsquelle ELBE mit vielfältigen Teilchenstrahlen und Photonen wie Elektronen, Photonen, Neutronen und Positronen sowie einem Freie-Elektronen-Laser im infraroten Bereich. Ein drittes Labor, das Hochfeld-Magnetlabor Dresden, befindet sich derzeit in der Ausstattungs- und Testphase. Es soll ab 2007 die weltweit höchsten gepulsten Magnetfelder u. a. für die Strukturforschung erzeugen.

Für die Physik, Chemie und Materialwissenschaften sind moderne Untersuchungsmethoden in hohen Magnetfeldern von grundlegender Bedeutung. Mit einem breiten Spektrum zeitgemäßer Experimentiertechniken soll ein umfassendes eigenes Forschungsprogramm aufgebaut, aber auch ein attraktives Nutzerlabor für alle daran interessierten Wissenschaftler geschaffen werden (s. den Beitrag „Höchste Magnetfelder als Basis für Kooperationen mit Partnern aus Dresden, Europa und Übersee“ in der Rubrik *Forschung*).

Forschungsbereiche

- Forschungsvorhaben

Materialforschung mit Ionen

- Dünne Schichten
- Ionen-Festkörper-Wechselwirkung
- Nanostrukturen

Halbleiterphysik

- Materialien für die Optoelektronik
- Dotierung u. Defekte in Halbleitermaterialien

Subatomare Physik

- Kernstrukturuntersuchungen
- Nukleare Astrophysik
- Seltene hadronische Prozesse

Mit dem Werkzeug des Ionen- bzw. Teilchenstrahls können die Materialforscher in Rossendorf einerseits Hochleistungswerkstoffe sowie Materialien für die Halbleitertechnologie entwickeln und verbessern und andererseits Strukturen auf der Nano- bis Femto-Meter-Skala untersuchen. Betrachtet man etwa die Einsatzmöglichkeiten des Ionenstrahls, so ergeben sich vielfältigste Anwendungen. Oberflächen erhalten durch Ionen neue oder verbesserte Funktionen, es können optimale Mikro- und Nanostrukturen in Halbleitermaterialien erzeugt werden oder auch neuartige Lichtemitter oder elektronische Speicher. Diese können die Produkte aus der Mikroelektronikindustrie der Zukunft entscheidend verändern (s. den Beitrag „Neues Licht ins Dunkel der Terahertz-Lücke“ in der Rubrik *Forschung*).

Grundlagenforschung auf dem Gebiet der subatomaren Struktur der Materie führt zu neuen Erkenntnissen über den Aufbau der Atomkerne und ihrer Bausteine, den Hadronen, aber auch zur Entstehung und Entwicklung der chemischen Elemente im Kosmos (s. den Beitrag „Tomographie komprimierter Kernmaterie“ in der Rubrik *Forschung*). Die ausgefeilten Experimentiermethoden der Kernphysik an den Elektronen- und Ionen-Beschleunigern stimuliert nicht zuletzt die Medizintechnik bei der Entwicklung neuer Diagnose- und Therapieverfahren.



Lebenswissenschaften

Forschungsbereiche

- Forschungsvorhaben

Radiopharmazie

- Radiotracer in der Tumor- und Stoffwechselforschung
- Radiometall-Therapeutika
- PET in der Arznei- und Lebensmittelforschung

Biostrukturen und Strahlung

- Strahlungsinduzierte Zellschädigung
- Struktur- und Dynamik von Biomolekülen
- Tomographie u. tumorkonforme Radiotherapie

Das FZR betreibt gemeinsam mit dem Dresdner Universitätsklinikum ein PET-Zentrum. Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ist ein modernes bildgebendes Verfahren, das Einblicke in Transport- und Stoffwechselforgänge im Körperinneren erlaubt. Dem Patienten wird eine mit einem Radionuklid markierte, biologische Substanz appliziert, die über ihre Strahlung verfolgt und gemessen wird.

Bei der Suche nach neuen Möglichkeiten der Tumorbehandlung wird dem nuklearmedizinischen Ansatz einer Radionuklidtherapie besonderes Interesse entgegen gebracht (s. den Beitrag „Radioaktive Metalle für die Tumorthherapie“ in der Rubrik *Forschung*). Daneben ist die Ausrichtung der PET auf die Arznei- und Lebensmittelforschung von zunehmender Bedeutung. Die mit der PET erhältlichen Informationen erweitern die Möglichkeiten zur Beurteilung von Risiko und Nutzen der untersuchten Substanzen im Organismus.

Forschungen zum Thema Biostrukturen und Strahlung zielen auf die Entschlüsselung der fundamentalen Prozesse zwischen Strahlung und Biomolekülen sowie auf ein besseres Verständnis der Wirkung von Strahlung auf Zellen und Gewebe. Dieses Wissen hilft dabei, sichere Grenzwerte bei der diagnostischen und therapeutischen Anwendung von Röntgenstrahlen festzulegen. Daneben geht es darum, die grundlegende Funktionsweise von Biomolekülen besser zu verstehen. Zukunftsweisend ist zudem die Entwicklung neuartiger Verfahren für die Krebsdiagnostik und -therapie, wobei die genaue Kontrolle von deren Nebenwirkungen eine besondere Rolle spielt.

Umwelt und Sicherheit

Forschungsbereiche

- Forschungsvorhaben

Anlagen- und Reaktorsicherheit

- Störfallanalyse von Kernreaktoren
- Material- und Komponentensicherheit
- Teilchen- und Strahlungstransport
- Sicherheit und Effektivität chemischer Prozesse

Thermofluidynamik

- Magnetohydrodynamik (MHD)
- Thermofluidynamik von Mehrphasen-/ Mehrkomponentensystemen

Radioökologie

- Aquatische Chemie der Actiniden
- Wechselwirkung von Actiniden mit Festphasen
- Actiniden in Biosystemen
- Reaktiver Transport von Actiniden
- Modellierung der Migration von Radionukliden

Dieses Forschungsprogramm ist dem Schutz von Mensch und Umwelt vor technischen Risiken gewidmet. Ein Schwerpunkt ist die Bewertung und Minderung von Gefahren, die sich aus dem Betrieb von Kernkraftwerken ergeben. Zu diesem Zweck wird untersucht, wie sich Kernreaktoren bei Störfällen verhalten. Insbesondere ist es wichtig zu zeigen, dass der Reaktorkern in jedem Fall gekühlt werden kann und dass die radioaktiven Substanzen in den Brennstäben eingeschlossen bleiben. Hier angesiedelt sind grundlegende Forschungen zum Verhalten von Zweiphasen-Strömungen, die experimentell an der TOPFLOW-Anlage beobachtet und parallel in theoretischen Modellen berechnet werden (s. den Beitrag „Modelle für die Simulation von Mehrphasenströmungen mit CFD-Codes“ in der Rubrik *Forschung*).

Der Kernbrennstoffkreislauf ist zudem mit radioökologischen Fragen verbunden: wie können radioaktive Abfälle sicher entsorgt und wie die Altlasten aus dem Uranerzbergbau saniert werden? Dazu ist es notwendig, die Transportmechanismen der radioaktiven Elemente in unserer Umwelt (s. den Beitrag „Beitrag zur Sicherheit - Untersuchungen zur Nuklidmigration im Endlager für radioaktive Stoffe Morsleben“ in der Rubrik *Forschung*) und die Wechselwirkung mit Pflanzen und Bakterien aufzuklären. So kann man z.B. die

Überlebensstrategien von Bakterien nutzen, um Uran aus dem Sickerwasser von Abraumhalden herauszufiltern.

Das Programm schließt ferner Untersuchungen zu magnetohydrodynamischen Effekten von leitfähigen Flüssigkeiten ein, wie sie in der Kristallzüchtung, der Metallurgie und der Elektrochemie vorkommen. Ziel ist, durch die Anwendung von Magnetfeldern Prozesse effizienter zu gestalten und die Produktqualität zu verbessern. Ergebnisse aus der Grundlagenforschung, z.B. zur Erklärung des Erdmagnetfeldes, fließen so unmittelbar in die industrielle Anwendung ein (s. den Beitrag „Maßgeschneiderte Magnetfelder für den industriellen Einsatz“ in der Rubrik *Forschung*).

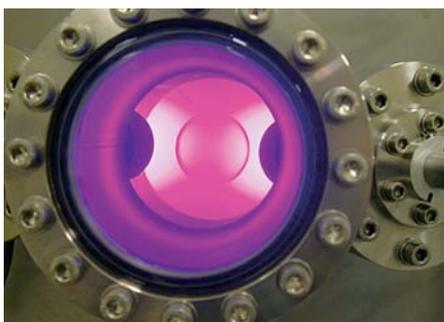
Großgeräte

Das Forschungszentrum Rossendorf betreibt derzeit sechs Großgeräte, die auch Kooperationspartnern von Universitäten und Unternehmen der Wirtschaft zur Verfügung stehen.



Rossendorf Beamline an der ESRF (ROBL)

Das FZR verfügt über eine eigene Beamline (ROBL) am europäischen Synchrotron (ESRF) in Grenoble/Frankreich. An den dortigen zwei Messplätzen wird zum einen die Mikrostruktur von Werkstoffen untersucht und zum anderen die Wechselwirkung von unter radioökologischen Gesichtspunkten interessanten Metallverbindungen mit Gesteinen. Seit 2004 ist der zweite Messplatz integriert in ACTINET, dem Europäischen Exzellenz-Netzwerk für Actiniden-Forschung.



Ionenstrahlzentrum

Das Rossendorfer Ionenstrahlzentrum vereinigt eine exzellente Ausstattung zur Erzeugung unterschiedlicher Ionenstrahlen und langjährige Forschungsexpertise. Das Kompetenzzentrum für die Anwendung von Ionenstrahlen in der Materialforschung sowie zur Modifizierung und Analyse von Festkörperoberflächen verfügt über Plasma- und Ionenanlagen, die Ionen mit Energien zwischen 10 Elektronenvolt und 50 Millionen Elektronenvolt liefern. Es wird voraussichtlich ab Frühjahr 2006 von der EU als „European Large-Scale Facility“ gefördert.



Strahlungsquelle ELBE

Der Elektronenstrahl des supraleitenden Elektronenbeschleunigers ELBE (Elektronenbeschleuniger mit hoher Brillanz und geringer Emittanz) wird zur Erzeugung von vielfältiger Sekundärstrahlung genutzt. Gamma-, Röntgen- sowie die Infrarotstrahlung des Freie-Elektronen-Lasers (FEL) können für einzigartige Forschungen auf den Gebieten Physik, Chemie, Biologie, Medizin und Materialforschung genutzt werden. Der FEL wird von der EU als Nutzereinrichtung in dem Programm „IA-SFS“ gefördert. Neutronen- und Positronenstrahlung sollen das Forschungsprogramm an ELBE komplettieren.



PET-Zentrum

Das medizinische Forschungs- und Diagnostik-Zentrum für **Positronen-Emissions-Tomographie (PET)** wird gemeinsam mit dem Universitätsklinikum der TU Dresden betrieben. Hier können Stoffwechselfvorgänge im Körperinneren mit dem bildgebenden Verfahren PET dargestellt werden. Für tierexperimentelle Arbeiten stehen spezielle bildgebende Verfahren wie beispielsweise ein Kleintier-PET-Gerät und ein Kleintier-MRT-Gerät zur Verfügung.



TOPFLOW

Die Untersuchungen, die mit Wasser-Dampf-Gemischen an der Thermo-hydraulik-Versuchsanlage TOPFLOW (**T**ransient **T**wo **P**hase **F**low **T**est **F**acility) durchgeführt werden, eröffnen grundlegende Einblicke in die Natur von Mehrphasenströmungen und dienen auch der Erhöhung der Sicherheit und Effizienz von industriellen Anlagen. Wichtiges Ziel ist hierbei die Entwicklung und Validierung von Modellen zur Beschreibung von Zweiphasenströmungen mit CFD-Codes (Computational Fluid Dynamics).

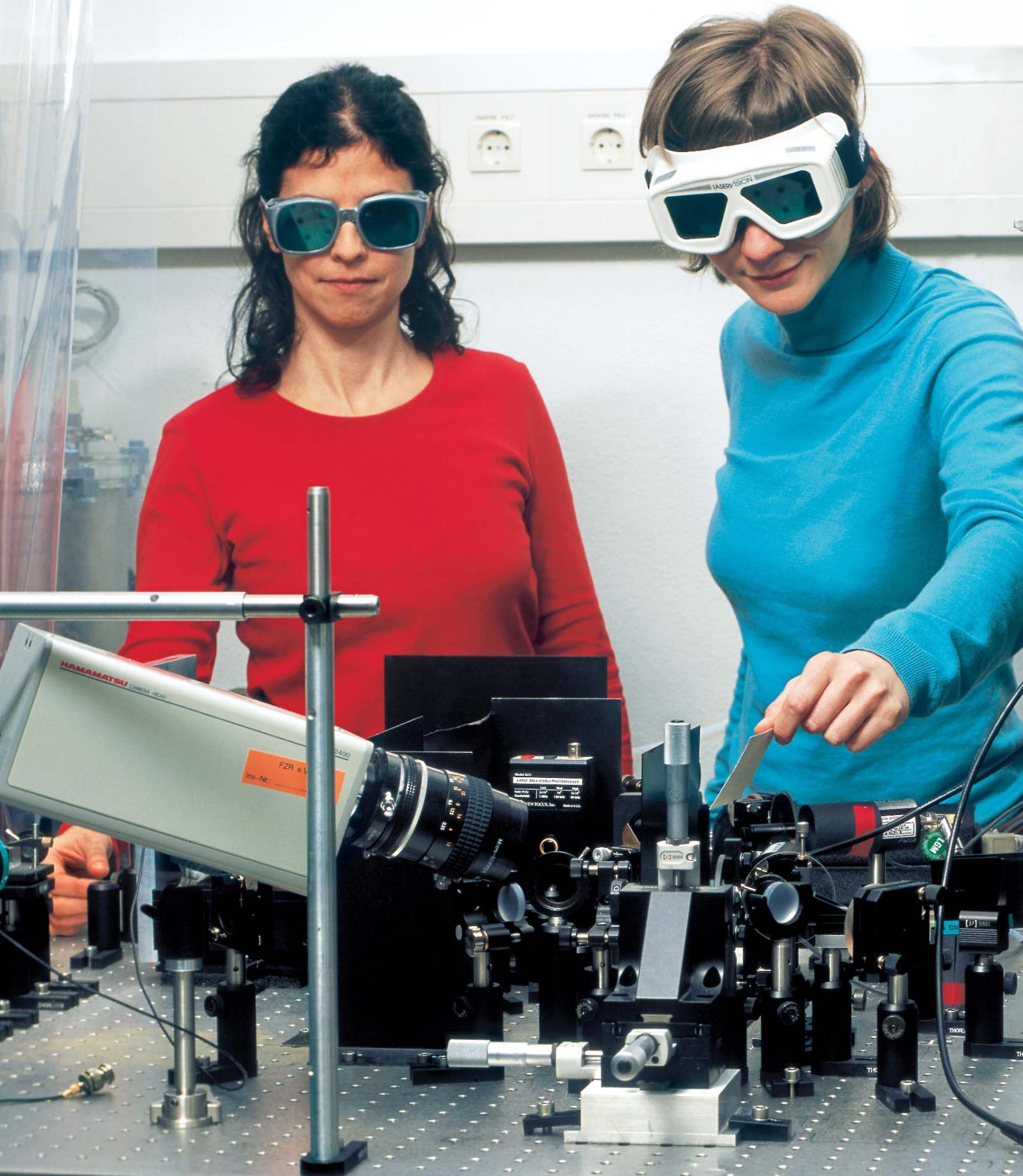


Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD)

Das HLD soll gepulste Magnetfelder in bisher unerreichter Feldstärke erzeugen, die Aufschlüsse über Eigenschaften von Festkörpern, insbesondere von Halbleitern, aber auch von Flüssigkeiten und Teilchen liefern sollen.

Das FZR errichtet das Labor in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle ELBE; so kann der Infrarotstrahl vom Freie-Elektronen-Laser in das Hochfeld-Magnetlabor geleitet werden, was ab 2007 einzigartige Hochfeld-Infrarot-Spektroskopie-Experimente ermöglichen wird.

Forschung Struktur der Materie »



Neues Licht ins Dunkel der Terahertz-Lücke

Stephan Winnerl, André Dreyhaupt, Thomas Dekorsy*,
Harald Schneider, Manfred Helm

Terahertz-Strahlen (THz-Strahlen) sind elektromagnetische Wellen, die im Spektrum zwischen dem Bereich der langwelligeren Radio- und Mikrowellen einerseits und der kurzwelligeren Infrarotstrahlen andererseits liegen. Strahlung der Frequenz 1 THz, das entspricht einer Billion Schwingungen pro Sekunde, hat eine Wellenlänge von 0,3 mm. THz-Strahlung ist ein sehr spannendes und rasch wachsendes Forschungsgebiet. Dies liegt zum einen daran, dass viele Materialien, beispielsweise Halbleiter und Biomoleküle, charakteristische Signaturen im THz-Bereich besitzen. Andererseits ist der THz-Bereich bisher technologisch nicht gut erschlossen, insbesondere herrscht ein Mangel an preisgünstigen, bedienfreundlichen und intensiven THz-Strahlungsquellen.

Untersuchungen von Halbleiter-Quantenstrukturen mit Hilfe der THz-Strahlung geben Aufschluss über die Energiezustände in den Halbleitern und die Dynamik der Elektronen in diesen Zuständen. Diese Ergebnisse sind von großer Bedeutung für die Entwicklung zukünftiger, schneller optoelektronischer Bauelemente wie Halbleiterlaser oder Detektoren.

In der Medizintechnik besteht die Hoffnung, dass sich mit THz-Strahlung bestimmte Tumorarten erkennen lassen. Interessant ist THz-Strahlung für biomedizinische Anwendungen, da sie im Gegensatz zu Röntgenstrahlung keine ionisierende Wirkung besitzt und somit für den Menschen ungefährlich ist. Grenzen werden den medizinischen Anwendungen gesetzt durch die starke Absorption von THz-Strahlung in Wasser. Durch den hohen Wasseranteil von biologischem Gewebe liegt die Eindringtiefe der THz-Strahlung zwischen wenigen Mikrometern (bei 10 THz) und einigen Millimetern (bei 0,1 THz). Dies hat zur Folge, dass, anders als mit Röntgenstrahlen, nicht ganze Körperteile „durchleuchtet“ werden können. Ein weiteres vielversprechendes Einsatzgebiet von THz-Strahlung ist die Sicherheitstechnik, beispielsweise für Flughäfen. Da THz-Strahlung Kleidung mühelos durchdringen kann, könnten Monitoring-Systeme entwickelt werden, die unter der Kleidung verborgene Gegenstände aus Metall, aber auch aus Plastik oder Keramik ans Licht bringen. Somit hat man gegenüber den bisher eingesetzten Metalldetektoren einen Informations- und damit Sicherheitsgewinn und nutzt wiederum die Tatsache, dass THz-Strahlung für den Menschen ungefährlich ist. Gegenüber vergleichbaren Systemen, die auf Mikrowellen basieren, haben THz-Systeme, bedingt durch

*Fachbereich Physik, Universität Konstanz

die kürzere Wellenlänge, den Vorteil einer höheren Ortsauflösung. Nicht zuletzt lassen sich THz-Strahlen nutzen, um Postsendungen damit zu durchleuchten. So können Drogen und biologische Kampfstoffe erkannt werden, ohne dass die Sendung geöffnet werden muss.

Für die Entwicklung von THz-Quellen versuchen Forscher, Konzepte aus den angrenzenden Spektralbereichen auf den THz-Bereich anzuwenden (Abb. 1). So werden elektronische Bauelemente für Mikrowellen zu immer höheren Frequenzen getrieben. Solche Bauelemente sind entweder neuartige Halbleiterdioden - ähnlich den elektronischen Elementen in Mobiltelefonen und Satellitenempfängern -, die für höhere Frequenzen geeignet sind. Weiterhin werden Vakuumröhren, die vom Prinzip den Quellen in Mikrowellenherden ähneln, für den THz-Bereich entwickelt. Allerdings nimmt die Strahlungsleistung dieser Bauelemente im THz-Bereich rapide ab. Von der kurzwelligen Seite kommend werden Laserkonzepte für Infrarotstrahlung auf den THz-Bereich angewandt. Hier wurde in den letzten Jahren mit so genannten Quantenkaskadenlasern, einer komplizierten Struktur aus unterschiedlichen Halbleiterschichten, ein wirklicher Durchbruch erzielt.

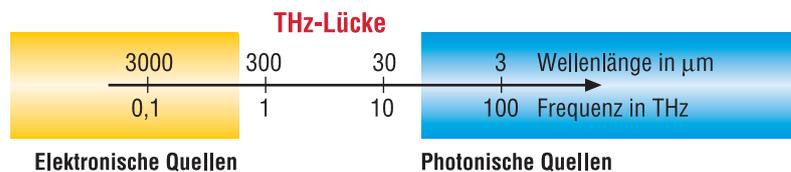


Abb. 1: Die THz-Lücke im elektromagnetischen Spektrum

Neben diesen Versuchen, die THz-Lücke von beiden Seiten zu verkleinern, werden auch neue Konzepte speziell für den THz-Strahlungsbereich erforscht. Kurze THz-Strahlungspulse lassen sich erzeugen, indem Elektronen in einem Halbleiter in einem starken elektrischen Feld beschleunigt werden. Auf diesem Prinzip beruht die in Rossendorf entwickelte THz-Strahlungsquelle. Die Elektronen werden mit Hilfe eines kurzen Laserpulses angeregt. Um möglichst intensive THz-Strahlungspulse zu erzeugen, wurde für die Rossendorfer Strahlungsquelle ein spezielles Elektrodensystem entwickelt, welches die Vorteile bestehender Ansätze verbindet (Abb. 2). Hohe elektrische Feldstärken werden hier durch fingerartig ineinander greifende Elektroden erreicht. Im Bereich zwischen diesen „Fingern“ werden die Elektronen im Halbleiter beschleunigt und strahlen dabei THz-Wellen ab. Da die Feldrichtung und damit die Beschleunigungsrichtung aber von Zwischenraum zu Zwischenraum unterschiedlich gerichtet ist, löschen sich die THz-Wellen in einiger Entfernung gegenseitig aus. Hier kommt die spezielle, zum Patent angemeldete Innovation der Rossendorfer Strahlungsquelle zum Einsatz: indem jeder zweite Zwischenraum durch eine zusätzliche Metallschicht (grün in Abb. 2) abgedeckt ist, wird eine einheitliche Beschleunigungsrichtung und damit eine starke THz-Abstrahlung erreicht. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, ist diese zweite Metallisierung elektrisch isoliert von den Elektroden.

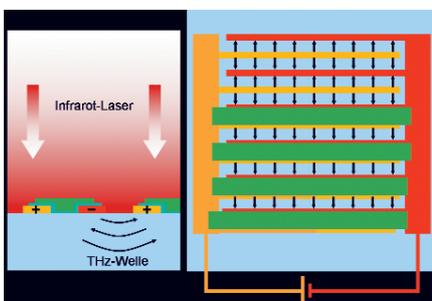


Abb. 2: Prinzip der Rossendorfer Strahlungsquelle. Links: Querschnitt; rechts: Aufsicht.

