

Jahresbericht 2004



Forschungszentrum
Rossendorf

IMPRESSUM

FZR - Jahresbericht 2004

Herausgeber: Forschungszentrum Rossendorf
Vorstand

Schriftenreihe: Wissenschaftlich-Technische Berichte
FZR-421
März 2005
ISSN 1437-322X

Konzeption & Redaktion: Dr. Christine Bohnet, FZR

Gestaltung und Layout: Werbeagentur Preußel, Coswig

Fotos: C. Preußel; C. Bohnet; M. Meyer und weitere FZR-Mitarbeiter;
blitzpunkt Werbe- und Verlagsgesellschaft mbH

Druck: Druckerei Thieme, Meißen

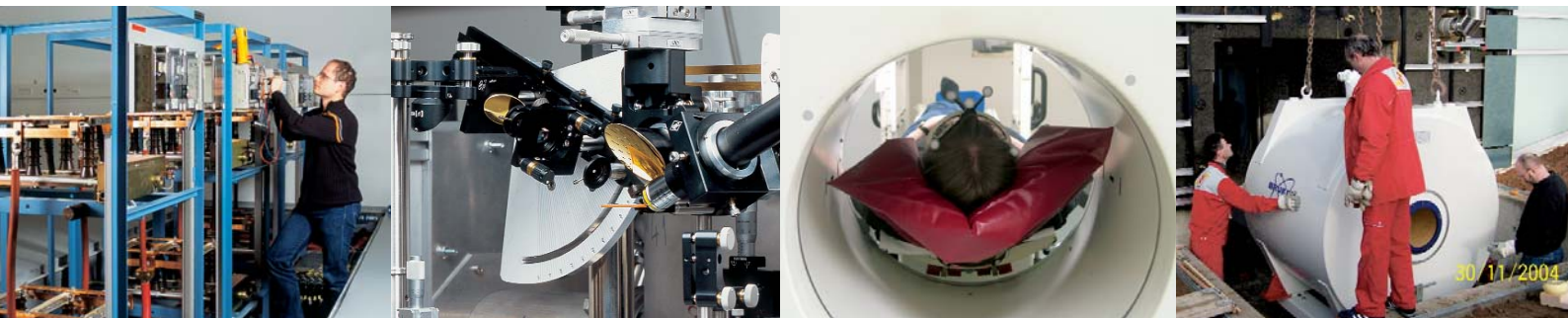
Abrufbar unter: <http://www.fz-rossendorf.de>

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

Zusätzlich zum FZR-Jahresbericht 2004 in Deutsch sind „Annual Reports“ der FZR-Institute sowie Zweijahresberichte der Zentralabteilung Strahlungsquelle ELBE und der Rossendorf Beamline (ROBL) an der ESRF in Grenoble erhältlich.

Titelbild: Aufgeschnittene Testmagnetspule des Instituts Hochfeld-Magnetlabor Dresden

Inhalt



3 Vorwort

4 Profil

Forschungsprogramm | Großgeräte

Forschung

9 Aufbau des Hochfeld-Magnetlabors Dresden

12 Silizium leuchtet, oder: Photonik erobert die Mikroelektronik

16 Weiche Materie in neuem Licht besehen

18 Röntgenstrahlen aus Kristallen

20 PET-Bilder - scharf gemacht

23 Verlässlichere Prognosen zur Schadstoff- ausbreitung mit Hilfe einer mineralspezifischen Sorptionsdatenbank

25 Sichere Kernkraftwerke - Voraussagen für Kernschmelze-Szenarien

28 Materialforschung mit Ionen

33 Röntgen- und Gammatomografie für Strömungsvorgänge

39 Standortentwicklung

Fortschreibung des Masterplanes
Einsparungen von Betriebskosten -
Möglichkeiten und Grenzen

44 EU-Projekte vorgestellt

47 Ereignisse

Personalia | Auszeichnungen
FZR-Preise | Termine

53 Bildung

Ausbildung im FZR | Schüler und Lehrer
Studenten und Doktoranden
Dresdener Lange Nacht der Wissenschaften
Tag der offenen Tür | ESE 2004

58 Daten und Fakten

Organe und Gremien | Überblick

62 Organigramm



Prof. Dr. Bernd Johannsen
Wissenschaftlicher Direktor



Dr. Peter Joehnk
Kaufmännischer Direktor

Vorwort

Werden Jahresberichte heute noch gelesen? Oder blättert man sie nur kurz durch auf der Suche nach bekannten Namen, Gesichtern oder Sensationen? Dies bedenkend haben wir wieder einen Bericht über den Zeitraum eines Jahres und über das gesamte Forschungszentrum mit seinen mittlerweile sechs Instituten und sechs Großgeräten für die naturwissenschaftliche Forschung zusammengestellt. Er kommt bewusst kürzer und farbiger daher als