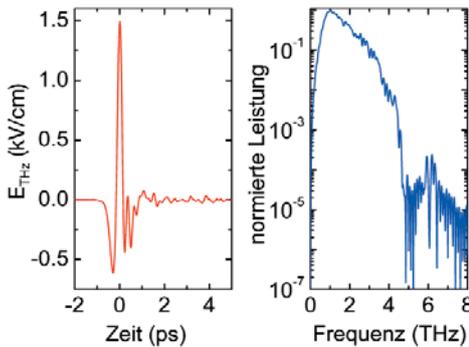


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf eines THz-Strahlungspulses (links) und Spektrum (rechts)

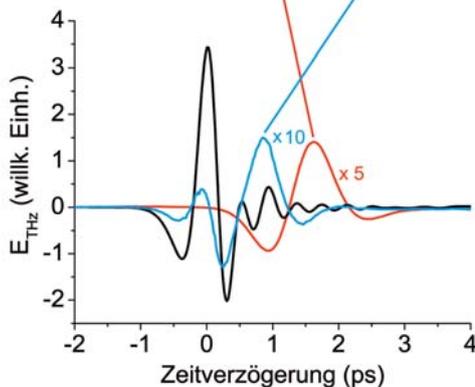
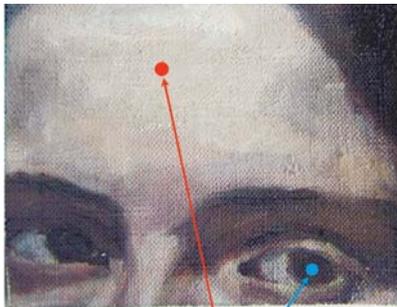
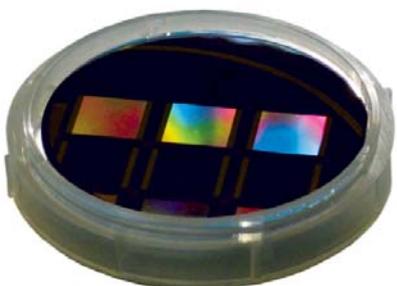


Abb. 4: THz-Transmission durch ein Gemälde. Schwarz, eine Referenzkurve ohne Probe, farbig, die THz-Wellenformen nach Transmission durch die farbig gekennzeichnete Stelle des Bildes. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (Herr Dr. Michael Panzner), Dresden, und Labor Köhler (Herr Wolfram Köhler), Nuthetal.



Die Rossendorfer THz-Strahlungsquelle erzeugt kurze THz-Pulse (Dauer ca. 1 Pikosekunde, ps, das ist der billionste Teil einer Sekunde) im Bereich von 0,1 THz bis 5 THz (Abb. 3). Neben der spektralen Information, z.B. einer charakteristischen Absorptionslinie eines Materials, kann durch die kurze zeitliche Struktur weitere Information gewonnen werden. Beispielsweise kann die Laufzeit der THz-Welle in einem Material gemessen werden. Verglichen mit Quellen, die ähnliche Kurzpuls laser zur Anregung verwenden, liefert die Rossendorfer Quelle derzeit die intensivsten Pulse. Einen Nachteil hat diese Art der gepulsten THz-Erzeugung allerdings: die hierfür nötigen Kurzpuls laser sind sehr teuer (ca. 100.000 EUR) und erschweren dadurch die Einführung der THz-Technologie in größere Märkte. Eine Alternative könnte die Erzeugung von kontinuierlicher THz-Strahlung sein. Sie lässt sich mit Dioden erzeugen, die zwei nahe benachbarte Wellenlängen emittieren. Strahlung bei der Differenzfrequenz, die dann im THz-Bereich liegt, wird durch Frequenzmischen an einem nichtlinearen Element erzeugt. Ein solches Element kann wiederum eine elektrisch vorgespannte Halbleiterstruktur sein. Solche Systeme können wesentlich preisgünstiger sein, allerdings wurden damit bisher keine hohen THz-Intensitäten erreicht.

Zur Veranschaulichung der Leistungsfähigkeit unserer gepulsten THz-Quelle sei hier ein erstes Experiment an einem Gemälde (metalloxidhaltige Ölfarbe auf Leinwand) gezeigt (Abb. 4). Deutlich erkennt man, wie die zeitliche Struktur der THz-Pulse beim Durchgang durch unterschiedliche Bereiche verändert wird. Insbesondere erkennt man eine unterschiedliche zeitliche Verzögerung der THz-Pulse. Dies gibt Anlass zu der Hoffnung, dass THz-Strahlung bei der zerstörungsfreien Untersuchung von Kunstobjekten und beschichteten Werkstoffen eine Rolle spielen kann und beispielsweise übermalte Schichten erkannt werden.

Bald wird das Forschungszentrum Rossendorf über eine weitere THz-Strahlungsquelle verfügen. Der Freie-Elektronen-Laser, der derzeit Infrarotstrahlung im Bereich von 12 THz bis 75 THz erzeugt, wird 2006 zu niedrigeren Frequenzen (ab 2 THz) erweitert. Damit wird den Forschern in Rossendorf wie auch den europäischen Nutzern dieses Großgeräts eine einmalige THz-Strahlungsquelle zur Verfügung stehen. Im Vergleich zu der hier beschriebenen THz-Quelle werden die THz-Pulse des Freie-Elektronen-Laser eine längere Pulsdauer (einige Pikosekunden) und eine millionenfach höhere Pulsenergie aufweisen. Weiterhin werden diese Pulse ein deutlich schmaleres Spektrum besitzen und sich in ihrer Frequenz durchstimmen lassen. Diese Eigenschaften ermöglichen völlig neue Experimentiermöglichkeiten für vielfältige Forschungsthemen.

Abb. 5: Die Rossendorfer THz-Quelle (drei 10 mm x 10 mm Elemente auf einem 2" Wafer)

Starkes Magnetfeld verändert exotisches Metall

A. Bianchi, T. Herrmannsdörfer, J. Wosnitza, S. Zherlitsyn, S. Zviagin

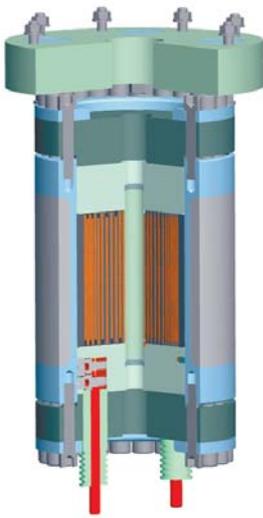


Abb. 1: Zeichnung einer Magnetfeldspule, mit der im Hochfeld-Magnetlabor Dresden im Forschungszentrum Rossendorf bereits hohe gepulste Magnetfelder bis zu 65 T erzeugt wurden.

In Lehrbüchern wird die Dichte der frei beweglichen Ladungsträger als kaum beeinflussbare, lediglich von Material zu Material veränderliche Größe beschrieben. Diese Ladungsträgerdichte bleibt weitgehend von Zustandsgrößen wie Temperatur und Magnetfeld unabhängig, solange das Material keine Phasenumwandlungen vollzieht. In nichtmagnetischen Metallen, wie etwa Kupfer, sind auch große Magnetfelder nicht in der Lage, die Ladungsträgerdichte merklich zu verändern. Anders verhält es sich beim exotischen Material CeBiPt, einem so genannten Halbmetall aus Cer, Wismut und Platin. In dieser Substanz konnte nun erstmalig eine signifikante Änderung der Ladungsträger beobachtet werden, die allein durch das Anlegen eines hohen Magnetfeldes verursacht wurde.

Das Vorhandensein frei beweglicher Ladungsträger, d.h. delokalisierten Elektronen oder Löcher, die nicht an einzelne Atomrümpfe gebunden sind, ist die Grundlage zur Ausbildung metallischer Eigenschaften in kondensierter Materie. Diese mobilen Ladungsträger übernehmen z.B. den Stromtransport, nehmen Anteil an thermodynamischen und magnetischen Phänomenen und dominieren auch die optischen Eigenschaften. Daher ist die Dichte der beweglichen Ladungsträger eine der wichtigsten Kenngrößen eines Metalls. Eine Änderung der Ladungsträgerdichte in einem Metall würde in Folge auch mit einer Änderung vieler anderer Materialeigenschaften einhergehen. Allerdings zeigt sich die Ladungsträgerdichte als weitgehend von Zustandsgrößen wie Temperatur und Magnetfeld unbeeinflussbar, solange das Material keine strukturellen oder magnetischen Phasenumwandlungen vollzieht. Sprunghafte Änderungen der Dichte der frei beweglichen Ladungsträger wurden in Metallen bislang nur bei bestimmten Phasenübergängen, wie z.B. dem Übergang in einen magnetisch geordneten Zustand, beobachtet. Demgegenüber galt deren wesentliche Änderung durch bloßes Anlegen eines Magnetfeldes an ein magnetisch ungeordnetes Metall als nicht machbar. Alle gewöhnlichen nichtmagnetischen Metalle zeigen sich selbst von sehr hohen Magnetfeldern unbeeindruckt. Beispielsweise ändert sich die Ladungsträgerdichte in nichtmagnetischen Metallen wie etwa Kupfer, Silber und Gold in höchsten Magnetfeldern praktisch nicht.



Abb. 2: Die Doktorandin Nadežda Kozlova (IFW) hat entscheidende Messungen im Pilotlabor des Dresdner Hochfeld-Magnetlaborprojektes am IFW durchgeführt.

Bei dem exotischen Metall CeBiPt wurde nun ein ganz anderes, unerwartetes Verhalten beobachtet. In einem Kooperationsvorhaben, das von Prof. Joachim Wosnitza im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Seltenerd-Übergangsmetallverbindungen: Struktur, Magnetismus und Transport“ initiiert wurde und

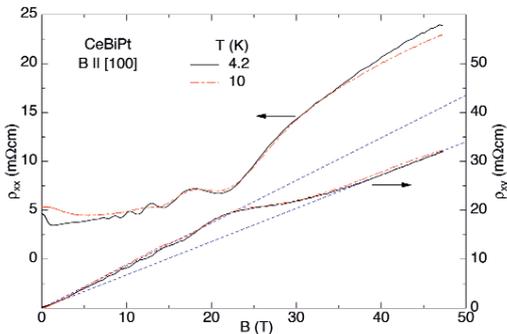


Abb. 3: Feldabhängigkeit des longitudinalen (Ohmschen) und transversalen (Hallschen) spezifischen elektrischen Widerstandes von CeBiPt bei den Temperaturen 4.2K und 10K. Die gestrichelten Linien sind lineare Fitkurven des Nieder- und Hochfeldverhaltens des Hallschen Widerstandes.

Am Vorhaben beteiligte Institute:

- ¹ Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofforschung (IFW) Dresden
- ² Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Dresden
- ³ Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden im Forschungszentrum Rossendorf
- ⁴ Physikalisches Institut, Universität Karlsruhe
- ⁵ Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Festkörperphysik
- ⁶ Institut für Mathematische Physik, Technische Universität Braunschweig
- ⁷ Department of Quantum Matter, ADSM, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8530, Japan

an dem Wissenschaftler aus Dresden, Karlsruhe, Braunschweig und Hiroshima beteiligt sind, wurde CeBiPt in hohen Magnetfeldern untersucht. Oberhalb eines Magnetfeldes von etwa 25 Tesla (T) fand man nun erstmalig, dass sich die elektronischen Eigenschaften von CeBiPt ohne Anzeichen magnetischer Ordnung drastisch ändern. Bei Messungen der Quantenoszillationen des elektrischen Widerstandes als Funktion des Magnetfeldes (Shubnikov-de Haas-Effekt) konnte oberhalb von 25 Tesla ein Hinweis auf eine Änderung der Ladungsträgerdichte festgestellt werden. Während bei Magnetfeldern bis zu 25 Tesla, wie erwartet, Oszillationen mit einer zum Kehrwert des Magnetfeldes proportionalen Periodizität aufgezeichnet wurden, verschwinden die Oszillationen oberhalb von 25 Tesla. Besonders deutlich trat der Effekt bei Untersuchungen in gepulsten Magnetfeldern auf, die am Pilotlabor des Dresdner Hochfeld-Magnetlaborprojektes im Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofforschung Dresden (IFW) durchgeführt wurden. Bei diesen Messungen konnten Leitfähigkeitsdaten bis zu einem Magnetfeld von etwa 50 Tesla erzielt werden. Ebenso trat bei der Messung des Hall-Effektes im Bereich von 25 Tesla eine deutliche Änderung des Hall-Widerstandes auf, die unmittelbar auf eine Änderung der Dichte frei beweglicher Ladungsträger hinweist.

Die magnetfeldinduzierte Änderung der Ladungsträgerdichte in CeBiPt scheint nach neuestem Verständnis auf zwei Effekte zurückzuführen zu sein. Wichtig ist einerseits, dass in diesem Material nur sehr wenige Elektronen am elektrischen Transport beteiligt sind. Andererseits spielen die speziellen Eigenschaften der von den Cer-Atomen beigesteuerten 4f-Elektronen in der Verbindung eine wesentliche Rolle, da der Effekt in der Vergleichssubstanz LaBiPt ausbleibt. Die grundlegend neue Vermutung ist nun, dass die Wirkung des angelegten Magnetfeldes auf die beweglichen Ladungsträger durch die Cer-Atome noch verstärkt wird, wodurch entgegen bisheriger Erfahrung bei einem bestimmten Wert des angelegten Feldes eine dramatische Änderung der Ladungsträgerzahl gemessen werden kann. Inwiefern diese Vorstellung zutrifft, wird gegenwärtig weiter untersucht. Insbesondere werden aktuell auch vergleichende Untersuchungen in statischen und gepulsten Magnetfeldern durchgeführt. Die im Rahmen dieses Vorhabens an CeBiPt erzielten Ergebnisse sind bereits auf sehr großes Interesse unter Festkörperphysikern gestoßen. Die entsprechende Publikation wurde in der angesehenen Fachzeitschrift „Physical Review Letters“ veröffentlicht.

„Magnetic-Field-Induced Band-Structure Change in CeBiPt“, N. Kozlova¹, J. Hagel², M. Doerr², J. Wosnitza^{2, 3}, D. Eckert¹, K.-H. Müller¹, L. Schultz¹, I. Opahle¹, S. Elgazzar¹, Manuel Richter¹, G. Goll⁴, H. v. Löhneysen^{4,5}, G. Zwirgagl⁶, T. Yoshino⁷ and T. Takabatake⁷, Physical Review Letters 95, 086403 (2005)

Kerne im Licht der ELBE-Bremsstrahlung

Andreas Wagner

Einen Gegenstand zu sehen heißt, ihn zu beleuchten und das von ihm reflektierte Licht mit dem Auge nach Farbe und Intensität zu analysieren. Eine unabdingbare Voraussetzung für das Erkennen von Strukturen des Gegenstandes besteht darin, dass die Wellenlänge des verwendeten Lichts vergleichbar ist mit den Abmessungen der kleinsten Struktur, die man noch erkennen will. Das Licht der Sonne hat eine Wellenlänge von ca. 0,5 Mikrometer = 0,5 Tausendstel Millimeter, womit man Details von ca. 1 Mikrometer noch gut auflösen kann. Um Strukturen auf der Skala von Nanometern zu sehen, verwendet man Röntgenstrahlung mit ca. 1 Nanometer = 1 Millionstel Millimeter Wellenlänge. Will man jedoch Atomkerne mit ihrer Größe von einigen Femtometern = Millionstel Nanometern beobachten, benötigt man Lichtwellen mit noch kleineren Wellenlängen: die Gammastrahlung. ELBE erzeugt elektromagnetische Strahlung mit solchen Wellenlängen in Form von Bremsstrahlung, die entsteht, wenn die beschleunigten Elektronen mit etwa 99,95 % Lichtgeschwindigkeit innerhalb weniger Mikrometer in einer Metallfolie abgebremst werden.

Richtet man Strahlung auf eine Probe („Target“ genannt), die aus den zu untersuchenden Kernen besteht, so wird diese entweder reflektiert oder absorbiert - genau wie das Sonnenlicht in makroskopischen Proben. Im Fall der Absorption des Gammaquants - des Photons - beobachtet man im Allgemeinen eine Kernumwandlung.

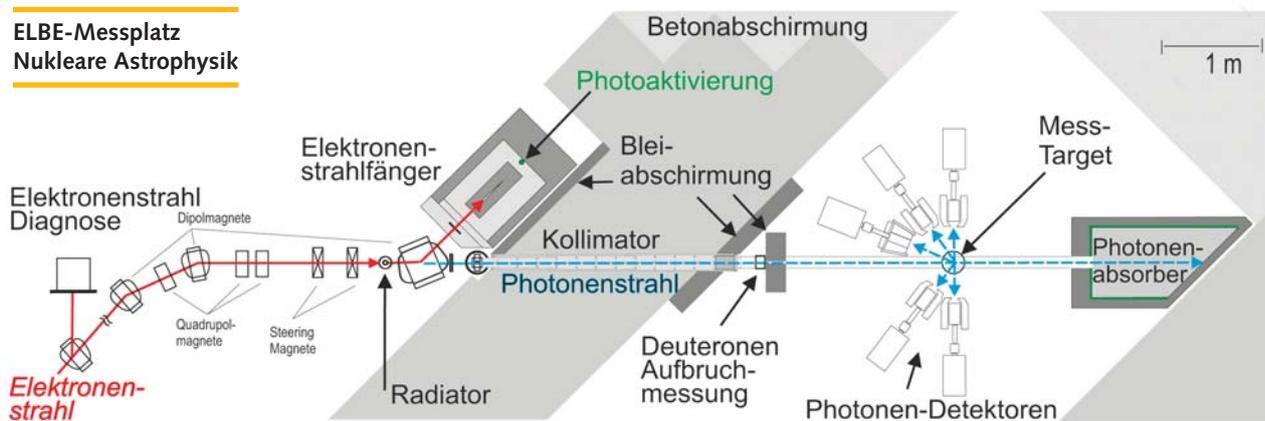


Abb. 1: Messplatz zu Experimenten der nuklearen Astrophysik am ELBE Beschleuniger. Der vom Elektronenstrahl im Radiator erzeugte Photonenstrahl streut an einem Mess-Target und wird mit Photonendetektoren nachgewiesen. Die Bestrahlungen zur Photoaktivierung werden im Elektronenstrahlfänger bei hohen Intensitäten durchgeführt.

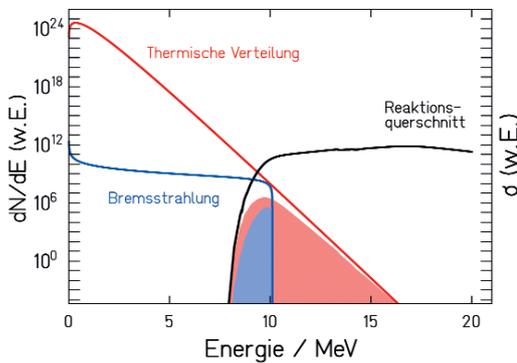


Abb. 2: Thermische Verteilung der Photonen bei einer Temperatur von 3 Milliarden Kelvin (rot) und die an ELBE erzeugte Bremsstrahlung (blau), beide in willkürlichen Einheiten. Wie die Überlagerung dieser beiden Verteilungen mit dem berechneten Reaktionsquerschnitt für die Photodissoziation (hier: $^{92}\text{Mo}(\gamma, p)^{91}\text{Nb}$) zeigt, kann das so genannte Gamow-Fenster (nach George Gamow benannt) mit Bremsstrahlung unterschiedlicher Energie abgetastet werden.

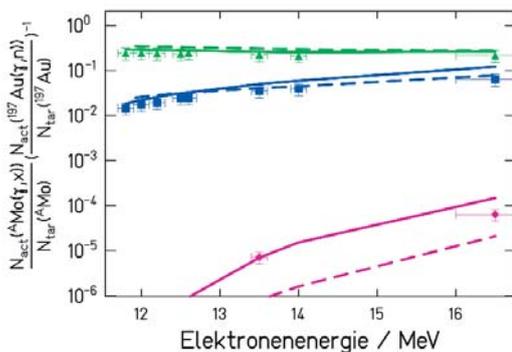


Abb. 3: Verhältnis der durch Bremsstrahlung mit unterschiedlicher Elektronenenergie erzeugten radioaktiven Kerne für die Prozesse $^{92}\text{Mo}(\gamma, n)^{91}\text{Mo}$ (grün), $^{92}\text{Mo}(\gamma, p)^{91}\text{Nb}$ (blau) und $^{92}\text{Mo}(\gamma, \alpha)^{88}\text{Zr}$ (magenta) zum bisher gut untersuchten Prozess $^{197}\text{Au}(\gamma, n)^{196}\text{Au}$. Die Linien zeigen den Vergleich mit zwei unterschiedlichen theoretischen Vorhersagen.

Dieser Kernphotoeffekt, der oberhalb einer bestimmten Energieschwelle, d.h. nur bei genügend kurzwelligen Photonen auftritt, ist seit langem immer wieder das Ziel kernphysikalischer Untersuchungen gewesen. Das hängt damit zusammen, dass man solche Kernumwandlungen eventuell nutzbar einsetzen kann, zum Beispiel zur Umwandlung (Transmutation) radioaktiven Abfalls aus Kernreaktoren. Hierbei sollen langlebige Produkte der Kernspaltung in kurzlebige umgewandelt werden, so dass sie die Umwelt nicht mehr Tausende von Jahren belasten können. Der Kernphotoeffekt ist auch der Grund für die Aktivierung der Raumluft am ELBE-Beschleuniger, die nach dem Abschalten erst nach etlichen Minuten abgeklungen ist.

Die Rossendorfer Kernphysiker interessieren sich für die Photonen-Absorption vor allem noch aus einem anderen Grund: Wenn man verstehen will, wie die chemischen Elemente im Kosmos aus ihren Grundbausteinen synthetisiert wurden, muss man deren Wechselwirkung mit Photonen sehr genau kennen. Im Urknall und in den anderen kosmischen Szenarien, bei denen die Elemente vom Helium bis zum Uran gebildet wurden, herrschten so hohe Temperaturen, dass die Hitzestrahlung die entstandenen Atomkerne durch den Kernphotoeffekt weiter umwandelt. Das thermische Photonenbad, wie es für einige Milliarden Grad typisch ist, kann im Detail durch Bremsstrahlung nachgebildet werden, so dass man diesen Aspekt der Elementbildung an ELBE in Experimenten nachvollziehen kann.

Kernphysikalisch interessant ist vor allem die Frage, welche Rolle bei diesen Vorgängen die so genannte Kern-Dipol-Riesenresonanz (KDR) spielt. Sie stellt die wichtigste kollektive Eigenschwingung von Kernen dar und führt bei entsprechend hohen Energien der Photonen zu einer starken Absorption in Form einer breiten Resonanz, d.h. zu einem großen Absorptionsquerschnitt im Bereich einer ganz bestimmten Wellenlänge. Allerdings ist in den für die kosmische Elementsynthese relevanten Prozessen vorrangig weichere (d.h. weniger energetische) Strahlung von Bedeutung. Die Untersuchung der Absorption direkt oberhalb der Energieschwelle für den Kernphotoeffekt, aber noch unterhalb der KDR, ist daher besonders wichtig. Der Wirkungsquerschnitt dieser Prozesse ist deutlich kleiner und deshalb schwer zu messen. Es wurden deshalb an ELBE besonders gut gegen die störende Untergrundstrahlung abgeschirmte Detektoren aufgestellt, mit denen die bestrahlten Proben ausgemessen werden. Demnächst werden Proben auch mit einer schnellen Rohrpostanlage vom Ort der Bestrahlung zum Detektor transportiert, um auch geringe und kurzlebige Radioaktivität schnell und effektiv bestimmen zu können. Auf der Basis von detaillierten Eichmessungen und von numerischen Simulationen wurde die Effektivität der Bestrahlung und des anschließenden Zerfallsnachweises genau bestimmt.

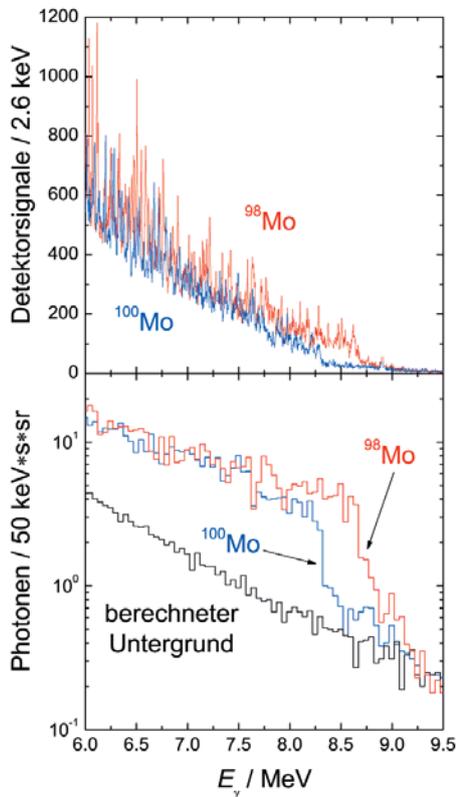


Abb. 4: Experimentelle Verteilung der gestreuten Photonen an zwei Isotopen des Elements Molybdän (oben) und Bestimmung der mittleren Streuintensität. Ebenfalls gezeigt ist der Anteil des berechneten Untergrundes, der oberhalb der Schwelle für die Neutronenproduktion (durch Pfeile angedeutet) die Ausbeute dominiert.

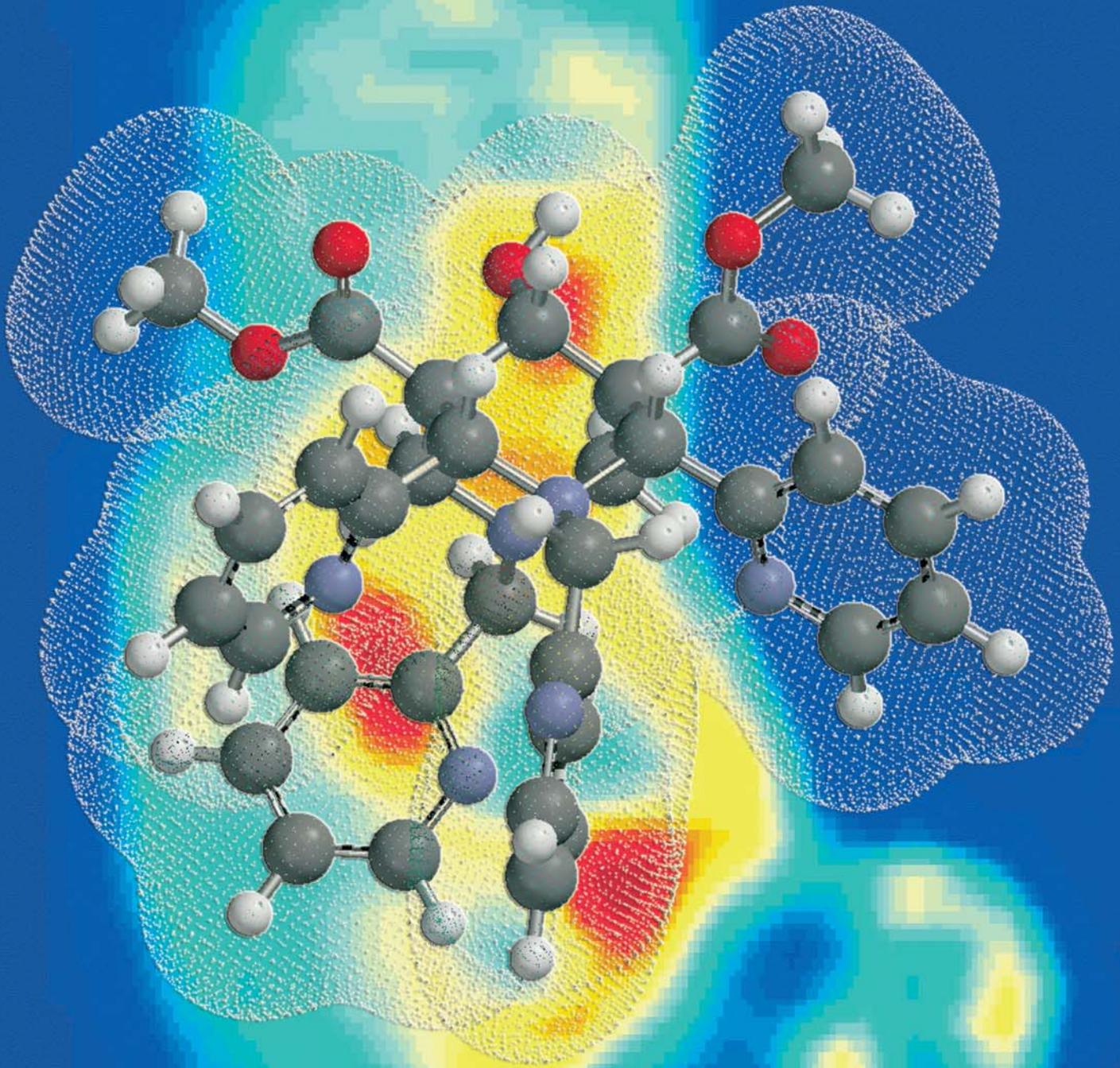
Aus den Daten von ELBE können so Wirkungsquerschnitte für die photonen-induzierte Emission von Neutronen, Protonen und sogar Helium-Kernen extrahiert werden. Der letztgenannte Prozess wurde an ELBE erstmals mit kosmisch relevanter Gammastrahlung für schwerere Elemente nachgewiesen.

Mit ELBE können die thermischen Photonen in kosmischen Prozessen zwar in ihrer Wellenlänge - d.h. ihrer Energie - gut simuliert werden, nicht aber in ihrer Intensität. Schließlich möchte man die für eine Supernova typischen, extremen Bedingungen nun doch nicht hier in Rossendorf erleben. Die für die Elementbildung auch wichtigen Mehr-Photonenprozesse kann man daher leider nicht experimentell verifizieren. Man kann sie aber numerisch simulieren, wenn man das Verhalten der Kerne auch gegenüber weicherer Strahlung kennt. Solche Strahlung kann den Kernphotoeffekt nicht mehr auslösen, ihre Energie bleibt unterhalb der Teilchen-Emissionsschwelle. Es kann nur noch Photonenstreuung erfolgen, deren Untersuchung Informationen liefert über die Dipol-Stärke-Verteilung. Diese so genannte Kern-Resonanz-Fluoreszenz ist allerdings nur schwer von den zahlreichen Prozessen zu unterscheiden, die bei der Wechselwirkung der Photonen mit der Elektronenhülle der Atome stattfinden. Hier haben systematische Verbesserungen des Experimentaufbaus und sorgfältige numerische Studien bei den Experimenten an ELBE zu einer bisher unerreichten Nachweisempfindlichkeit geführt.

Die beobachtete Photonenstreuung ist eine Fluoreszenz, deren Intensität wegen der großen Dichte der angeregten Zustände in den meisten Kernen eine nahezu glatte Energieabhängigkeit zeigt. Einzelne stark angeregte Kernniveaus entsprechen scharfen Resonanzen und führen im Spektrum der gestreuten Photonen zu aus dem Kontinuum herausragenden Linien. Diese tragen aber nur zu einem gewissen Teil zur gesamten Streuintensität bei. Die Aufteilung der Stärke zwischen Kontinuum und Linien konnte mit guter Genauigkeit erstmalig an ELBE bestimmt werden, was der hohen Qualität des Elektronenstrahls und der systematisch verbesserten Experimentanordnung zu danken ist. Auf diese Weise wurden Atomkerne durch ihre Fluoreszenzstrahlung im ELBE-Bremsstrahl sichtbar gemacht; sie leuchten kontinuierlich ultra-ultra-ultra-violett mit einem geringen Anteil an scharfen Resonanz-Linien im Spektrum.

Das Projekt-Team der Nuklearen Astrophysik besteht aus R. Beyer, F. Dönau, M. Erhard, E. Grosse, A. R. Junghans, J. Klug, K. Kosev, C. Nair, N. Nankov, K.-D. Schilling, R. Schwengner und A. Wagner. Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) kofinanziert.

Lebenswissenschaften »



Radioaktive Metalle für die Tumorthherapie

Hans-Jürgen Pietzsch, Holger Stephan, Jörg Steinbach

Tumorerkrankungen stellen nach denen des Herz-Kreislaufsystems in Deutschland die zweithäufigste Todesursache dar. Eine der größten Herausforderungen an die Medizin im 21. Jahrhundert besteht daher in der Entwicklung neuer, effektiver Krebstherapien. Trotz der großen Fortschritte, die insbesondere während des letzten Jahrzehnts bei der Diagnostik von Tumoren, beispielsweise mit der Positronen-Emissions-Tomographie, erzielt werden konnten, stützt sich die Tumorthherapie vor allem auf klassische Methoden. Insgesamt - so muss man leider konstatieren - wurde nur eine schrittweise Verbesserung der Behandlungserfolge erzielt. Dementsprechend ist jede Methode, die einen möglichst signifikanten Beitrag zur Verbesserung von Behandlungsstrategien und damit zur Verbesserung des Therapieerfolges leisten kann, als Fortschritt zu werten.

Ionisierende Strahlen sind nach dem Messer des Chirurgen die erfolgreichste und am häufigsten eingesetzte Waffe gegen den Krebs. Bei der externen Strahlentherapie werden hohe Strahlendosen auf ein kleines Volumen im Körper konzentriert. Ziel ist es, die zur Vernichtung der krankhaft veränderten Körperzellen erforderliche Strahlendosis vorrangig im Tumor zu applizieren, gleichzeitig aber das benachbarte, gesunde Gewebe weitgehend zu schonen. Damit ein Tumor vollständig zerstört werden kann, muss die wirksame Strahlendosis alle krankhaften Zellen treffen. Ihre Grenzen findet die externe Bestrahlung häufig bei der metastasierenden Erkrankung, wobei Tumorzellen über Blut oder Körperflüssigkeiten abgeschwemmt werden und an neuen Orten weiter wachsen. Kleine Tumorzellhaufen können klinisch nicht gefunden werden, erst ab einer bestimmten Größe (ca. 5 mm Durchmesser) werden sie überhaupt erfassbar. Deshalb muss in diesen Fällen die Behandlungsmethode systemisch sein, d.h. die Tumortherapeutika müssen über die Blutbahnen zu den (zum Teil nicht sichtbaren) Metastasen gelangen. Dies ist das Gebiet der Chemotherapie und der gezielten internen Radionuklidtherapie (Endoradionuklidtherapie).

In diesem Falle wird als therapeutisch wirksame Dosis nicht die weitreichende Röntgen- oder Gammastrahlung genutzt, sondern die von einigen Radionukliden emittierte Partikelstrahlung (gewöhnlicherweise Beta-Strahlung). Das Radionuklid wird zum Tumor transportiert und die dort freiwerdende Strahlungsenergie führt dann zum Absterben der Tumorzellen. Dieses Prinzip konnte bisher nur für wenige Anwendungsfälle erfolgreich eingesetzt werden. Das bekannteste Beispiel dafür ist die Behandlung von Schilddrüsenkarzinomen mit Iod-131, das sich selektiv im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mithilfe seiner Partikelstrahlung die Tumorzellen vernichtet.

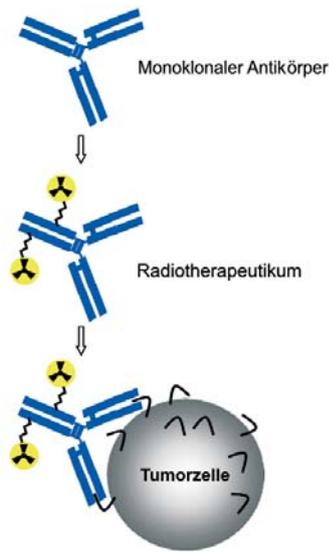


Abb. 1: Prinzip der Radioimmuntherapie: Ein Radiotherapeutikum bindet an eine Tumorzelle, wo die radioaktive Strahlung ihre zellzerstörende Wirkung entfalten kann.

Klinische Bedeutung hat die Radioimmuntherapie als Spezialfall der Endoradio-nuklidtherapie gewonnen. Dabei werden spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert. Mit den Antikörpern gelangen die Radionuklide zum Tumor, wo die radioaktive Strahlung ihre zellzerstörende Wirkung entfalten kann. Gesundes Gewebe wird dabei weitgehend geschont (Abb. 1).

Für radiotherapeutische Anwendungen sind Radionuklide notwendig, die beim Zerfall Partikel (Beta- oder Alpha-Teilchen) aussenden, Halbwertszeiten im Bereich einiger Stunden bis wenige Tage aufweisen und dabei eine sehr hohe örtliche Strahlendosis erzeugen. Es soll also genügend Zeit für die Herstellung der Arzneimittel, ihren Transport innerhalb des Organismus zum Tumor und vor allem zur Abgabe der Strahlendosis an die Tumorzellen zur Verfügung stehen. Um die Strahlenbelastung für das gesunde Gewebe zu minimieren, müssen auf der anderen Seite die Radionuklide in relativ kurzer Zeit in nicht-radioaktive, also stabile Folgenuklide zerfallen. Die Abb. 2 gibt einen Überblick über die Elemente, deren Radioisotope potentielle Therapienuklide sind.



Abb. 2: Übersicht zu therapeutisch relevanten Radionukliden.

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub							
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

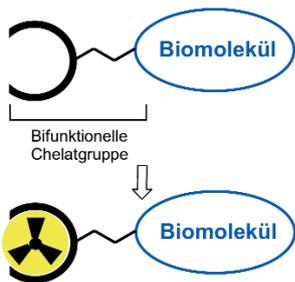


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau eines Radiometallpharmakons. Grundsätzlich besteht ein Radiometallpharmakon aus vier Komponenten: einer bifunktionellen Chelatgruppe, einer Spacereinheit, einem Radionuklid und einem Biomolekül. Die bifunktionelle Chelatgruppe muss das Radionuklid mit hoher Stabilität binden und eine kopplungsfähige Gruppe zum Anbinden von Biomolekülen enthalten. Biomoleküle, wie spezifische Peptide, Proteine, Antikörper oder Aptamere, werden über einen Spacer mit der bifunktionellen Chelateinheit verknüpft und sollen eine steuerbare Bioverteilung ermöglichen. Die Markierung der mit dem Biomolekül versehenen Chelateinheit mit dem Radionuklid soll vorzugsweise in der letzten Stufe erfolgen, um beim Anwender ein einfaches Einschrittverfahren zu ermöglichen.

Prinzipiell stehen die Gruppen der Beta- und Alpha-Strahler sowie Auger-Elektronen emittierende Radionuklide zur Verfügung. Während man mit Betastrahlern größere Areale bis zu mehreren Millimetern zerstören kann, ergibt sich beim Einsatz von Alphastrahlern die Möglichkeit, einzelne Zellschichten zum Absterben zu bringen. Auger-Elektronen-Emitter müssen wegen der geringen Reichweite direkt im Zellkern, d.h. in unmittelbarer Nähe zur DNA, zur Anwendung kommen.

Unsere Untersuchungen haben wir mit den Radionukliden Kupfer-64 und Rhenium-188 mit Halbwertszeiten von etwa dreizehn beziehungsweise siebzehn Stunden begonnen. Neben der gewünschten Partikelstrahlung (Beta-Strahlung) senden diese Radionuklide gleichzeitig Positronen- bzw. Gammastrahlung aus, die es mit Hilfe spezieller Detektionstechniken erlaubt, die Verteilung der radioaktiven Substanzen zu erfassen und bildlich darzustellen. Darüber hinaus sind

diese Radionuklide leicht verfügbar. Kupfer-64 können wir mit Hilfe des institutseigenen Kreisbeschleunigers (Zyklotron) herstellen. Für die Gewinnung von Rhenium-188 nutzen wir einen kommerziell erhältlichen Radionuklid-Generator, der auch in Kliniken aufgestellt werden kann. Die unterschiedliche maximale Reichweite der Strahlung im Gewebe - etwa 1 Millimeter für Kupfer-64 und 11 Millimeter für Rhenium-188 - gestattet eine breite Anwendung für Tumore verschiedener Größe.

Ein therapeutischer Einsatz von Radionukliden stellt besonders hohe Anforderungen an die metabolische und radiolytische Stabilität der zu entwickelnden Radiopharmaka. Das bedeutet, dass die applizierte Verbindung intakt zum Wirkungsort transportiert werden und dort verbleiben muss, bis die Strahlung abgeklungen ist. Mögliche Metaboliten dieser Radiopharmaka müssen den Körper verlassen, ohne gesundes Gewebe zu schädigen. Damit sind Verbindungen gefragt, die über einen zielsuchenden und einen komplexbildenden Teil für metallische Radionuklide verfügen, also verschiedene Funktionen erfüllen müssen (Abb. 3). Aufgrund der unterschiedlichen Koordinationschemie von Rhenium- und Kupferverbindungen erfordert das eine differenzierte Herangehensweise für die beiden Radiometalle. Im Folgenden sollen die in unserem Institut gegenwärtig verfolgten Ansätze zur Entwicklung von radiomarkierten Rhenium- und Kupferverbindungen vorgestellt werden: Für die Herstellung von stabilen Komplexen für Rhenium-188 setzen wir auf die Weiterentwicklung von im Hause etablierten Strategien. Das ist einmal das so genannte „4+1“-Gemischtligandkonzept (Abb. 4). Dabei wird das Radiometall mit einem vierzähligen Liganden - über drei Schwefeldonoratome und ein Aminostickstoffdonoratom - sowie über ein Phosphordonoratom eines Phosphins gebunden. Das führt zu sehr stabilen Komplexen. Die Ankopplung an ein tumoraffines Molekül kann über eine Carboxylgruppe, die am vierzähligen Liganden oder am Phosphin sitzt, erfolgen. Die Ligandstruktur bietet vielfältige Möglichkeiten, physiko-chemische Parameter, z. B. die Löslichkeit, zu variieren und damit die Einsatzbreite zu erweitern.

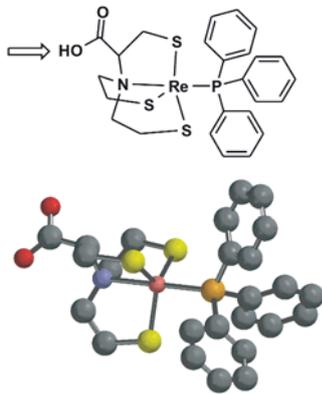


Abb. 4: Rheniumkomplex nach dem „4+1“-Ligandkonzept

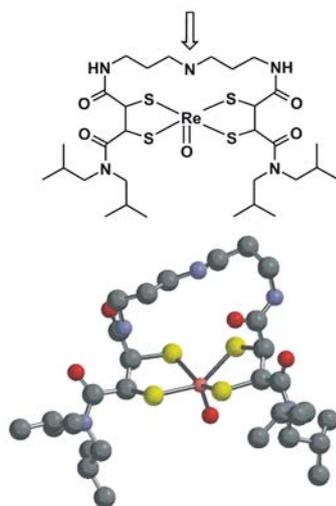


Abb. 5: Rheniumkomplex auf der Basis von verbrückten Dimercaptobornsteinsäure-Chelateinheiten

Chemisch sehr robuste radioaktive Rheniumkomplexe lassen sich auch auf der Basis von verbrückten Dimercaptobornsteinsäure-Chelateinheiten herstellen (Abb. 5). Auch dieser Ansatz lässt eine breite Strukturvielfalt zu. Außerdem lassen sich löslichkeitsvermittelnde Einheiten an die Carboxylgruppen der Dimercaptobornsteinsäure knüpfen. Insgesamt ist die Synthese derartiger Rheniumkomplexe eine Herausforderung an die Chemiker, weil während der Herstellung Stereoisomere, d. h. Verbindungen mit derselben Konstitution, aber einer unterschiedlichen räumlichen, dreidimensionalen Anordnung ihrer Atome und Atomgruppierungen, entstehen. Dies trifft ebenso auf sechszählige Chelate auf der Basis des Bispidins (3,7-Diazabicyclo[3.3.1]nonan) zu. Dieses Ligandensystem, das wir zusammen mit Kollegen der Universität Heidelberg entwickeln,

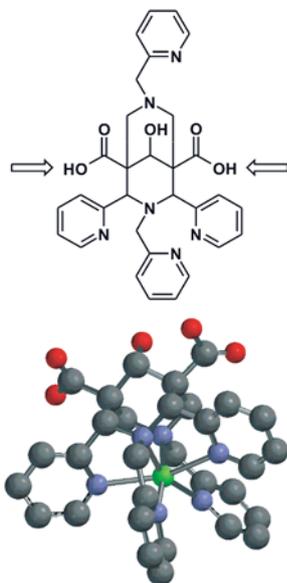


Abb. 6: Bispidinligand mit vier Pyridingruppen und der entsprechende Kupfer(II)-Komplex

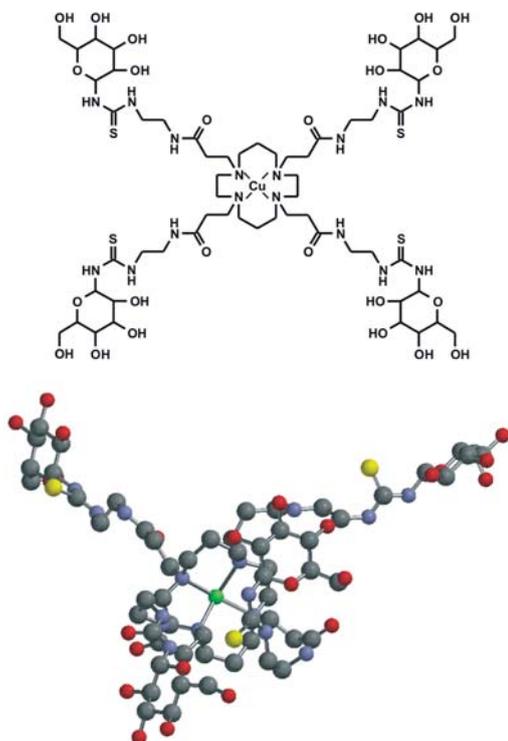


Abb. 7: Kupferhaltiges Dendrimer der 1. Generation mit vier Glucoseeinheiten an der Peripherie

eignet sich zur Herstellung von sehr stabilen Kupfer(II)-Komplexen. Ein Vertreter ist in Abb. 6 gezeigt. Das Kupfer(II)-Ion wird durch insgesamt sechs Donor-Atome (zwei Aminostickstoff- und vier Pyridinstickstoffatome) gebunden und praktisch komplett von der Umgebung abgeschirmt, was die hohe Stabilität erklärt. Die Bildung dieser Bispidin-Radiokupfer-Komplexe kann bei Raumtemperatur und bei physiologischen pH-Werten vorgenommen werden. Das Ankoppeln eines tumoraffinen Moleküls erscheint über die Carboxylgruppen des Bispidingerüsts möglich und wird gegenwärtig untersucht. Für die Stoffklasse der Dendrimere ergibt sich eine nahezu unbegrenzte Vielfalt möglicher Ligandstrukturen mit einstellbaren Komplexbildungs- und Löslichkeitseigenschaften. Hierbei wird das Radiometall von einer zentralen Chelateinheit fest gebunden und um diesen Moleküllern werden strukturperfekte Verzweigungseinheiten angeordnet, die an der Oberfläche Biomoleküle wie Zucker, Peptide oder Nucleotide enthalten können. Abb. 7 zeigt ein Dendrimer mit einfacher Verzweigung (1. Generation), einem komplex gebundenen Kupfer(II)-Ion und vier Glucosemolekülen an der Peripherie. Durch die Syntheseführung ist es möglich, schrittweise Moleküle mit der doppelten Anzahl an Oberflächengruppen zu erzielen (2. Generation). Man erzeugt so Generation für Generation. Die 2. Generation des in Abb. 7 dargestellten Moleküls würde dann 8 Glucosemoleküle enthalten. Man ist damit in der Lage, die Stabilität der gebildeten Metallkomplexe mit zunehmender Verzweigung und dadurch zunehmender Abschirmung zu erhöhen und durch gezielte Einführung von Oberflächengruppen Einfluss auf die Bioverteilung zu nehmen.

Die vorgestellten Konzepte lassen sich prinzipiell auch auf die Herstellung von Metallkomplexen anderer therapeutisch relevanter Radionuklide anwenden. Dafür sind eine Vielzahl unterschiedlicher Teilaufgaben zu lösen. Das betrifft insbesondere Arbeiten zur Ligandsynthese, zur Koordinationschemie sowie tumorbiologische und radiopharmakologische Aspekte. Dies erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Experten aus der Chemie, der Biologie und der Medizin, wie sie z. T. im Institut vertreten sind. Allerdings sind die Zeiträume, die zwischen der Erforschung neuer Präparate und der Anwendung am Patienten liegen, lang.

Auf dem Gebiet der Entwicklung von Radiometallverbindungen für die Tumorthherapie kooperieren wir extern mit Fachkollegen der Universitäten Heidelberg, Bonn, Ferrara (Italien), Kitakyushu (Japan) sowie des Instituts für Nuklearchemie und Technologie Warschau. Künftig werden diese Arbeiten stärker in Zusammenhang mit dem neugegründeten Zentrum für Innovationskompetenz für Medizinische Strahlenforschung in der Onkologie, „OncoRay“, das von der Technischen Universität Dresden, dem Forschungszentrum Rossendorf und dem Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden getragen wird, vorangetrieben.

Umwelt & Sicherheit »



Beitrag zur Sicherheit - Untersuchungen zur Nuklidmigration im Endlager für radioaktive Stoffe Morsleben

Cordula Nebelung, Lutz Baraniak, Gert Bernhard



Abb. 1: Geologische Struktur und Grundwasserabstrom im Bereich des Endlagers (Salzformation unterirdisch: hellblau, Schacht: gelb)



Abb. 2: Einlagerung in Schichten von 3 Fässern übereinander, dazwischen eine Salzschiicht von 1 m Grafik (1), Fotos (2): Bundesamt für Strahlenschutz

Die laufenden Stilllegungsarbeiten im Endlager für radioaktive Stoffe in Morsleben (ERAM) erfordern umfangreiche Untersuchungen zur möglichen Migration von Radionukliden nach einem fiktiven Wasserzutritt. Sie tragen wesentlich zur Beurteilung der Langzeitsicherheit bei. Auch nach der Schließung des Endlagers dürfen Radionuklide nicht freigesetzt werden, die dann durch Transport im Grundwasserleiter an die Erdoberfläche und damit in die Biosphäre gelangen. Nach der Strahlenschutzverordnung §47 ist zu sichern, dass zur natürlichen Strahlenbelastung keine relevante, zivilisatorisch bedingte hinzukommt und dass unter keinen Umständen die Grenzwerte für die Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung überschritten werden (0,3 mSv/Jahr).

Das Endlager Morsleben befindet sich im ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk Bartensleben, das zwischen 1910 und 1912 abgeteuft wurde und aus dem bis 1969 Salz gefördert wurde (Abb. 1). Die 300 bis 500m mächtige Zechsteinsalzschiicht hat ein Alter von etwa 250 Mio. Jahren und zeigt eine hohe geologische Stabilität. Während der vergangenen 100 Mio. Jahre stand das darüber liegende Land mehrmals für Millionen Jahre unter Wasser, und im Quartär war das Gebiet zuletzt mit Eis und Wasser bedeckt, ohne dass die Lagerstätte jemals angegriffen wurde. Trotzdem wird im Kontext der Sicherheitsbetrachtungen der hypothetische Fall eines Wassereintruchs in das Endlager betrachtet. Dabei wird folgendes Szenario zugrunde gelegt: Wasser dringt in den Salzstock ein und sättigt sich mit den anstehenden Salzen. Im Endlager kommt es durch Korrosions- und Löseprozesse an den Abfallfässern zum Übertritt von Radioaktivität in die Salzlösung. Durch Fließen der Lösung, insbesondere Aufsteigen durch das Deckgebirge, könnte Radioaktivität an die Erdoberfläche transportiert werden.

Im Zeitraum 1971 bis 1998 wurden im Endlager etwa 36.700 m³ schwach- und mittelradioaktive Stoffe sowie 6.621 umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Die Summe der Aktivität beträgt $3,8 \cdot 10^{14}$ Bequerel [1]. Alle diese Abfälle wurden in Fässern gelagert (Abb. 2) und die Zwischenräume mit industriellen Abfällen, wie Salzbeton oder Magnesiabinder, verfüllt. Diese Versatzmaterialien haben die Aufgabe, den Einlagerungsraum zu schließen und im Freisetzungsfalle die Radionuklide zu binden. Teilweise wurden feste Abfälle aus den Behältern in eine Salzkaverne verstürzt, die anschließend vollständig verfüllt wurde [1].

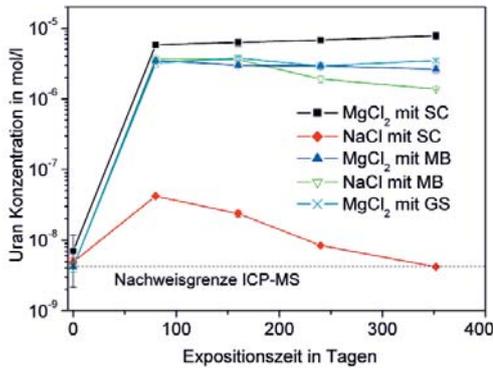


Abb. 3: Löslichkeit von U_3O_8 in konzentrierten Salzlösungen

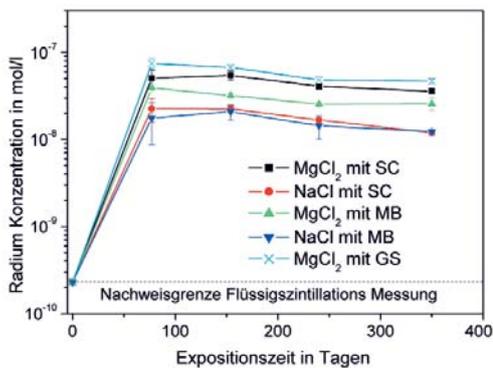


Abb. 4: Löslichkeit von $(Ra, Ba)SO_4$ in konzentrierten Salzlösungen

Ergebnisse

Um Aufschluss über das Verhalten von Uran und Radium im Salzstock und im darüber liegenden Deckgebirge im skizzierten Falle eines Wassereintrages zu erhalten, wurden im Institut für Radiochemie Versuche zur Löslichkeit und Rückhaltung der Nuklide durchgeführt, deren Ergebnisse in eine umfassende Studie des Forschungszentrums Karlsruhe zur Nuklidmigration im Deckgebirge des radioaktiven Endlagers Morsleben eingingen [2].

Die Löslichkeit wurde durch Einwirkung der konzentrierten Salzlösung auf Uranoxid (U_3O_8) und Radiumsulfat ($RaSO_4$) untersucht. Dafür wurden zwei für das Endlager typische Salzlösungen verwendet: (1) gesättigte Kochsalzlösung (5,35 mol/l NaCl) und (2) konzentrierte Magnesiumchloridlösung (3,8 mol/l $MgCl_2$, 0,8 mol/l KCl, 0,4 mol/l Na_2SO_4). Um Realitätsnähe zum Endlager zu haben, wurden diese Salzlösungen in einem vorbereitenden Schritt mit den Versatzmaterialien behandelt. Über einen Zeitraum von einem Jahr lief dann der Löseversuch, wobei mehrfach die gelösten Anteile an Uran (Abb. 3) und Radium (Abb. 4) bestimmt wurden.

Diese Sorptionsuntersuchungen erstreckten sich auf das Rückhaltevermögen des „Grauen Salztons“ im Deckgebirge für gelöstes Uran und Radium. Zusätzlich wurde die Anbindung des Urans an die Versatzmaterialien, die die Abfälle einbetten, untersucht. Dabei wurden Suspensionen der Feststoffe (Salzton bzw. Versatzmaterial) in den Salzlösungen mit definierten Mengen an Uran und Radium versetzt. Auch diese Salzlösungen wurden zuvor mit dem Salzton und dem entsprechenden Versatzmaterial konditioniert. Über einen Zeitraum von 400 Tagen wurde die Anbindung von Uran bzw. Radium an den Feststoffen über die Abnahme der Nuklidkonzentration in der Lösung bestimmt.

Die Löslichkeit des Uranoxids (U_3O_8) in der gesättigten Kochsalzlösung beträgt $1,4 \cdot 10^{-6}$ mol/l. War die Salzlösung vorher mit Salzbeton als Versatzmaterial in Kontakt, sank die Urankonzentration unter $4,2 \cdot 10^{-9}$ mol/l - das entspricht der unteren Grenze des Urannachweises mittels Plasma-Massenspektrometrie. Die Ursache hierfür war die Reduktion des leichtlöslichen sechswertigen Urans zu schwerlöslichem vierwertigen Uranhydroxid. Die Löslichkeit des Uranoxids in der konzentrierten Magnesiumchloridlösung hängt etwas von deren Vorbehandlung ab und liegt im Bereich $2,6 \cdot 10^{-6}$ bis $7,8 \cdot 10^{-6}$ mol/l. Das ist etwa das Vierfache der Löslichkeit in der Kochsalzlösung.

Die Sorption am „Grauen Salzton“ ergab in den konzentrierten Salzlösungen eine Rückhaltung zwischen 93 und 98 %. Die entsprechenden Sorptionskoeffizienten liegen im Bereich 165 bis 390 ml/g. Uran wird stärker an den Verfüllmaterialien angebinden. Hier ergab sich eine Rückhaltung von 96 bis 100 %, was Sorptionskoeffizienten von 400 bis 22.000 ml/g entspricht. Das bedeutet, dass im Falle der Uranfreisetzung dieses gleich wieder im unmittelbaren Nahbereich gebunden, also immobilisiert wird.

Das Radium verhält sich chemisch exakt wie das in der Natur immer gleichzeitig auftretende Barium. So kann das Barium im BaSO_4 -Kristallgitter durch Radium ersetzt werden, ohne dass sich die Kristalleigenschaften ändern. Da die Salzlösungen unter den Bedingungen des Salzlagers viel Sulfat und Barium enthalten, ist die Löslichkeit des RaSO_4 als $(\text{Ra,Ba})\text{SO}_4$ -Löslichkeit zu verstehen. Das Löslichkeitsprodukt von $(\text{Ra,Ba})\text{SO}_4$ in salzfreiem Wasser liegt bei $6,3 \cdot 10^{-11} \text{ mol}^2/\text{l}^2$. Das entspricht einer äußerst geringen Löslichkeit. Deshalb werden die Sulfate des Bariums und Radiums zu den schwerlöslichen Verbindungen gerechnet. In den gesättigten Salzlösungen liegt der Wert im Bereich $1,8 \cdot 10^{-8}$ bis $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^2/\text{l}^2$. Die Löslichkeit in den endlagerrelevanten Salzlösungen liegt damit im Vergleich zum salzfreien Wasser um 3 Größenordnungen höher. Der hohe Salzgehalt in der Lösung ist für die stärkere Auflösung des $(\text{Ra,Ba})\text{SO}_4$ verantwortlich. In Anbetracht der relativ hohen Sulfatgehalte der Salzlösungen (ca. 0,1 mol/l) sind die dabei auftretenden Konzentrationen an Barium und Radium sehr niedrig. Barium liegt im Bereich $1,7 \cdot 10^{-7}$ bis $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$ und Radium im Bereich $1,2 \cdot 10^{-8}$ bis $4,7 \cdot 10^{-8} \text{ mol/l}$.

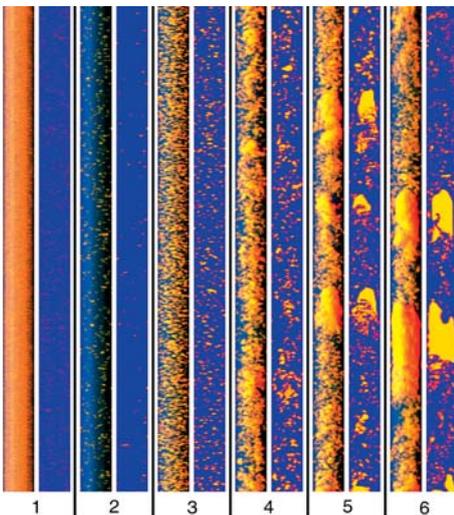
Bei der Sorption am „Grauen Salzton“ wird nur eine 35 bis 75 %ige Rückhaltung des Radiums (Sorptionkoeffizienten von 5 bis 21 ml/g) erreicht, so dass sich Radium im Vergleich zum Uran (93 bis 98 % Rückhaltung) im Falle der Auflösung geringfügig weiter im Salzton ausbreiten kann. Allerdings sind die Migrationsdistanzen so gering, dass die Ausbreitung über den unmittelbaren Grubennahbereich nicht hinaus kommt. Damit kann definitiv gesagt werden, dass im Falle eines störfallbedingten Wasserzutritts zum Endlager Uran und Radium keinem Transport unterliegen und deshalb von diesen Nukliden keine radioökologische Beeinflussung der Umwelt ausgeht.

Das generelle Stilllegungskonzept für das Endlager geht davon aus, dass auf Grund der natürlichen Bedingungen Oberflächen- und Grundwässer über Jahrmillionen keinen Zutritt zur Salzlagerstätte hatten und dass durch zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen im Umfeld der Einlagerungsräume sowie durch Verfüllung sämtlicher Hohlräume weitere Barrieren geschaffen werden und damit das Endlager hermetisch abgeriegelt wird [1].

- [1] BfS Bundesamt für Strahlenschutz, Presse und Öffentlichkeitsarbeit, Salzgitter 2001, „Endlager Morsleben. Das Endlager für radioaktive Abfälle vor der Stilllegung“ <http://www.bfs.de/bfs/druck/broschueren/morsleben.html>
- [2] P. Vejmelka, J. Lützenkirchen, M. Kelm, E. Bohnert, K. Gomper (FZK), C. Nebelung, L. Baraniak (FZR), „Nuklidmigration im Deckgebirge des ERAM“, 2004, Abschlussbericht zum BfS-Auftrag Nr. 9M 212 230-62

Modelle für die Simulation von Mehrphasenströmungen mit CFD-Codes

Dirk Lucas, Horst-Michael Prasser, Eckhard Krepper, Thomas Frank*



Nr.	J_L [m/s]	J_G [m/s]	Strömungsform
1	4,047	0,2190	fein dispers
2	0,405	0,1196	Blasenströmung mit Wandmaximum
3	0,405	0,0574	Blasenströmung im Übergangsbereich
4	1,017	0,2190	Blasenströmung mit Mittenmaximum
5	1,017	0,3420	Blasenströmung mit bimodaler Blasen-größenverteilung
6	1,017	0,5340	Pfropfenströmung

Abb. 1: Gittersensoren liefern detaillierte Informationen über die Struktur einer Zweiphasenströmung.

Aus den Messdaten werden virtuelle Seitenansichten (linke Säulen) und Schnittbilder durch die Mittelebene (rechte Säulen) einer senkrechten Rohrleitung gewonnen. Bei Variation der Volumenstromdichten von Luft (J_G) und Wasser (J_L) stellen sich verschiedene Strömungsformen ein.

„Computational Fluid Dynamics“-Codes ist der Oberbegriff für Rechenprogramme zur mehrdimensionalen numerischen Strömungssimulation. Sie beruhen auf den strömungsmechanischen Grundgleichungen, partiellen Differentialgleichungen, die bis vor einigen Jahren mit Ausnahme von wenigen Spezialfällen als praktisch unlösbar galten. Mit der heute verfügbaren Rechnertechnik und fortgeschrittenen numerischen Methoden können jedoch bereits komplizierte Strömungsfelder, wie sie unter anderem in der Automobil- und Luftfahrtindustrie auftreten, berechnet werden. Der Vorteil: An Stelle empirischer Berechnungsformeln, die immer nur für einen bestimmten Anwendungsfall galten, kann auf ein universelles Rechenmodell zurückgegriffen werden. Dadurch werden aufwendige Experimente eingespart, die früher beispielsweise in Windkanälen durchgeführt werden mussten. Durch Eingabe der geometrischen Daten des zu untersuchenden Objekts kann das CFD-Programm leicht an die Randbedingungen der jeweiligen Aufgabenstellung angepasst werden, ohne dabei immer wieder neue Modellgleichungen entwickeln zu müssen.

Von dem, was bei reinen Gas- oder Flüssigkeitsströmungen schon breite Anwendung findet, ist man im Fall zwei- oder mehrphasiger Strömungen jedoch noch weit entfernt. Wenn, wie beispielsweise in einem Kernreaktor, ein Zweiphasengemisch aus Dampf und Wasser die Brennelemente kühlt, dann müssen zusätzlich die Wechselwirkungen zwischen den beiden beteiligten Phasen beschrieben werden. Dort findet ein Austausch von Masse, Impuls und Energie statt. Wie **Abb. 1** zeigt, ist die Struktur dieser Phasengrenzfläche sehr komplex. Auch bei wachsender Rechenleistung ist es nicht möglich, die rasch veränderliche Gestalt dieser Grenzfläche zu berechnen. Stattdessen wird auf das Zweifluidmodell zurückgegriffen, bei dem angenommen wird, dass an jedem Ort beide Phasen mit einem gewissen Volumenanteil gleichzeitig präsent sind. Wichtige Strukturmerkmale der Phasengrenzfläche werden dann durch Parameter wie Blasengrößen und Blasenanzahldichten wiedergegeben. Der Schwerpunkt der Forschung liegt auf der Erstellung von Modellgleichungen, die notwendig sind, um die Intensität der Wechselwirkungen an der Phasengrenze in Abhängigkeit von diesen Strukturparametern zu berechnen.

Im Rahmen einer Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zur „Entwicklung und Anwendung von CFD-Programmen für Phänomene im Kühlkreislauf von Leichtwasserreaktoren“ werden im Institut

*ANSYS Germany GmbH, Otterfing

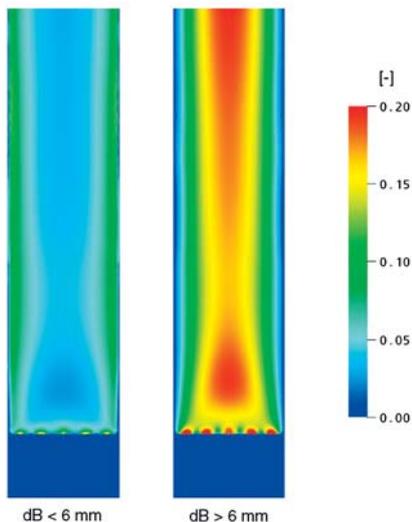


Abb. 2: Die quer zur Hauptströmungsrichtung wirkende Auftriebskraft befördert kleine Blasen zum Rand einer aufwärts durchströmten vertikalen Rohrleitung, während größere Blasen zum Zentrum wandern. Das inhomogene MUSIG-Modell, eine gemeinsam mit ANSYS Germany entwickelte neue Komponente von CFX-10, gibt diesen Effekt richtig wieder.

für Sicherheitsforschung Arbeiten zur Weiterentwicklung des Strömungscodes ANSYS-CFX für Zweiphasenströmungen durchgeführt. Ein Kooperationsvertrag mit dem Codeentwickler ANSYS Germany gewährleistet, dass die Forschungsergebnisse direkt in das CFD-Programm einfließen. Damit ist eine unmittelbare praktische Verwertung der Ergebnisse der Arbeiten gegeben.

Als Beispiel solcher Arbeiten soll hier der Spezialfall einer Blasenströmung ohne Phasenübergang durch Sieden oder Kondensation betrachtet werden. In diesem Fall muss „lediglich“ der Impulsaustausch zwischen den Phasen berücksichtigt werden, der durch Ansätze für die auf eine Gasblase wirkenden Kräfte beschrieben wird.

Basis für die Modellentwicklung sind Experimente an der TOPFLOW-Versuchsanlage des FZR, bei denen eine Wasser-Luft- bzw. Wasser-Dampf-Strömung in einer vertikalen Rohrleitung mit Gittersensoren untersucht wird, einer Messtechnik, die hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung für solche Anwendungen weltweit führend ist. Die Zylindergeometrie und die Möglichkeit, die Entwicklung der Strömung über die Rohrlänge zu beobachten, erleichtern die Modellentwicklung.

In den Untersuchungen zu den Blasenkräften wurden die Widerstandskraft, die virtuelle Massenkraft, die laterale Auftriebskraft, die Wandkraft und die turbulente Dispersionskraft berücksichtigt. Interessant ist hierbei insbesondere die auf die Blasen quer zur Hauptströmungsrichtung wirkende Auftriebskraft, die unter Normalbedingungen bei einem Blasendurchmesser von ca. 5 - 6 mm ihr Vorzeichen umkehrt. In Folge dessen bewegen sich kleinere Blasen bevorzugt in Richtung Rohrwand, während größere eher in der Mitte des Rohrs zu finden sind. Das Zusammenspiel aller Kräfte führt zu einer charakteristischen Verteilung der Blasen über den Rohrquerschnitt, die stark von dem Spektrum der Blasengrößen abhängt. Durch einen Vergleich gemessener und berechneter Verteilungen kann die Güte der einzelnen Modelle für die Blasenkräfte eingeschätzt werden. Im Resultat wurde ein Satz von Modellen gefunden, der die experimentellen Befunde gut wiedergibt und der daher gemeinsam mit dem Entwickler in den CFD-Code CFX implementiert wurde. Auf Grundlage dieser Arbeiten wurde die Notwendigkeit eines Mehrblasenklassenmodells deutlich, welches unterschiedliche Geschwindigkeiten für Blasen unterschiedlicher Größe zulässt. Ein derartiges Modell, das auch als inhomogenes MUSIG-Modell bezeichnet wird (MUSIG - **M**ulti **B**ubble **S**ize **G**roup), wurde inzwischen entwickelt und ebenfalls in CFX implementiert.

Abb. 2 zeigt als Beispiel Gasgehaltsverteilungen, die unter Berücksichtigung von zwei Blasenklassen mit dem CFX-Code berechnet wurden. Die Gasblasen werden dabei über mehrere Düsen, die gleichmäßig über dem Querschnitt verteilt sind, in die Rohrleitung eingespeist. In Strömungsrichtung sagt CFX eine

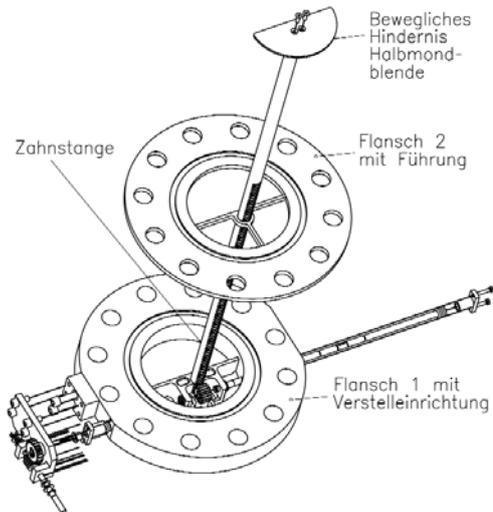


Abb. 3: Die Gasgehaltsverteilung und das Geschwindigkeitsfeld bei Umströmung einer halbmondförmigen Blende kann mit einem Gittersensor erfasst werden, wenn die wahlweise vor und hinter dem Sensor angeordnete Blende durch einen mechanischen Antrieb verschoben werden kann.

Umverteilung der Blasen voraus, wobei kleine Blasen zum Rand, große zum Zentrum des Rohrquerschnitts wandern. Diese Rechenergebnisse stimmen gut mit Gasgehaltsprofilen überein, die mittels Gittersensor für die unterschiedlichen Blasengrößeklassen ermittelt wurden.

Die Gültigkeit der entwickelten Modelle ist aber nicht auf Rohrströmungen begrenzt. Vielmehr ist es das Ziel, in dem Zusammenwirken von Experimenten und CFD-Simulationen möglichst allgemeingültige Modelle für derartige Strömungsformen zu entwickeln. Um die Anwendbarkeit der Modelle für die Blasenkräfte auch für komplizierte Strömungsfelder nachzuweisen, wurden Experimente mit einer halbseitigen Versperrung des Rohrquerschnitts durchgeführt. Messungen erfolgten wiederum mit dem Gittersensor, wobei der Abstand zwischen der zur Versperrung benutzten Blende (Abb. 3) und dem Sensor variiert wurde. Dadurch kann das dreidimensionale Strömungsfeld in der Umgebung des Hindernisses mit Rechenergebnissen verglichen werden. Noch vor Beginn der Experimente wurde eine Berechnung der Gasgehaltsverteilung und des Geschwindigkeitsfeldes in der Umgebung der Blende angestellt. Hinter der Blende wurde ein großräumiges Rezirkulationsgebiet vorhergesagt, in dem es zu einer starken Anreicherung der Gasphase kommt, wogegen im Stau vor der Blende der Gasgehalt absinkt (Abb. 4). Die theoretisch vorhergesagten Strukturen wurden durch das Experiment voll bestätigt (Abb. 5). Bisher basierten die Berechnungen auf der Annahme von Blasen einer einheitlichen Größe. Im nächsten Schritt wird das oben beschriebene inhomogene MUSIG-Modell anhand der Messdaten getestet, was die Genauigkeit der Simulation weiter erhöhen wird.

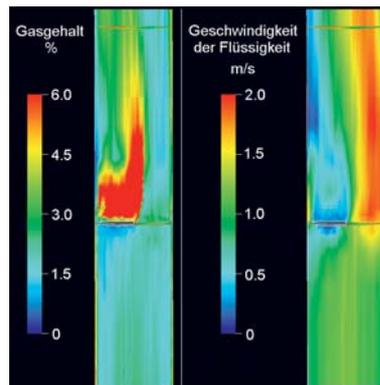


Abb. 4: Für die Umströmung des halbmondförmigen Hindernisses durch ein Flüssigkeits-Gas-Gemisch sagt CFX voraus, dass sich im Nachlauf ein großräumiges Rezirkulationsgebiet mit starker Anreicherung der Gasphase herausbildet. Dicht vor dem Hindernis staut sich die Strömung. An dieser Stelle wird eine Abnahme des Gasanteils berechnet.

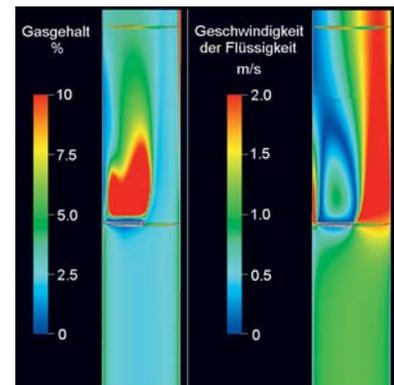


Abb. 5: Ein Experiment mit der verschieblichen Blende bestätigt die Vorhersagen durch den Strömungssimulationscode CFX. Der Gittersensor liefert eine Gasgehaltsverteilung und ein Geschwindigkeitsfeld, das eine gute Übereinstimmung mit den Rechenergebnissen aufweist.

Forschung in Netzwerken »



Maßgeschneiderte Magnetfelder für den industriellen Einsatz - der DFG-Sonderforschungsbereich 609

Sven Eckert, Gunter Gerbeth

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 609 mit dem Titel „Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie“ hat seine erste Bewilligung von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum 01.01.2002 erhalten. Die im Oktober 2004 erfolgte Zwischenverteidigung wurde mit großem Erfolg absolviert und führte infolge der Förderung zusätzlicher Projekte zu einer deutlichen Vergrößerung des SFB. Die zweite Förderperiode ist für die Jahre 2005 - 2008 bewilligt. Das Arbeitsfeld der Magneto-fluiddynamik (MFD), welche die Thermofluiddynamik und die Elektrodynamik miteinander verbindet, gilt als der Schlüssel für eine gezielte und berührungslose Kontrolle von Strömungen elektrisch leitfähiger Flüssigkeiten, die in vielen technologischen Anwendungen eine wichtige Rolle spielen.

Die MFD hat im Dresdner Raum in den letzten Jahren eine erfolgreiche Entwicklung genommen. Dies geht nicht zuletzt auf den Beitrag der federführenden Einrichtungen TU Dresden (TUD) und Forschungszentrum Rossendorf (FZR) sowie auf die Förderung durch das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) zurück. Die Liste der am SFB beteiligten Institutionen umfasst neben der TUD und dem FZR die TU Bergakademie Freiberg (TU-BAF), das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden (IFW) und das Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme (MPIKS).

Ein Ziel des SFB besteht darin, mit wissenschaftlichen Partnern in technische Bereiche vorzudringen, die ein hohes Anwendungspotential erkennen lassen. Die Entwicklung und Anwendung maßgeschneiderter Magnetfelder zur Optimierung von technologischen Abläufen unter Beteiligung elektrisch leitfähiger Flüssigkeiten ist Ansatzpunkt und übergeordnetes Ziel des Forschungsprogramms. Bisher wurden einzelne Problemstellungen zumeist nur unter dem Blickwinkel betrachtet, welche Änderungen sich durch den Einsatz des einen oder anderen Magnetfeldes ergeben könnten. Nun soll in einem ersten Schritt zunächst der jeweilige Prozess untersucht und so verstanden werden, dass ein für das Erreichen der technologischen Zielstellung optimales Geschwindigkeitsfeld in der beteiligten Schmelze identifiziert werden kann. Die Erzeugung dieser Strömungsstruktur bedarf einer bestimmten elektromagnetischen Kraft, deren räumliche und zeitliche Form beispielsweise mittels gezielter Kombination verschiedener Magnetfeldtypen erreicht werden könnte. Schließlich ist eine

geeignete Anordnung von Spulensystemen und /oder Permanentmagneten zu finden, die die gewünschte Feldverteilung liefert.

Diese Vorgehensweise soll am Beispiel der Arbeiten zur magnetfeldkontrollierten Erstarrung von Metalllegierungen im SFB 609 veranschaulicht werden. Das Themengebiet wird von drei Teilprojekten am FZR, der TUD und der TU-BAF bearbeitet. Hintergrund des zunächst grundlagenorientierten Forschungsprogramms sind Forderungen aus dem Automobil- und Luftfahrtsektor an die Gießereitechnik hinsichtlich der Herstellung immer größerer, dünnwandigerer und komplexerer Gussteile bei gleichzeitig geforderten, höheren spezifischen Festigkeitseigenschaften. Die Fertigung von Gussteilen, die höchsten Qualitätsansprüchen genügen müssen, erfordert eine durchdachte Prozessführung mit speziellen Maßnahmen, die eine kontrollierte Erstarrung des Gusskörpers gewährleisten. Das Ziel besteht darin, Werkstoffe mit einem feinkörnigen, isotropen Gefüge mit nahezu kugelförmigen Kristallen, auch Globuliten genannt, zu erhalten. Allerdings wird die Morphologie vieler Legierungen von ausgedehnten, stengelförmigen Kristallen, den kolumnaren Dendriten, dominiert, die eine deutliche Vorzugsorientierung aufweisen. Weil globulitisch erstarrte Materialien hinsichtlich der mechanischen Kennwerte eindeutig überlegen sind, soll das Wachstum der Dendriten mit Hilfe magnetischer angetriebener Strömungen im Schmelzbad unterbunden werden.

Magnetfeldgetriebene Strömungen während der Erstarrung metallischer Legierungen bestimmen den Wärme- und Stofftransport in der Schmelze und damit die Keimbildung und das Kornwachstum. Die Vorteile des elektromagnetischen Rührens bzgl. Regelbarkeit und Kontaktfreiheit werden auch genutzt, um den Einfluss einer gegebenen Strömungsstruktur auf den Prozess der Erstarrung metallischer Legierungen grundsätzlich zu untersuchen.

Im experimentell ausgerichteten Teilprojekt B1 (FZR/TUD) werden Erstarrungsexperimente von Blei-Zinn- und Aluminium-Silizium-Legierungen mit einem rotierenden Magnetfeld (RMF) durchgeführt. Die mittels RMF erzeugte Strömung ist nicht zu komplex und bereits gut untersucht. An diesem noch relativ einfachen Fall soll ein besseres Verständnis der wesentlichen, physikalischen Abläufe erreicht werden, bevor Vorschläge für eine optimale Rührstrategie ausgearbeitet werden können. Einen detaillierten Einblick in die Struktur der mittels RMF induzierten Strömung während der Erstarrung geben numerische Simulationen, die am Institut für Luft- und Raumfahrttechnik der TUD im Teilprojekt B2 laufen. Die enge Zusammenarbeit der Projekte B1 und B2 ermöglicht eine eingehende Analyse der Strömungsstrukturen beim Erstarrungsprozess und ein tieferes Verständnis der Wechselwirkung zwischen Strömung und Erstarrungsvorgang. Diese grundlegenden Erkenntnisse werden direkt im Teilprojekt B3 am Gießerei-Institut der TU-BAF verwertet und auf reale Gussteile für Aluminium- und Magnesium-Legierungen übertragen.

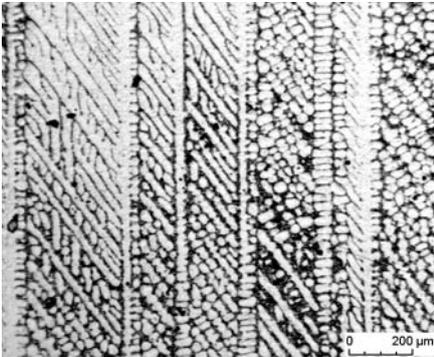


Abb. 1: Gefüge einer Pb-Sn-Legierung ohne RMF gerichtet erstarrt

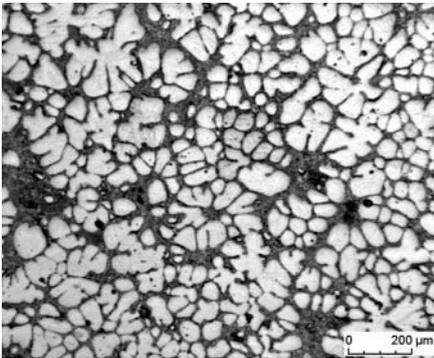


Abb. 2: Gefüge einer Pb-Sn-Legierung mit RMF (10 mT, 50 Hz) gerichtet erstarrt



Abb. 3: Demonstration des direkten Magnetfeldinflusses auf die Struktur: die kolumnaren Dendriten wachsen auf die Strömung zu - eine Umpolung des Magnetfeldes bewirkt deshalb eine veränderte Ausrichtung der Kristalle -. Nimmt die Intensität der Strömung weiter zu, beobachtet man den Umschlag hin zum globulitischen Wachstum

Im Ergebnis der Untersuchungen zur Anwendung des RMF bei einer gerichteten Erstarrung konnte der Übergang von einem kolumnar-dendritischen zu einem globulitischen Gefüge demonstriert werden (s. Abb. 1 und 2). Der Volumenanteil des globulitischen Gefüges hängt bei gleichbleibenden Abkühlbedingungen direkt von der Art und Intensität der elektromagnetisch angetriebenen Strömung ab und kann durch eine definierte Einstellung der Magnetfeldparameter kontrolliert werden. Außerdem wurde im Ergebnis des elektromagnetischen Rührens eine deutliche Kornfeinung im Gefüge nachgewiesen. Diesen positiven Befunden gegenüber steht die Beobachtung von Entmischungen auf makroskopischer Skala, die auf die Einwirkung der Strömung zurückzuführen sind. Die Aufgabe besteht nun darin, eine Strömungsstruktur zu finden, die auf der einen Seite zu einem feinkörnigen, globulitischen Gefüge führt, andererseits aber keinerlei Entmischung der Phasenbestandteile im Gefüge zulässt.

Erste Ergebnisse aus den numerischen Simulationen zeigen, dass durch eine kontrollierte Modulation der Magnetfeldamplitude ein geeignetes Strömungsmuster erzeugt werden kann, das den Grad der Entmischung deutlich reduziert. Auf dieser Basis wurden Konzepte hinsichtlich optimierter Zeitfunktionen für die Magnetfeldparameter Amplitude und Frequenz entwickelt, die in den Erstarrungsexperimenten im FZR überprüft werden. In diesem Zusammenhang ist es wesentlich, dass mit dem im FZR für den Einsatz in Metallschmelzen weiterentwickelten Ultraschall-Doppler-Verfahren erstmals eine Messtechnik zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten in der flüssigen Phase während des Erstarrungsprozesses eingesetzt wird. Diese neue experimentelle Methode ermöglicht ein besseres Verständnis des Zusammenhangs zwischen Strömungsfeld vor der Erstarrungsfront und den Merkmalen des primären Erstarrungsgefüges und stellt damit eine wichtige Voraussetzung für die Erarbeitung und Umsetzung von Strategien für eine Optimierung von Gefügemerkmalen durch den Einsatz maßgeschneiderter Magnetfelder dar.

Höchste Magnetfelder als Basis für Kooperationen mit Partnern aus Dresden, Europa und Übersee

A. Bianchi, T. Herrmannsdörfer, J. Wosnitza, S. Zherlitsyn, S. Zviagin



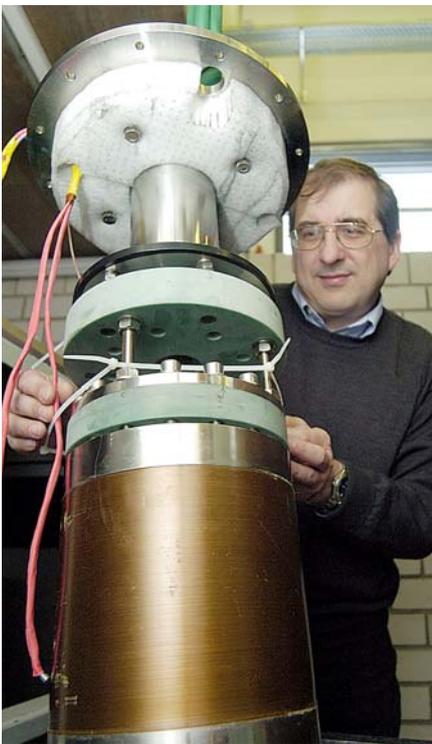
Detailaufnahme der Spulenwickelmaschine, mit der die Pulsfeldspulen gewickelt und die Drähte, wie hier zu sehen, mit hochfesten Fasern umflochten werden.

Dresden Das Dresdner Hochfeld-Magnetlaborprojekt ist aus einer engen Kooperation des FZR mit vier anderen Dresdner Institutionen hervorgegangen: dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW), der Technischen Universität Dresden (TU-Dresden) und den Max-Planck-Instituten für Physik komplexer Systeme sowie für Chemische Physik fester Stoffe. Umso erfreulicher ist daher der Umstand, dass diese Kooperationen auch weiterhin aktiv betrieben werden. So kümmert sich etwa das IFW um die Entwicklung besonders zugfester, für die Hochfeldspulen benötigter Drähte. Seit 2004 ist zudem ein weiteres Dresdner Institut involviert, das Leibniz-Institut für Polymerforschung (IPF), welches sein Know-How zur Verbesserung der hoch belasteten Faserverbundmaterialien in Hochfeld-Magnetspulen einbringt.

Darüber hinaus konnten insbesondere neue Projekte begonnen werden, die durch Drittmittelförderungen unterstützt werden. An dieser Stelle seien stellvertretend zwei Projekte genannt. Ein Beispiel ist die erfolgreiche Einwerbung eines gemeinsamen Projektes im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiierten Paktes für Forschung und Innovation im Jahr 2005. An diesem Projekt sind neben dem Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD) des FZR das IFW, die TU-Dresden und das Leibniz-Institut für Polymerforschung (IPF) beteiligt. Es wird sich mittels resonanter Messverfahren, wie der Elektronenspin- oder Kernspin-Resonanz, der Materialforschung widmen. Im Fokus stehen dabei Untersuchungen an modernen Supraleitern, Magneten und nanoskaligen Systemen in höchsten Magnetfeldern.

Die Vernetzung der Großforschungsanlage des HLD mit Partnerinstituten war auch von Bedeutung bei der Evaluierung des Sonderforschungsbereichs (SFB) 463 mit dem Titel „Seltenerd-Übergangsmetallverbindungen: Struktur, Magnetismus und Transport“. Dieser Sonderforschungsbereich wurde erneut erfolgreich verteidigt und geht damit in die vierte Runde, die nun bis Ende 2008 andauern wird. Die für Forschung und Entwicklung wegen ihrer einzigartigen magnetischen Eigenschaften interessanten Verbindungen bestehen aus den exotischen Seltenerd-Elementen und Übergangsmetallen, einer Gruppe von Elementen, zu der etwa Platin und Eisen zählen. Die Kompetenz Dresdner Einrichtungen deckt dabei viele Bereiche von der Herstellung der Materialien bis hin zu deren Untersuchung mit modernsten Messmethoden ab. Das HLD wird sich in Teilprojekten insbesondere der Untersuchung der elektronischen

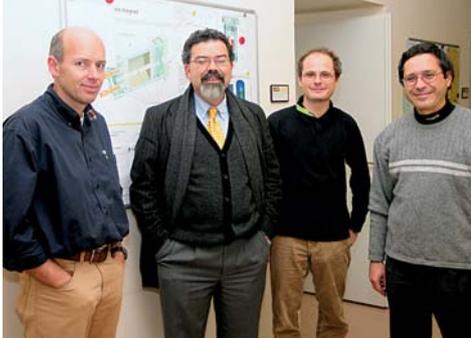
Bandstruktur intermetallischer Seltenerdverbindungen mit Hilfe des de Haas-van Alphen- und Shubnikov-de Haas-Effekts widmen. Dabei sollen die zum Verständnis der physikalischen Eigenschaften wichtigen Parameter, wie z.B. die Fermi-Flächen, effektiven Leitungselektronen-Massen und charakteristischen Streuzeiten, bestimmt und mit im Rahmen des SFB gewonnenen Resultaten aus Bandstrukturrechnungen verglichen werden. Insbesondere soll die Änderung der elektronischen Eigenschaften in Abhängigkeit äußerer Parameter, wie Druck, Magnetfeld und Temperatur, untersucht werden.



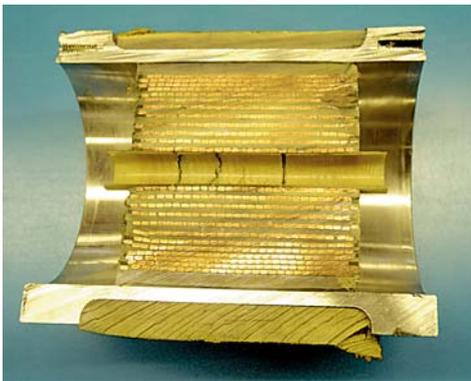
Eine der in der Werkstatt des HLD gewickelten und getesteten Pulsfeldspulen; Prof. Joachim Wosnitza

Europa Eine enge Verbindung zu den Hochfeld-Magnetlabors in Toulouse (LNCMP, Frankreich), Nijmegen (HMFL, Niederlande) und Oxford (England) bestand bereits seit dem Beginn des Dresdner Hochfeld-Magnetlaborprojektes Ende der 90er Jahre. 2005 gelang es nun, diese Kooperation im Rahmen einer von der EU geförderten „Design Study of Next Generation Pulsed Magnet User Facilities“ (kurz DeNUF) zu intensivieren. Die „DeNUF Design Study“ strebt die Entwicklung und Validierung neuer Technologien für innovative gepulste Nutzer-Magnet-Systeme an, die hinsichtlich Feldstärke, Lebenszeit, Abkühlzeit und Verlässlichkeit über den gegenwärtigen Stand der Technik hinaus wesentlich verbessert werden sollen. Die Technologien sollen dazu genutzt werden, die nächste Generation von gepulsten Hochfeldmagneten an den existierenden Anlagen der Teilnehmer mit dem Ziel zu gestalten und zu betreiben, die Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Aktivitäten in den USA und Japan zu gewährleisten und die Voraussetzung zu schaffen, dass Europa die führende Position auf dem Gebiet der Hochmagnetfeld-Technologie zurückerlangt. Europäischen Forschern öffnet sich damit ein Zugang zu höchsten Magnetfeldern unter optimalen Bedingungen und insbesondere ein Weg in neue Forschungsgebiete der Physik und Materialwissenschaften in hohen magnetischen Feldern. Über die Laufzeit vom 1. April 2005 bis zum 31. März 2009 werden im 6. Forschungsrahmenprogramm der EU mittels DeNUF insgesamt fünf Teilprojekte gefördert, die sich mit Studien zur Verbesserung der Forschungsinfrastruktur von Pulsfeld-Magnetlabors beschäftigen. Die Fördersumme beträgt insgesamt 1,89 Mio. Euro. Der Anteil für das HLD (642 T Euro) soll insbesondere zur Verbesserung der Stellensituation beitragen.

Aus einer weiteren europäischen Förderinitiative, dem EuroMagNET-Programm, an dem das HLD aufgrund seiner engen Kooperation mit dem IFW, aber insbesondere auch aufgrund der gemeinsamen Aktivitäten mit dem FZR-Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung, partizipiert, wurden mehrmonatige Gastaufenthalte von theoretischen Physikern aus Israel unterstützt. Prof. Tsofar Maniv und sein Mitarbeiter Dr. Zhuravlev vom Technion in Haifa konnten durch diese Förderung eine intensive Kooperation auf dem Gebiet der elektronischen Eigenschaften neuartiger supraleitender Materialien in hohen Magnetfeldern mit dem HLD beginnen.



Dr. Herrmannsdörfer, Dr. Lacerda (Direktor Hochfeldlabor Los Alamos/USA), Dr. Bianchi, Dr. Zherlitsyn (v.l.n.r.)

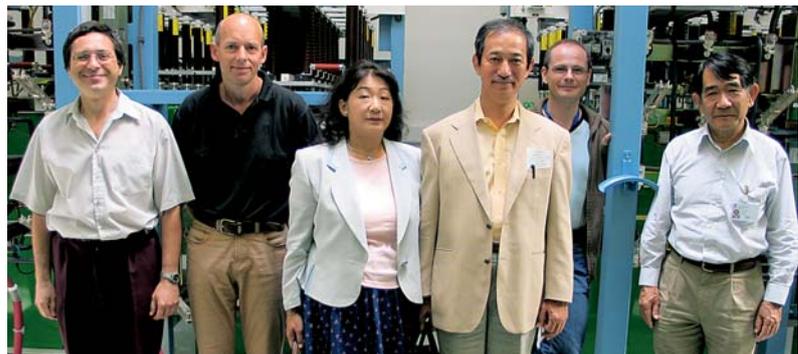


Aufgeschnittene Test-Magnetspule

Übersee Als zukünftiger „Global Player“ im Bereich der Hochfeld-Magnetforschung und -Magnettechnologie pflegt das HLD seit Jahren Kontakte zu Partnern und Mitstreitern auch außerhalb Europas. In den vergangenen Jahren wurden bereits viele Kontakte in die USA, nach Japan und Südkorea geknüpft. In diesem Jahr kam auf ausdrücklichen Wunsch der chinesischen Botschaft in Berlin auch eine Kooperation mit der Hochfeld-Magnetlabor-Initiative aus Wuhan (HUST) hinzu. In diesem Rahmen war unter den Gästen des HLD auch eine chinesische Delegation vor Ort.

Vom intensiven Austausch mit den nationalen Hochfeld-Magnetlabor-Einrichtungen in den USA profitiert das HLD insbesondere durch die Rekrutierung erfahrener Wissenschaftler. Eine gegenseitige Information der Fortschritte auf dem Weg zur Entwicklung eines 100 Tesla-Magnetsystems gehört seit Jahren zum freundschaftlichen Dialog der beiden Einrichtungen.

Die enge Verbindung zu japanischen Instituten wird insbesondere durch die Gastbesuche der Institutsleiter aus Sendai, Tsukuba und Tokio deutlich. Unter den Gästen möchten wir den Humboldt-Preisträger Prof. Noboru Miura hervorheben. Prof. Miura, der vor seiner kürzlichen Pensionierung leitender Direktor des japanischen Hochfeld-Magnetlabors der University of Tokyo in Kashiva war, hat sowohl als ausgezeichnete Grundlagenforscher als auch als Vorreiter im Bereich der Entwicklung der Kurzzeit-Magnetpulstechnik und -Sensorik weltweite Beachtung erzielt. Im Labor von Prof. Miura wurden auf einer Zeitskala von Mikrosekunden Magnetfelder bis über 600 Tesla erreicht. Im Rahmen seines Humboldt-Stipendiums, welches ihm 2005 einen halbjährigen Forschungsaufenthalt an IFW und FZR in Dresden ermöglichte, hat er eine ganze Serie von neuen Materialien untersucht (s. den Beitrag von Prof. Miura, S. 45 - 46). Am HLD war er insbesondere einer der ersten externen Nutzer des neu angeschafften SQUID-Magnetometers, das hoch auflösende Messungen der magnetischen Materialeigenschaften im weiten Temperaturbereich von 1.8 bis 600 K und bis zu statischen Magnetfeldern von 7 Tesla erlaubt. In diesem Rahmen konnte z.B. die magnetische Anisotropie einer neuen metallorganischen Verbindung charakterisiert werden, die nun tiefer gehende Messungen in höchsten gepulsten Magnetfeldern im IFW und im FZR motiviert.



Dr. Zherlitsyn, Dr. Herrmannsdörfer, Prof. Mami Kido, Prof. Giyu Kido, Dr. Bianchi, Prof. Noboru Miura (v.l.n.r.)

Tomographie komprimierter Kernmaterie: Resultate von Experimenten der internationalen SIS-HADES-Kollaboration

Frank Dohrmann, Burkhard Kämpfer

HADES ist eine große Detektorinstallation am Schwerionensynchrotron SIS der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt. Die Abkürzung HADES steht für High Acceptance Di-Electron Spectrometer. Dieser einzigartige Detektor wurde von 1995 bis 2000 von Wissenschaftlern und Technikern aus 22 Forschungseinrichtungen und Universitäten aufgebaut. An ihm experimentieren heute mehr als 100 Physiker aus 11 europäischen Ländern, darunter 5 Wissenschaftler und drei Doktoranden aus dem Forschungszentrum Rossendorf (FZR). Neben einer laufenden EU-Förderung zum Ausbau der Infrastruktur wurde der apparative Aufbau von HADES stark durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. In der derzeitigen Messphase von HADES werden vor allem die Doktoranden, die an der Analyse der in großen Mengen anfallenden Messdaten arbeiten, durch Drittmittel des BMBF finanziert. Zusätzlich zur Bewährung in einem großen internationalen Forschungsteam erhalten sie Gelegenheit, aus den erhaltenen neuesten Daten aktuelle Resultate für ihre Dissertationen zu extrahieren. Sie arbeiten gleichzeitig mit an der Lösung von Hardware-Problemen mit modernsten Technologien und sammeln wertvolle Erfahrungen im Umgang mit komplexen Softwarelösungen und Datenbanken, die für die weitere berufliche Entwicklung auch außerhalb rein erkenntnisorientierter Forschung sehr nützlich sind. Wichtige Detektorkomponenten des HADES-Experiments wurden im FZR gebaut, die ersten Resultate der Analysen der HADES-Daten sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Die physikalischen Ziele der Experimente

Tomographische Untersuchungen, wie wir sie z.B. aus der medizinischen Diagnostik kennen, analysieren durchdringende Strahlung außerhalb eines zu untersuchenden Mediums bzw. Körpers, um Rückschlüsse auf Strukturen und Vorgänge in seinem unzugänglichen Inneren zu ziehen. Die verborgenen Eigenschaften des Mediums - eventuell modifiziert durch die eindringende Strahlung - können dabei besonders gut durch die Eigenschaften der vom Wechselwirkungsort kommenden Strahlen erschlossen werden, wenn diese das Medium möglichst ungestört durchdringen. Eine ähnliche Methode kann bei der Untersuchung stark wechselwirkender Materie, so genannter baryonischer Materie, angewendet werden. Das signifikanteste Beispiel für baryonische Materie sind Atomkerne, die mehr als 99,9 % der Masse unseres Körpers darstellen. Im Kosmos gibt es Objekte baryonischer Materie mit mehrfacher Sonnenmasse, so genannte Neutronensterne, die entscheidend zur dunklen Materie beitragen.

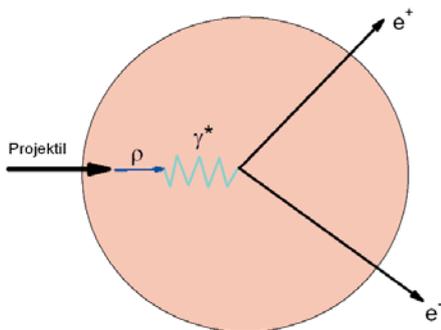


Abb. 1: Ein Elektron-Positron-Paar (e^+e^-) verlässt ungestört die dichte Kernmaterie. Es wurde aus dem Zerfall eines virtuellen Photons (γ^*), welches wiederum direkt aus dem ρ -Teilchen gebildet wird, erzeugt. Als Projektile können andere Kerne, Protonen, Pionen oder auch Photonen verwendet werden.

Das Mysterium der Masse

Werden Atomkerne stark angeregt, so senden sie Gamma-Strahlung aus ihrem Inneren aus. Einige dieser Gamma-Strahlen sind energetisch genug, um ein Elektron-Positron-Paar zu erzeugen. Nach ihrer Erzeugung wechselwirken das Elektron und das Positron mit dem umgebenden Kern kaum noch, d.h. sie gelangen praktisch ungestört aus dem Kern heraus. Dieser Prozess ist schematisch in **Abb. 1** dargestellt. Ähnlich wie bei der medizinischen Tomographie ist hier das Ziel, mit Hilfe des Elektron-Positron-Paars Informationen über die Bedingungen in unmittelbarer Nähe seines Entstehungsortes zu erhalten.

Das HADES-Experiment misst mit hoher Präzision die Flugbahnen der auslaufenden Elektronen und Positronen und kann daraus die Energie des ursprünglichen Gamma-Strahls rekonstruieren. Unter den vielen verschiedenen Prozessen, bei denen Gamma-Strahlen erzeugt werden können, interessieren uns besonders solche, bei denen ein Rho-Teilchen (ρ) direkt in ein Photon zerfällt, welches unmittelbar danach wiederum ein Elektron-Positron-Paar bildet. Das ρ ist ein stark wechselwirkendes Teilchen, und die Umstände seiner Erzeugung hängen von der unmittelbaren Umgebung ab, in der es erzeugt wird, d.h. das ρ -Teilchen ist eine direkte Sonde, deren Information über seinen Entstehungsort durch die aus dem Kern heraus fliegenden Elektronen und Positronen transportiert wird.

Die Hadronenphysik (hadros = griech. für stark) befasst sich mit der starken Wechselwirkung. Das ρ -Teilchen ist für diese Physik besonders interessant, weil die Vermutung besteht, dass sich seine Eigenschaften verändern, wenn es in stark wechselwirkender Materie eingebettet wird. Die Kernmaterie bewirkt dabei ein „starkes“ externes Feld. Wie stark das ρ modifiziert wird, hängt von der Art des Feldes ab, wie die folgende Analogie erläutert: Beim bekannten Zeeman-Effekt wird das Anregungsspektrum eines Atoms durch ein äußeres Magnetfeld modifiziert - man beobachtet die Verschiebung einzelner Spektrallinien. Entsprechend existiert ein Anregungsspektrum hadronischer Zustände, wobei das ρ als eine spezielle „Spektrallinie“ auftritt. HADES untersucht, inwieweit sich diese Spektrallinie in einem äußeren Feld verändert, das durch die starke Wechselwirkung in der Kernmaterie erzeugt wird. Die Verschiebung der Spektrallinien bedeutet eine Änderung der Energie dieser Zustände.

Verallgemeinern wir Einsteins berühmte, vor hundert Jahren (1905) gefundene Formel auf den Fall nicht verschwindender Impulse eines ρ -Teilchens

$$E = \sqrt{m_\rho^2 c^4 + p^2 c^2}$$

und betrachten seinen Zerfall in ein e^+ und ein e^- , dann gilt: Man messe und addiere die Energien und Impulse von e^+ und e^- des ρ -Teilchens und bestimme daraus die ρ -Masse. In dieser Weise versuchen wir, uns dem Mysterium der „Masse“ in unserer Welt zu nähern. Während die Physiker viele Teilchen und ihre Eigenschaften (nicht nur die Massen) kennen, verstehen sie (noch) nicht die Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Entstehung, dem „Woher“ der Massen. Verändern wir - wie bei HADES - die Massen in kontrollierter Weise, so eröffnen sich neue Möglichkeiten zum Verständnis des Ursprungs der Massen. Dieses Verständnis kann große Auswirkungen auf unser Weltbild

Erste Ergebnisse der HADES-Experimente

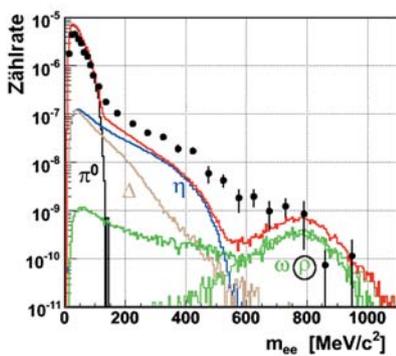


Abb. 2: Das erste Resultat von HADES: Die Verteilung der Gesamtenergie (hier mit m_{ee} bezeichnet) von Elektron-Positron-Paaren (Datenpunkte) für die Kollision von Kohlenstoffkernen mit 95 % Lichtgeschwindigkeit (entsprechend Energien von 2 GeV pro Nukleon) mit ruhenden Kohlenstoffkernen. Die Histogramme zeigen Simulationen des erwarteten Beitrags von ρ -Teilchen und von anderen Quellen (mit π , Δ , η , ω bezeichnet), die auch in ihrer Summe nicht an die Messpunkte im mittleren Bereich herankommen. Details zu dieser Abbildung sind in der Arbeit von R. Holzmann u. a. (HADES Collaboration) in Nucl. Phys. (2005) beschrieben.

Konstruktion des HADES-Detektors

* Vorarbeiten wurden z.B. von R. Thomas, S. Zschocke und B. Kämpfer publiziert in Phys. Rev. Lett. 95 (2005), 232301.

haben, da die bekannten Massen von Atomkernen und ihren Bausteinen im Universum nur etwa 5 % des totalen Energieinhalts des Universums ausmachen. Auch Zeemans Entdeckung stellte einen wichtigen Schritt zum Verständnis der atomaren Spektrallinien dar, worauf hin sich die Quantenmechanik als eine moderne und detaillierte Theorie dazu entwickelte.

HADES untersucht die Eigenschaften von Teilchen wie p und weiteren Hadronen in Kernen, wobei diese durch andere, mit bis zu 95 % der Lichtgeschwindigkeit einfallende Kerne angeregt werden. **Abb. 2** zeigt ein wichtiges erstes Ergebnis von HADES: Bei einer Kollision zweier Kohlenstoffkerne wurden die Elektron-Positron-Paare gemessen. Aufgetragen ist die Zahl der Paare, deren Impulse und Energien wie oben beschrieben mit Hilfe der Einsteinschen Formel in eine Masse (hier in Einheiten von MeV/c^2) umgerechnet wurden. Durch die Messpunkte werden viele Größenordnungen der Ordinate überstrichen. Zunächst ist jedoch keine deutlich sichtbare Spektrallinie des ρ -Teilchens erkennbar. Der Grund hierfür ist einerseits die endliche Auflösung des Detektors während der Aufbauphase, als noch nicht alle hoch auflösenden Detektor-komponenten eingebaut waren, und andererseits die Verbreiterung des Signals durch Prozesse der starken Wechselwirkung, die zu den Stoßverbreiterungen in heißen Gasen analog sind. Dazu kommt noch die Überlagerung mit dem Signal des ω -Teilchens. Um physikalische Ergebnisse aus diesen Daten abzuleiten, muss man sie mit speziellen theoretischen Modellen vergleichen, die genauso wie die physikalischen Messdaten behandelt werden. In der Tat arbeiten - motiviert durch die Daten von HADES - mehrere Theoriegruppen in Deutschland, darunter auch im FZR*, an entsprechenden Simulationen. Der Prozess der Interpretation der in **Abb. 2** gezeigten Daten ist derzeit im Gange und wird wohl erst im nächsten Jahr zu definitiveren Aussagen führen können.

Die Herausforderung bei einem Detektor wie HADES ist, das gesuchte Signal aus dem Rauschen heraus zu präparieren. Das ρ -Teilchen, das in einer von Tausend Kollisionen zweier Kohlenstoffkerne bei circa 95 % der Lichtgeschwindigkeit erzeugt wird, zerfällt nur in einem von 20.000 Fällen in ein Elektron-Positron-Paar. Das ist die Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Erschwerend kommt hinzu, dass während der Kollision viele andere, in diesem Zusammenhang nicht so interessante Teilchen entstehen, die im Detektor Signale generieren, die denen der gesuchten Elektronen und Positronen sehr ähnlich sehen. Man benötigt ein spezielles Kriterium, um eine Kollision nur dann aufzuzeichnen, wenn ein Elektron-Positron-Paar die Kollisionszone verlässt. HADES verwendet hierzu das Cherenkov-Licht, das in einem speziellen Detektor erzeugt wird. Die interessierenden Teilchen durchfliegen ein starkes magnetisches Feld, hervorgerufen von einem supraleitenden Magneten. Vor und hinter dem

Abb. 3: Tests einer Vieldrahtkammer im Detektorlabor des FZR-Instituts für Kern- und Hadronenphysik. Im Inneren der Kammer sind auf 13 Ebenen etwa 7000 Drähte mit einer Positionsgenauigkeit von $\pm 20 \mu\text{m}$ angeordnet, die die Flugbahnen geladener Teilchen mit einer absoluten Präzision von $\pm 100 \mu\text{m}$ zu registrieren gestatten. Das Auslesen der elektrischen Signale erfolgt durch TDC-Chips. Die Kammer ist mit einer Helium-Isobutan-Gasmischung gefüllt, und an die einzelnen Drahtebenen sind Spannungen bis zu 2000 V angelegt. Insgesamt wurden sechs solcher Kammern im FZR gebaut.



Magneten vermessen große, mit Gas gefüllte Detektoren, so genannte Vieldrahtkammern, die Flugbahnen der Teilchen mit hoher Genauigkeit, die schließlich die Energie des e^+e^- -Paares bestimmen.

Im Institut für Kern- und Hadronenphysik des Forschungszentrums Rossendorf wurden die Konstruktion und der Bau von sechs Vieldrahtkammern ausgeführt, die die Ebene direkt hinter dem supraleitenden Magneten bilden. Vielfältige Spezialwerkzeuge und Ausrüstungsgegenstände, z.B. eine Präzisionswickelmaschine, sowie die vorhandene Ingenieurkunst und technische Fertigkeiten auf höchstem Niveau haben eine erfolgreiche Fertigstellung dieser Detektoren möglich gemacht. [Abb. 3](#) zeigt eine komplette Kammer, die für eine Testmessung vorbereitet wird. Der komplette HADES-Detektor (in einer frühen Aufbauphase) ist in [Abb. 4](#) dargestellt.

Abb. 4: Frontansicht des HADES-Detektors am Schwerionensynchrotron an der GSI Darmstadt in der Aufbauphase. Ein Nachwuchswissenschaftler präpariert Teile von HADES für den Einbau der Vieldrahtkammern.



Neue Aufgaben: Entwicklung und Tests von besonderen Detektoren

Zur Bewältigung neuer, komplexerer Messaufgaben muss der HADES-Detektor verbessert werden - das ist geplant und ein normaler Ablauf. Zur präziseren Messung der Flugzeiten von Elektronen und Positronen sollen in Zukunft so genannte Resistive Plate Counters (RPC) eingesetzt werden. Diese modernen Detektoren bestimmen die Flugzeit mit einer Präzision von besser als 100 ps

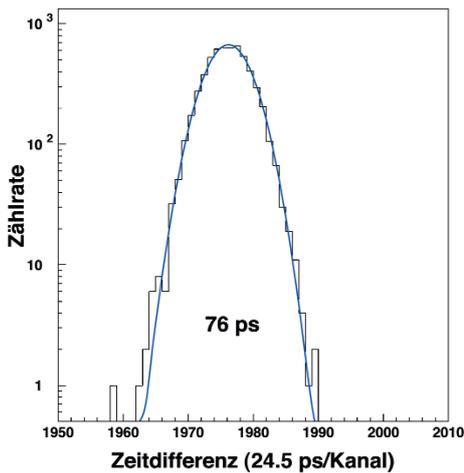


Abb. 5: Die Zeitauflösung eines noch nicht optimierten RPC-Detektors, gemessen an ELBE. Es wurden Elektronen mit einer Energie von 34 MeV an einer 18 μm dicken Aluminium-Folie gestreut und unter einem Winkel von 45° nachgewiesen. Das Signal ist relativ zu einer Zeitgebung durch den Hochfrequenz-Takt von ELBE dargestellt. Die Form der Zählraten-Verteilung lässt auf eine Auflösung von 76 ps (σ) schließen.

Perspektive: HADES bei FAIR

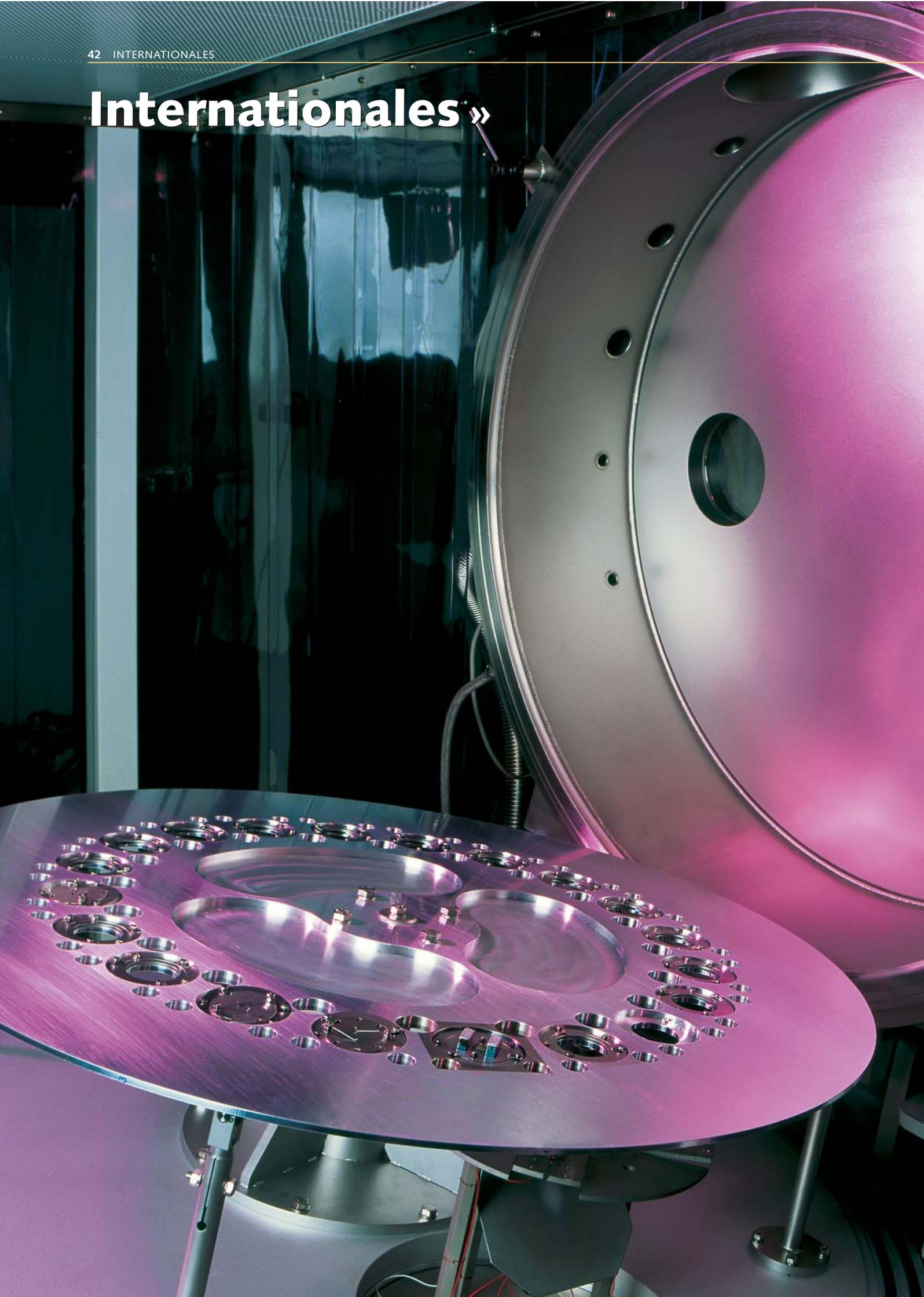
(Picosekunden). Zum Vergleich: Ein Lichtstrahl legt in 100 ps nur etwa 30 mm zurück. Neben den Herausforderungen in der Konstruktion dieser Detektoren muss vor allem ihre Zeitauflösung optimiert werden. Hierzu bietet die Strahlungsquelle ELBE im Forschungszentrum Rossendorf einzigartige Möglichkeiten. Die Zeitdauer eines Elektronenpulses an ELBE beträgt ungefähr 5 ps. Dieser ungemein scharfe Strahl ermöglicht es, die Zeitauflösung der RPC-Detektoren in idealer Weise zu bestimmen, indem der ELBE-Strahl selbst als Zeitreferenz genutzt wird. Ein entsprechender Testaufbau an ELBE ist im Strahlungsphysik-Labor realisiert und erste Tests wurden bereits erfolgreich durchgeführt. Ein Beispiel einer Zeitverteilung relativ zur Hochfrequenz des ELBE-Strahls ist in [Abb. 5](#) gezeigt.

Im Frühjahr 2003 entschied das deutsche Wissenschaftsministerium, gut 600 Mio. Euro in den Bau einer neuen Großforschungsanlage für Antiprotonen- und Ionen-Forschung (FAIR) zu investieren, als Ergänzung der GSI in Darmstadt. Vielfältige faszinierende neue Facetten der starken Wechselwirkung sollen an dieser Anlage erforscht werden. Der HADES-Detektor wird hierbei eine Brückenfunktion zwischen der jetzigen und der zukünftigen Anlage einnehmen. Er ermöglicht die Untersuchung von Elektron-Positron-Paaren in einem bislang unzugänglichen Energiebereich, der von größtem wissenschaftlichem Interesse ist. Er wird in ein neuartiges Detektorsystem integriert werden, das bislang unbeantwortete grundlegende Fragen der Physik der starken Wechselwirkung angehen soll. Dazu gehört u.a. das Verhalten von komprimierter Kernmaterie nahe dem kritischen Punkt im Phasendiagramm der Kernmaterie. Wissenschaftler aus dem Forschungszentrum Rossendorf nehmen an dieser neuen Kollaboration CBM (Compressed Baryon Matter) teil, zusammen mit Forschern aus über 20 Ländern. Die Untersuchungen sind wichtig für das Verständnis der Bildung von Nukleonen und leichter Atomkerne im frühen Universum bis hin zur Dynamik von Neutronensternen und Supernovae, in deren Umgebung die schweren Atomkerne generiert werden.

Ausblick

Die HADES-Kollaboration hat erfolgreich eine erste Serie von Experimenten durchgeführt und Elektron-Positron-Spektren geliefert. Diese Spektren werden derzeit mit verschiedenen Modellen verglichen, um physikalische Schlussfolgerungen ziehen zu können. Weitere Experimente sind in Vorbereitung. So werden die Einsatzmöglichkeiten von HADES am neuen Beschleunigerkomplex FAIR mit Monte-Carlo-Methoden simuliert um sicherzustellen, dass dieses einzigartige, unter beträchtlicher Beteiligung des Instituts für Kern- und Hadronenphysik des FZR mitgebaute und betriebene Detektorsystem auch nach der Inbetriebnahme dieser neuen Beschleunigeranlage zur Untersuchung baryonischer Materie optimal eingesetzt werden kann.

Internationales »



Internationales

Workshops und Konferenzen | Stipendiaten

Internationaler Workshop zu Mehrphasenströmungen | Horst-Michael Prasser

Vom 1. bis 3. März 2005 fand im FZR die dritte Tagung der Serie „Joint FZR & ANSYS Multiphase Flow Workshop“ statt, eine gemeinsame Veranstaltung von ANSYS Germany und dem Forschungszentrum Rossendorf. ANSYS Germany steht weltweit an vorderster Position als CFD-Codeentwickler, speziell was die Modellierung von Zwei- und Mehrphasenströmungen angeht (CFD - Computational Fluid Dynamics). ANSYS Germany ist wichtigster Partner bei den im FZR auf diesem Gebiet laufenden Arbeiten, die sich in den Rahmen des CFD-Forschungsverbundes unter Leitung durch die Gesellschaft für Reaktorsicherheit einordnen. Der Workshop hatte 72 Teilnehmer aus 8 Ländern, es wurden insgesamt 29 Beiträge vorgestellt. Drei Experten von internationaler Geltung konnten für Hauptvorträge gewonnen werden: Prof. Mamoru Ishii, Prof. Lopez de Bertodano, beide von der Purdue University/USA, sowie Prof. Martin Sommerfeld von der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg.

Die Veranstaltung war mit einem eintägigen CFD-Kurs gekoppelt, den Mitarbeiter des FZR mitgestalteten und der die Teilnehmer in die Nutzung von CFX, dem CFD-Code von ANSYS, einführte. Am Rande des Vortragsprogramms hatten die Teilnehmer die Gelegenheit, die thermofluidynamischen Versuchsanlagen des Instituts für Sicherheitsforschung, TOPFLOW und ROCOM, zu besichtigen. Der nächste Workshop wird vom 26. bis 29. Juni 2006 wiederum in Rossendorf stattfinden. Das große Interesse von ANSYS an der Fortsetzung der gemeinsamen Veranstaltungsserie ist ein Beleg für die Anwendungsnähe der thermofluidynamischen Arbeiten im Institut für Sicherheitsforschung.



International Topical Workshop on Heteroepitaxy of 3C-SiC on Silicon and its Application to Sensor Device | Wolfgang Skorupa

Vom 26. April bis zum 1. Mai 2005 fand in Krippen unweit von Dresden in der Sächsischen Schweiz der „International Topical Workshop on Heteroepitaxy of 3C-SiC on Silicon and its Application to Sensor Device“ im Rahmen eines großen EU-Projektes statt. Der Koordinator des mit gut 2 Millionen Euro von der Europäischen Union geförderten FLASiC-Projektes, Herr Dr. Wolfgang Skorupa, ist Leiter der Abteilung „Halbleitermaterialien“ im Rossendorfer Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung. Anliegen der Tagung war es, ein internationales Forum zur Diskussion der im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnisse bereitzustellen.

Die Wissenschaftler im FLASiC-Projekt (Flash Lamp Supported Deposition of 3C-SiC) beschäftigen sich vornehmlich mit der Abscheidung von Siliziumcarbid-Schichten auf Silizium, was etwa für die Produktion von kostengünstigen Substraten für Sensoren, die bei hohen Temperaturen oder in aggressiven Medien eingesetzt werden sollen, interessant sein könnte. Darüber hinaus diskutierten



die 35 Teilnehmer aus 7 Ländern auch über Anwendungsmöglichkeiten der Zukunft, beispielsweise über die epitaktische Schichtabscheidung von derzeit modernen Halbleitermaterialien Zinkoxid und Galliumnitrid auf Siliziumkarbid-Silizium-Substraten.

2nd SUPRAPHONE Meeting | Holger Stephan

Nach dem großen Erfolg des ersten SUPRAPHONE Meetings (Supramolecular Photonics Network in Europe) in Xanten im Jahr 2004 war Dresden vom 5. bis 7. Mai 2005 Tagungsort des zweiten Treffens, an dem 62 Teilnehmer aus 15 Ländern teilnahmen. Die supramolekulare Chemie schlägt eine Brücke zwischen der klassischen Chemie und der Biologie, indem sie sich als Chemie der schwachen Wechselwirkungen versteht, die maßgeblich für molekulare Erkennungsprozesse und selektive Transportreaktionen in biologischen Systemen verantwortlich ist. Vor allem Nachwuchswissenschaftler der beteiligten Gruppen aus Bologna, Fribourg, Bonn, Amsterdam, Essen, Lissabon und Rossendorf erhalten bei diesem Meeting die Möglichkeit, ihre Forschungsergebnisse vorzustellen und über gemeinsame Projekte zu diskutieren. Das nächste SUPRAPHONE Meeting soll 2006 in Lissabon stattfinden.



International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator Based Sources (WIRMS) | Wolfgang Seidel

Gemeinsam mit den beiden deutschen Beschleunigereinrichtungen BESSY (Berlin) und ANKA (Karlsruhe) veranstaltete das FZR vom 26. bis zum 30. Juni 2005 die WIRMS 2005, an der über 100 Wissenschaftler aus 20 Ländern teilnahmen. Sie stellten neueste Experimente und Ergebnisse auf dem Gebiet der Infrarot-Mikroskopie und -Spektroskopie unter Verwendung von Teilchenbeschleunigern zur Erzeugung intensiver Infrarot-Strahlung vor. Die Experimente an den unterschiedlichsten Infrarot-Beamlines der weltweit betriebenen Synchrotrons betrafen die Gebiete Biologie, Biochemie, Festkörper- und Molekülphysik sowie die Oberflächenanalytik. Das Konferenzprogramm sah u. a. die Besichtigung der Strahlungsquelle ELBE im FZR vor, wobei sich die Teilnehmer von den vorzüglichen Experimentiermöglichkeiten an ELBE beeindruckt zeigten.



Internationale MHD-Konferenz in Riga / 2nd Sino-German Workshop on Electromagnetic Processing of Materials | Gunter Gerbeth

Vom 27. Juni bis 1. Juli 2005 fand in Riga die „Joint 15th Riga and 6th PAMIR International Conference on Fundamental and Applied MHD“ statt. Die Rossendorfer Abteilung Magnetohydrodynamik (MHD) des Instituts für Sicherheitsforschung war Co-Organisator dieser ein breites Publikum ansprechenden Konferenz. Sie führte erstmals die traditionsreiche Rigaer MHD-Konferenz mit der bisher stets in Frankreich organisierten, alle drei Jahre durchgeführten PAMIR-Konferenz zusammen. Etwa 250 Teilnehmer nutzten die Gelegenheit, ihre Arbeiten vorzustellen und Diskussionen mit Fachkollegen zu führen.



Stipendiaten und Preisträger der Alexander von Humboldt- Stiftung



Prof. Noboru Miura

Nachdem der erste deutsch-chinesische MHD-Workshop 2004 in Schanghai stattgefunden hatte, schlüpfte vom 16. bis zum 19. Oktober 2005 das FZR-Institut für Sicherheitsforschung in die Rolle des Gastgebers des „2nd Sino-German Workshop on Electromagnetic Processing of Materials“. Die chinesische Delegation bestand aus 18 Wissenschaftlern, insgesamt nahmen etwa 60 Wissenschaftler teil. Die intensive Diskussion über angewandte Themen der Magneto hydrodynamik mündete in den Vorschlag, einen gemeinsamen Paketantrag auszuarbeiten, der im Frühjahr 2006 parallel bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der National Natural Science Foundation of China (NSFC) eingereicht werden soll.

Prof. Dr. Noboru Miura

Die Alexander von Humboldt-Stiftung verleiht jährlich bis zu 100 Humboldt-Forschungspreise an international anerkannte Wissenschaftler. Einen dieser begehrten Preise gewann der japanische Physiker Prof. Dr. Noboru Miura, einer der weltweit führenden Experten auf dem Gebiet sehr starker Magnetfelder und langjähriger Direktor des renommierten Mega Gauss Laboratory der Universität Tokio. Prof. Miura setzte das Preisgeld in Höhe von 60.000 Euro in einen sechsmonatigen Forschungsaufenthalt in Dresden im Jahr 2005 um. Er wählte dafür gleich zwei gastgebende Institute aus: das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden sowie das Forschungszentrum Rossendorf. Während er im IFW das Hochfeldlabor für Experimente nutzte, interessierte er sich im FZR für die Konzeption und den Aufbau des Hochfeld-Magnetlabors. Die folgenden Absätze geben seine persönliche Einschätzung des Dresden-Aufenthaltes wider.

„I stayed at Dresden as an Alexander von Humboldt Fellow for half a year from March to September in 2005. The reason for my choice of Dresden as a visiting site is that at the Forschungszentrum in Rossendorf (FZR), an extremely exciting project of pulsed high magnetic fields using the world largest capacitor bank of 50 MJ is being conducted. The goal of the project is to generate relatively long (10 ms) pulse fields up to 100 T non-destructively as well as even longer (a few seconds) pulse fields up to 60 T. This is a very difficult but challenging project. In the University of Tokyo, I have been working for many years on the physics in very high magnetic fields up to 600 T with a short pulse duration (several microseconds) using destructive methods. The magnetic fields to be generated at Dresden and Tokyo are complimentary with each other, and it would be very useful to employ both of them to quest for new phenomena.

Throughout the 6 months stay, it was very interesting for me to discuss various problems concerning the facilities of FZR with the director Prof. J. Wosnitza and his team. While the construction of the FZR facilities is still on the way, it was fortunate for me to work also at the pulsed high magnetic field facilities of the

Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) in Dresden, which was built as a pilot plant for the large facilities of Rossendorf. The facilities of IFW are amazingly well made and we can make experiments of magnetization and transport fairly easily and accurately. I was impressed by the user-friendliness of the facilities, namely, the elaborate design of the system by which the researchers can use the pulse high magnetic fields up to 50 - 60 T safely and easily. Owing to friendly and supporting helps of the staff and the students, I could obtain extremely interesting results; the magnetization processes and the colossal magneto-resistance of the spin glass states in Perovskite manganites crystals, and the peculiar conduction band structure in GaAsN mixed crystals which showed up in the magneto-tunneling phenomena. The extension of the field range up to a 140 T was also possible for these experiments by using the single-turn coil system in Berlin.

Other than the research, I enjoyed also the life in this beautiful historical city of Dresden very much together with my wife. We enjoyed operas, concerts, museums, castles, histories and many other things. We learned a lot of wonderful things of the German way of life from this stay. Although the period was rather short, the stay here was extremely fruitful. Taking this opportunity, I would like to express my sincere gratitude to my host Prof. H. Eschrig and other people who made our stay so pleasant. If possible, I would like to come back again to continue some of the work which has not been finished at IFW and to employ the facilities at FZR. Vielen Dank und Auf Wiedersehen!" *Prof. Noboru Miura*



Dr. Villas-Boás Tribuzy

Dr. Christiana Villas-Boás Tribuzy

Frau Dr. Villas-Boás Tribuzy erhielt die Förderzusage der Alexander von Humboldt-Stiftung zu einem Zeitpunkt, als sie mit einem brasilianischen Stipendium ihre Forschungstätigkeit im FZR bereits angetreten hatte. Die Alexander von Humboldt-Stiftung verschob daraufhin die im November 2004 zugesagte Förderung durch ein Hildegard Maier-Stipendium auf November 2005. Die brasilianische Forscherin wird so insgesamt zwei Jahre in der Abteilung Halbleiterspektroskopie im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung an der Entwicklung neuer optoelektronischer Materialien arbeiten.



Dr. Jakub Čížek

Dr. Jakub Čížek

Die Alexander von Humboldt-Stiftung sagte zudem am 10. Juni 2005 die Förderung einer Institutspartnerschaft zwischen dem Lehrstuhl für Tieftemperaturphysik der Karls-Universität Prag, dem Institut für Materialphysik der Universität Göttingen sowie dem Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung des FZR zu. Die für den Zeitraum von zwei Jahren bereitgestellten Mittel sollen v.a. für Nachwuchswissenschaftler verwendet werden. Einer der Initiatoren der Institutspartnerschaft, der Physiker Dr. Jakub Čížek von der Karls-Universität Prag, verbrachte 2005 einen mehrwöchigen Forschungsaufenthalt im FZR, allerdings gefördert durch Projektmittel des Sächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst.

DRESDEN. STADT DER WISSENSCHAFT 2006



Wir sind dabei!

Ereignisse

Personalia | Auszeichnungen und Preise | Termine

Personalia



Prof. Jörg Steinbach

Neuer Direktor des Instituts für Radiopharmazie

Prof. Dr. Jörg Steinbach ist der „Neue mit Hintergrundwissen“, der seit dem 1. Oktober 2005 dem Institut für Bioorganische und Radiopharmazeutische Chemie als neuer Institutsdirektor vorsteht. Seine wissenschaftliche Laufbahn begann er an der Technischen Universität Dresden, wo er ein Chemiestudium und die Promotion auf dem Gebiet der organischen Phosphorchemie absolvierte. Anschließend wechselte er an das damalige Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf und wurde dort 1982 mit dem Aufbau der radiochemischen Grundlagen für die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) betraut. Maßgeblich beteiligt war er nach der Gründung des FZR zum 1. Januar 1992 beim Aufbau des ersten PET-Zentrums der Neuen Bundesländer.

2001 wurde Herr Prof. Steinbach zum Institutsdirektor an das Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung (IIF) in Leipzig berufen, das er 2005 erfolgreich in die Vor-Evaluierung führte. Die beiden Forschungsgebiete des IIF, die „Georadiochemie“ und die „Radiopharmazie“, möchte er im Nebenamt in eine gesicherte Zukunft begleiten.

Nach seinem Amtsantritt in Rossendorf leitete Herr Prof. Steinbach eine Umstrukturierung des Instituts ein, die bereits zum 1. Januar 2006 im ebenfalls zu diesem Datum in Institut für Radiopharmazie umbenannten Institut vollzogen wurde. Drei Abteilungen bilden nun die Säulen des Instituts: die „Radiopharmazeutische Chemie“, die „Radiopharmazeutische Biologie“ und die bewährte „Positronen-Emissions-Tomographie (PET).“ Prof. Steinbach verfolgt mit dieser Umstrukturierung das Ziel, die Forschung auf gemeinsame Arbeiten zur radiopharmazeutischen Tumor- und Stoffwechselforschung zu fokussieren. Einen wesentlichen Teil der Institutsarbeit bildet die medizinische Forschung im PET-Zentrum, das gemeinsam mit dem Dresdner Universitätsklinikum betrieben wird.

Herr Prof. Steinbach ist Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V. und in dieser Gesellschaft zudem Mitglied des Komitees der Arbeitsgemeinschaft Radiochemie/Radiopharmazie. Zudem fungiert er als ständiger Gast im Vorstand der Fachgruppe Nuklearchemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker und als Experte bei Missionen im Rahmen der Internationalen Atomenergie-Kommission. Auf deutscher Ebene wiederum arbeitet er als aktives Mitglied im Ausschuss „Radioökologie“ bei der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit mit.



Prof. Horst-Michael Prasser (re.), Dr. Matthias Beyer

Professur an der ETH Zürich

Herrn Prof. Dr. Horst-Michael Prasser wurde im Berichtszeitraum der Ruf auf eine Professur an der renommierten Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich erteilt. Er wurde zum ordentlichen Professor für Kernenergiesysteme ernannt. Prof. Prasser verlässt seine Abteilung „Experimentelle Thermofluidodynamik“ im Institut für Sicherheitsforschung des Forschungszentrums Ende März 2006.



Prof. Wolfgang Enghardt

Professur an der TU Dresden

Herr Prof. Dr. Wolfgang Enghardt wechselte zum 1. November 2005 an die TU Dresden, genauer: in das kürzlich eröffnete Zentrum für Innovationskompetenz für medizinische Strahlenforschung „OncoRay“. Dort trat er die Professur „Medizinische Strahlungsphysik“ an. Im Forschungszentrum leitete er die Abteilung „Strahlungsphysik“ im Institut für Kern- und Hadronenforschung und war maßgeblich an der Kooperation mit der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt sowie dem Deutschen Krebsforschungszentrum (DKfZ) in Heidelberg im Deutschen Schwerionentherapie-Projekt beteiligt.



Prof. Frank-Peter Weiß

Präsidium des Deutschen Atomforums

Prof. Dr. Frank-Peter Weiß wurde im Berichtszeitraum in das Präsidium des Deutschen Atomforums (DATF) gewählt. Das DATF fördert die technisch-wissenschaftliche Entwicklung auf dem Gebiet der Kernenergie. Es informiert die Öffentlichkeit über Möglichkeiten, Nutzen und Risiken dieser Technologie, etwa durch Symposien, Tagungen oder Fachpublikationen. Prof. Weiß vertritt im DATF die Interessen der Forschung auf dem Kerntechniksektor, insbesondere die Interessen des Kompetenzzentrums Ost für Kerntechnik, in dem das Institut für Sicherheitsforschung Mitglied ist.

Habilitationen

Drei Habilitationsverfahren konnten im Jahr 2005 im Forschungszentrum abgeschlossen werden.

Institut für Sicherheitsforschung

PD Dr. Uwe Hampel, „Quantitative und bildgebende Nahinfrarot-Gewebediagnostik“, Berufungsgebiet: Biomedizinische Technik, TU Dresden

Institut für Radiochemie

PD Dr. Andreas Scheinost, „Mechanisms and kinetics of metal sequestration by microcrystalline soil minerals“, Berufungsgebiet: Erdwissenschaften, Université Joseph Fourier Grenoble/France

Institut für Kern- und Hadronenphysik

Prof. Dr. Wolfgang Enghardt, „Positronen-Emissions-Tomographie für die Qualitätssicherung der Ionenstrahl-Therapie von Tumoren“, Berufungsgebiet: Medizinische Strahlungsphysik, TU Dresden

Auszeichnungen



Prof. Gert Bernhard (li.), Dr. Gerhard Geipel



Dr. Samer Amayri

Kurt-Schwabe-Preis der Sächsischen Akademie der Wissenschaften

Der Kurt-Schwabe-Preis wurde von der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig im Jahr 2005 anlässlich des 100. Geburtstags von Kurt Schwabe ausgeschrieben. Er wird für hervorragende naturwissenschaftliche oder technikkwissenschaftliche Leistungen und hohe persönliche Verdienste um die Erhaltung der Natur und ihrer Ressourcen vergeben. Bewertet werden vor allem wissenschaftliche Originalität und reale Nutzungsmöglichkeit.

Der Kurt-Schwabe-Preis 2005 ging an Herrn Prof. Gert Bernhard, Leiter des Rossendorfer Instituts für Radiochemie, Herrn Dr. Gerhard Geipel, Abteilungsleiter Aquachemie im genannten Institut, sowie Herrn Dr. Samer Amayri, der jetzt als Postdoc an der Universität Mainz arbeitet. Ausgezeichnet wurde ihr Beitrag zur Speziation des Urans in carbonatischen aquatischen Systemen. Sie konnten die bisher unbekannte chemische Form des Urans $CA_2UO_2(CO_3)_3$ erstmals spektroskopisch in Sickerwässern von Uranabfallhalden nachweisen.

Der Kurt-Schwabe-Preis ist mit 5.000 Euro dotiert. Die Preisverleihung fand am 11. November 2005 in Leipzig statt.

Christoph-Schmelzer-Preis

Frau Dr. Katia Parodi erhielt am 7. November 2005 den Christoph-Schmelzer-Preis vom Verein zur Förderung der Tumorthherapie mit schweren Ionen e.V. an der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) Darmstadt. Dieser Verein verfolgt u.a. das Ziel, wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern, der sich auf dem Gebiet der Therapie mit schweren Ionen in besonderer Weise engagiert.

Ausgezeichnet wurde Frau Dr. Parodi für ihre Promotion mit dem Titel „On the feasibility of dose quantification with in-beam PET data in radiotherapy with C-12 and proton beams“, die unter der Betreuung von Prof. Wolfgang Enghardt am Institut für Kern- und Hadronenphysik entstanden ist. Sie arbeitet mittlerweile am Massachusetts General Hospital der Harvard Universität in Boston, USA.



Dr. Katia Parodi



Stefanie Juran

Bester Kurzvortrag

Frau Stefanie Juran, Doktorandin am Institut für Radiopharmazie, gewann den Preis für den besten Kurzvortrag auf der 13. Arbeitstagung der Arbeitsgruppe Radiochemie / Radiopharmazie in Seefeld / Tirol. Der mit 500 Euro dotierte Preis wurde ihr am 8. Oktober 2005 vom Vorsitzenden der Arbeitsgruppe, Herrn Prof. Michael Eisenhut vom Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg, überreicht.



Jiří Křepel



FZR-Preise 2005



Dr. Eik Schiller, Dr. Anna Lehnert, Dr. Torsten Müller (v.l.n.r.)

Wettbewerb für junge Autoren

Herr Jiří Křepel, Doktorand im FZR-Institut für Sicherheitsforschung, gewann im Rahmen der Konferenz „Nuclear Energy for New Europe 2005“ in Bled/ Slowenien den „Contest of Young Authors“. Herr Křepel stellte während der Konferenz (5. bis 8. September 2005) sein Paper „Simulation of Molten Salt Reactor Dynamics“ im Wettbewerb mit 15 jungen Autoren aus sechs Ländern vor. Der Preis war mit etwa 300 Euro dotiert.

Dresden - Stadt der Wissenschaft 2006

Am 15. März 2005 gewann Dresden den Titel „Stadt der Wissenschaft 2006“, der vom Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft zum zweiten Mal ausgelobt worden war. Das Forschungszentrum Rossendorf ist Mitglied des Netzwerks, das sich für die erfolgreiche Bewerbung eingesetzt hatte. Es besteht mittlerweile aus mehr als 20 Einrichtungen, u. a. dabei sind drei Hochschulen, drei Leibniz-, drei Max-Planck und neun Fraunhofer-Institute sowie das Netzwerk Silicon Saxony.

Doktorandenpreis

Dr. Eik Schiller - für seine Doktorarbeit „Rhenium(III)-Gemischtligandkomplexe mit tetradentater/monodentater NS_3/P -Koordination (4 + 1): Ein Beitrag zur Entwicklung von Re-188-Radiotherapeutika“

Herr Dr. Schiller erhielt den mit 1.100 Euro dotierten Doktorandenpreis 2005 für seine Entwicklung von Rhenium-188-Radiotherapeutika. Radioaktive Arzneimittel können in der Tumorthherapie in bestimmten Fällen zur Therapie genutzt werden. Hierzu wird ein Trägermolekül eingesetzt, an das ein geeignetes Radionuklid gebunden ist. Das Trägermolekül muss dabei so gewählt werden, dass es sich im Körper gezielt an den Tumor bindet. Das von dem zielsuchenden Molekül transportierte Radionuklid setzt im Tumor eine vorher errechnete Strahlendosis frei und führt so zum Absterben von Tumorzellen.

Rhenium-188 eignet sich als Radionuklid für eine zielsuchende Verbindung. Dr. Eik Schiller hat sich mit der Verweildauer von Rhenium-188-Verbindungen in der Leber beschäftigt und konnte diese durch den Einbau einer Carboxylgruppe in die komplexe Molekül-Radionuklid-Verbindung erheblich reduzieren. Er hat seine Doktorarbeit an der TU Dresden im Juni 2005 mit dem Prädikat „magna cum laude“ abgeschlossen.

Frau Dr. Anna Lehnert und Herr Dr. Torsten Müller erhielten zur FZR-Preisverleihung am 12. Dezember 2005 jeweils einen Anerkennungspreis für ihre herausragenden Doktorarbeiten.



Dr. Matthias Voelskow, Thomas Schumann, Wolfgang Anwand, Dr. Wolfgang Skorupa, Dr. Dieter Panknin (v.l.n.r.)



Prof. Dr. Horst-Michael Prasser

Termine



Jens Pietzsch, Ulrich Skorupa, Dr. Eberhard Altstadt, Dr. Jürgen Böhmert, Dr. Hans-Werner Viehrig, Wolf-Dietrich Leonhardt (v.l.n.r.)

Technologiepreis

Wolfgang Anwand, Dr. Dieter Panknin, Thomas Schumann, Dr. Wolfgang Skorupa und Dr. Matthias Voelskow - für ihre Arbeiten zum Thema „Blitzlampen-Temperung im msec-Bereich für modernste Halbleiterprozessierung“.

Ziel dieser gemeinsam mit der nanoparc GmbH und der FHR Anlagenbau GmbH betriebenen Entwicklung ist eine für den Industrieinsatz geeignete Blitzlampen-Anlage, mit der in Bruchteilen einer Sekunde die Oberfläche eines beliebigen Materials auf bis zu 2.000 Grad Celsius erhitzt werden kann. Der Vorteil ist, dass das Material lediglich an der Oberfläche erhitzt und nicht, wie bei üblichen Temper-Verfahren, komplett durchgewärmt wird. Die Möglichkeit der ultrakurzen Wärmebehandlungen erschließt u. a. neue Möglichkeiten für die Nanotechnologie und stößt weltweit auf starkes Interesse.

Forschungspreis

Prof. Dr. Horst-Michael Prasser - für seine Arbeiten zum Thema „Experimentelle Validierung von CFD-Codes“.

Herr Prof. Prasser und sein Team haben mit innovativen experimentellen Methoden den Weg für eine neue Qualität der Simulation von Zweiphasenströmungen geebnet. So hat Prof. Prasser maßgeblichen Anteil an Konzeption und Aufbau der Thermohydraulik-Großversuchsanlage TOPFLOW, wobei die Ergebnisse der hier betriebenen Experimente an Luft-Wasser- oder Dampf-Wasser-Gemischen direkt in Simulationen von Zweiphasenströmungen einfließen. Der enge Kontakt zu einem der großen Entwickler von Computational Fluid Dynamic Codes (CFD-Codes), zur ANSYS Germany GmbH, garantiert die direkte Umsetzung vom Experiment zur Simulation. Die verbesserten Berechnungsverfahren stehen so den Anwendern beispielsweise in der Verfahrensoptimierung und in der Kerntechnik zeitnah zur Verfügung. Der FZR-Forschungspreis ist, wie der FZR-Technologiepreis, mit 1.600 Euro dotiert.

Feierliche Inbetriebnahme des Radionuklidlabors für Werkstoffuntersuchungen

Der Umgang mit radioaktiven Reaktorwerkstoffen im Präparationsraum des Radionuklidlabors für Werkstoffuntersuchungen (RLW) startete am **17. Januar 2005**. Dieses Datum bildete einen hervorragenden Anlass für die feierliche Einweihung des Labors, das der Abteilung Material- und Komponentensicherheit des Instituts für Sicherheitsforschung angehört.

Das Labor verfügt über Versuchseinrichtungen zur mechanischen Bearbeitung und Werkstoffprüfung von Proben aus bestrahlten Reaktorwerkstoffen. Vor der Inbetriebnahme lagen ein entsprechendes Genehmigungsverfahren sowie ein umfangreicher Probetrieb mit unbestrahlten Werkstoffen. Die Sicherheitsexperten des neu komplettierten Radionuklidlabors planen nun u. a. die Mitarbeit

an einem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit koordinierten Projekt zur Untersuchung der Werkstoffe des stillgelegten KKW Stade. Dieses Vorhaben wird eines der größten Projekte zur Sicherung der Restlaufzeit deutscher KKW.



Prof. Wosnitza, Dr. Herrmannsdörfer, Prof. Henkel, Prof. Johannsen (v.l.n.r.)

Parlamentarischer Abend der Leibniz-Gemeinschaft

Am **11. Mai 2005** fand der mittlerweile zur Tradition gehörende Parlamentarische Abend der Leibniz-Gemeinschaft in Berlin statt. Prof. Joachim Wosnitza und Dr. Thomas Herrmannsdörfer nutzten gemeinsam mit dem Vorstand des Forschungszentrums diese Gelegenheit, um die interessierten Gäste über den Stand des Hochfeld-Magnetlabor-Projekts sowie über Forschungsvorhaben in hohen Magnetfeldern zu informieren. Insgesamt zählten die Veranstalter rund 200 Gäste und 20 Bundestagsabgeordnete.

Einweihung des Zentrums für Innovationskompetenz für Medizinische Strahlenforschung in der Onkologie („OncoRay“)

Am **28. Juni 2005** wurde das von FZR gemeinsam mit der Technischen Universität Dresden und dem Universitätsklinikum Carl Gustav Carus initiierte Projekt „OncoRay“ feierlich eingeweiht. „OncoRay“ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zentren für Innovationskompetenz. Exzellenz schaffen - Talente sichern“ gefördert. Die insgesamt 21 Experten des Zentrums verfolgen die Vision, die Heilung von Krebserkrankungen durch eine optimale individualisierte Strahlentherapie zu verbessern, indem die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit von Tumoren berücksichtigt wird und modernste Bestrahlungstechnologie zum Einsatz kommt. Das FZR trägt zum neuen onkologischen Zentrum „OncoRay“ mit Forschungen auf den Gebieten Translationsforschung, Radiopharmazie und In-Beam-PET bei.



Prof. Bernd Johannsen

Teilnahme an der MATERIALICA

Das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung nahm erstmalig mit einem betreuten Exponat an der Materialfachmesse MATERIALICA vom **20. bis 22. September** in München teil. Frau Jarka Potfajova, Doktorandin im Institut, stellte ein Exponat aus der Abteilung Halbleitermaterialien unter dem Dach des Materialforschungsverbands Dresden (MFD) und in Kooperation mit der aus dem FZR ausgegründeten Firma nanoparc GmbH vor.



Jarka Potfajova

Darüber hinaus war das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung auch 2005 wieder mit einem kleinen Stand auf der Hannovermesse der Industrie beteiligt. Der für Industriekontakte im Institut Verantwortliche, Herr Dr. Edgar Richter, konnte durch diesen Messeauftritt wiederum interessante Industrieaufträge akquirieren.



Diskussionen in geselliger Runde

ALUMNI-Treffen

Das Institut für Radiopharmazie veranstaltete sein zweites ALUMNI-Treffen vom **2. bis 4. Dezember 2005** in Gohrlich in der Sächsischen Schweiz. Eingeladen waren Doktoranden des Instituts mit dem Ziel, den Austausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu intensivieren. Vor allem die ehemaligen Doktoranden berichteten in Vorträgen von ihren Arbeitsgebieten: Herr Dr. Jankowski ging auf die individualisierte Medizin ein, die er aus den Besonderheiten des individuellen Stoffwechsels eines jeden Patienten her leitete, Herr Dr. Friebe berichtete zur molekularen Bildgebung in der Onkologie und Herr Dr. Rother sprach zu Geschichte und Stand der Therapie. Anschließend bot das Diskussionsforum „Modernes Heilen“ allen 18 Teilnehmern die Möglichkeit, sich über die Themen patientenbasierte Medizin, molekulare Bildgebung, Genchips und vieles mehr auszutauschen. Laufende Vorhaben und neueste Forschungsergebnisse aus dem Institut für Radiopharmazie stellten schließlich Herr Dr. Bergmann und Herr Heinrich vor.

Organisiert wurde das Treffen von Herrn Dr. Matthias Friebe, der mittlerweile bei der Schering AG in Berlin in der Abteilung „Radiopharmaceuticals Research“ arbeitet.



Masterstudenten bei der Ausbildung
Foto: TU Dresden

Einweihung des neuen Masterstudiengangs im Rahmen von „OncoRay“

Am **21. Dezember 2005** wurden der neue Masterstudiengang „Medical Radiation Sciences - Medizinische Strahlungsphysik“ sowie die Eröffnung des Schulungszentrums im ZIK „OncoRay“ gefeiert. Für die Ausbildung zu Strahlungsphysik- und Medizinphysik-Experten ist der Rossendorfer Physiker Prof. Wolfgang Enghardt verantwortlich, der zum 1. November 2005 den Ruf auf eine Professur an der TU Dresden annahm.

Der Studiengang „Medizinische Strahlungsphysik“ startete am 10. Oktober 2005 mit elf Studierenden. Er umfasst vier Semester und ist durch einen intensiven Praxisteil charakterisiert. Dadurch erlangen die Studierenden die in Deutschland einmalige Chance, während eines Masterstudiums zugleich die behördliche Anerkennung als Medizinphysik-Experten zu erlangen. Der Studiengang reagiert auf den hohen Bedarf an interdisziplinären Experten in Krankenhäusern, aber auch in der Industrie für die Medizingeräte-Entwicklung. Das Forschungszentrum Rossendorf war an der Konzeption der Studieninhalte beteiligt und bietet außerdem Ausbildungsmodule im PET-Zentrum sowie die Betreuung während der Masterarbeit an.

Forschung

für Mensch und Umwelt



Bildung »

Bildung

**Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften und
Tag des offenen Labors | Schüler und Lehrer
Studenten und Doktoranden | Ausbildung im FZR**

Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften

01. Juli 2005

An der dritten Dresdner Langer Nacht der Wissenschaften nahm das FZR nun schon zum zweiten Mal teil, und zwar mit größeren und professionelleren Exponaten, mehr Vorträgen und entsprechend auch mehr Wissenschaftlern als im Vorjahr. Gerade die Wissenschaftler waren begeistert von der Chance, an zentraler Stelle im Hörsaalzentrum der Technischen Universität Dresden über ihre Forschungsarbeiten in Rossendorf zu berichten bzw. diese an spannenden Exponaten zu demonstrieren. Immerhin erreichten sie so in einer einzigen Nacht knapp 5.000 Besucher, darunter viele Schüler und Studenten. Die Großveranstaltung in der Nacht vom 1. auf den 2. Juli wurde von der TU koordiniert und zählte alles in allem weit mehr als 25.000 Besucher, die sich in zwanzig Einrichtungen über die in Dresden betriebene Wissenschaft informierten.



Tag des offenen Labors in Rossendorf

24. September 2005

Der traditionelle Tag der offenen Tür im Forschungszentrum Rossendorf hieß 2005 „Tag des offenen Labors“. Er fand am 24. September bei strahlendem Sonnenschein und mit mehr als 2.400 Besuchern auf dem Standort statt. Die Rückmeldungen der Besucher waren fast einhellig positiv, denn das FZR und der VKTA (Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf) öffneten insgesamt etwa 50 Labore, boten interessante Vorträge und Führungen an, eröffneten eine Einstein-Ausstellung und sorgten nicht zuletzt mit einem bunten Rahmenprogramm sowie mit Essensversorgung und Musik für eine runde Veranstaltung. Zum einhelligen Höhepunkt avancierte das Hochfeld-Magnetlabor Dresden, das zum ersten Mal mit Führungen und Präsentationen über die technologischen Herausforderungen auf dem Weg zu den ehrgeizigen 100 Tesla sowie über Forschungen in hohen Magnetfeldern informierte.

Neben der TU Dresden nutzte 2005 auch die TU Chemnitz den Tag des offenen Labors, um Studienmöglichkeiten in natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fächern vorzustellen. Für Schüler zugeschnitten war zudem das Jugendforum für Technik und Wissenschaft, das von INWENT, dem Ideennetzwerk des sächsischen LJBW, auf dem Rossendorfer Campus veranstaltet wurde. Etwa 100 Schüler und Studenten nahmen daran teil, viele von ihnen mit eigenen Exponaten im Rahmen einer Ausstellung im Hochfeld-Magnetlabor Dresden.



Schüler und Lehrer

Von achtzehn eingereichten Arbeiten für den sachsenweiten Wettbewerb „Schülerpreise für die besten Besonderen Lernleistungen im Fachbereich Physik 2005“ waren zehn preiswürdig. So urteilte das Auswahlkomitee, das aus Physikprofessoren der TU Dresden, TU Chemnitz, TU Bergakademie Freiberg, Universität Leipzig sowie des Forschungszentrums besteht. Die Arbeiten werden von den sächsischen Gymnasien nominiert und bestehen entweder aus der schriftlichen Besonderen Lernleistung oder aus einer vergleichbaren Facharbeit auf dem Gebiet der Physik. Die jugendlichen Preisträger konnten sich über einen Geldpreis (Sponsor: Infineon Technologies) sowie über die kostenlose Teilnahme an der Frühjahrstagung 2006 der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) freuen.



Die zehn Hauptpreise 2005

Bau eines Demonstrationsobjektes zur Darstellung stehender Wellen	» Roman Böttger , Carl-von-Bach-Gymnasium Stollberg
Elektronenspinresonanz-Untersuchungen an Zinkoxidverbindungen	» Alexander Klunker , Wilhelm-Ostwald-Gymnasium Leipzig
Die Hohmann-Ellipse und die Lagrange-Punkte für die Raumfahrt	» Sven Prüfer , Gymnasium Engelsdorf Leipzig
Vom Bohr'schen Atommodell zum wellenmechanischen Schrödinger'schen Wasserstoffatom	» Sebastian Radke , Städtisches Goethe-Gymnasium Bischofswerda
Radialgeschwindigkeitsbestimmung und Überprüfung der Zugehörigkeit dreier Galaxien	» Peter Stein , Sächsisches Landesgymnasium Sankt Afra, Meißen
Bau, Konstruktion und Programmierung eines 3D-Triangulationsscanner	» Matthias Arzt , Gottfried-Leibniz-Gymnasium Chemnitz
Computergestützte Gasströmungssimulation mittels des kinetischen Gasteilchenmodells	» Richard Ciesielski , Sächsisches Landesgymnasium Sankt Afra, Meißen
Automatisierung des Verfahrens zur Messpunktaufnahme bei der Bestimmung der Dickenverteilung dünner Polyethylenfolien	» Mathias Kempe , Gymnasium Franziskanerum Meißen
Der Teslatransformator als Energiespender	» Martin Kopte , Immanuel-Kant-Gymnasium Wilthen
GPS in der Landwirtschaft	» Jeanette Höping, Eva Lindner, Diana Seidel, Tillmann Steiner , Gymnasium Brandis



Dr. Shavkat Akhmadaliev am Tandatron-Beschleuniger

Die Lehrerfortbildung am 11. Februar 2005 stand unter dem Motto „Nanostrukturen“. Das Angebot wurde von 74 Lehrern naturwissenschaftlicher Fächer aus ganz Sachsen angenommen. Neben dieser nur einmal im Jahr angebotenen Fortbildung kommen natürlich während des ganzen Jahres Lehrer- und Schülergruppen in das Forschungszentrum. Im Jahr 2005 gab es allerdings die Einschränkung, dass während der Wochen der Castortransporte durch den Verein für Kernverfahrenstechnik und -analytik der Zutritt für Besuchergruppen nicht möglich war.

Insgesamt wurden im FZR im Jahr 2005 43 Besuchergruppen betreut, die Gesamtzahl an Besuchern lag bei knapp 3.900.

Studenten und Doktoranden



Dr. Stephan Winnerl (vorne li.), Dr. Uwe Konrad (hinten re.)

Die Sommerschule Mikroelektronik wird von den großen Dresdner Mikroelektronik-Firmen und der TU Dresden jährlich im Spätsommer veranstaltet. Die sechste Sommerschule 2005 wurde von 150 ausgewählten Studenten, Absolventen und Doktoranden der Ingenieurwissenschaften besucht. Zum attraktiven Programm in Dresden zählte u. a. der Sponsoren- und Veranstalterabend am 14. September in den Historischen Kasematten, an dem das FZR teilnahm. Das Interesse an der Forschungslandschaft in Dresden war groß und in intensiven Gesprächen konnten Dr. Johannes von Borany, Dr. Stephan Winnerl vom Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung sowie Dr. Uwe Konrad, IT-Leiter des FZR, über die vielfältigen Möglichkeiten von Praktika, Diplom- und Doktorarbeiten informieren.

Ausbildung



Tina Ludwig

Der Erfolg jährte sich in ununterbrochener Folge nun schon zum sechsten Mal: das Forschungszentrum wurde von der Industrie- und Handelskammer Dresden auch 2005 als „hervorragender Ausbildungsbetrieb“ ausgezeichnet. Wiederum schloss eine Auszubildende des FZR die Berufsausbildung im Kammerbezirk Dresden als Berufsbeste mit dem Prädikat „sehr gut“ ab.

Frau Tina Ludwig erhielt hierfür die Sachpreisauszeichnung durch die IHK Dresden für „Ausgezeichnete Leistungen in der Abschlussprüfung“ im Beruf Chemielaborantin und wurde anschließend zudem als Beste Sächsische Jungfacharbeiterin in ihrem Berufsbild prämiert. Kein Wunder also, dass Frau Ludwig zudem den FZR-Titel der „Besten AZUBI 2005“ gewann. Frau Ludwig wechselte nach der Ausbildung aus privaten Gründen nach Leipzig in ein dem FZR nahe stehendes Institut.

Daten und Fakten

Organe und Gremien

Kuratorium

Das Kuratorium bestand am Ende des Berichtszeitraums aus folgenden Mitgliedern:

Staatssekretär Dr. Frank Schmidt (Vorsitzender)	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
RD Dr. Jan Grapentin (Stellvertreter)	Bundesministerium für Bildung und Forschung
MR Dr. Reinhard Zimmermann	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
Prof. Dr. Peter Fulde	Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme
Dr. Frank Gabriel	Forschungszentrum Rossendorf

Vorstand

Der Vorstand des FZR setzt sich wie folgt zusammen:

Prof. Dr. Bernd Johannsen	Wissenschaftlicher Direktor (Sprecher des Vereins)
Dr. Peter Joehnk	Kaufmännischer Direktor

Wissenschaftlicher Beirat

Dem Wissenschaftlichen Beirat gehören folgende Mitglieder an:

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
Dr. Ehrenfried Zschech	Dresden

Beiräte für Großgeräte

Vier Großgeräte des FZR werden von den folgenden Fachbeiräten bei wissenschaftlichen und organisatorischen Fragen beraten:

- ◆ 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.fz-rossendorf.de.

Überblick

Name:	FORSCHUNGSZENTRUM 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 31.12.2005)	
Drittmittelstellen:	83	
Doktoranden:	59	
Grundfinanzierung:	53.852 T€	
Drittmittel:	6.717 T€	

Wissenschaftliche Institute

◆ Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung

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

◆ Institut für Bioanorganische und Radiopharmazeutische Chemie (ab 1.1.2006 Institut für Radiopharmazie)

Direktor: Prof. Dr. Jörg van den Hoff Tel.: + 49 351 260-3170 E-mail: j.van_den_hoff@fz-rossendorf.de
 (kommissarisch bis 30.9.05)
 Direktor: Prof. Dr. Jörg Steinbach Tel.: + 49 351 260-3170 E-mail: j.steinbach@fz-rossendorf.de
 (ab 1.10.05)

◆ Institut für Radiochemie

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

◆ Institut für Sicherheitsforschung

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

◆ Institut für Kern- und Hadronenphysik

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

◆ Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden

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

Zentralabteilungen

◆ Forschungstechnik

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

◆ Strahlungsquelle ELBE

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

◆ Verwaltung

Leiter: Dr. Peter Joehnk Tel.: +49 351 260-3384 E-mail: p.joehnk@fz-rossendorf.de

◆ Technischer Service

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

Patente 2005

Erfindungsmeldungen:	13	
Patentanmeldungen national:	7	Patenterteilungen national: 12
Patentanmeldungen international:	6	Patenterteilungen international: 2



Forschungszentrum Rossendorf

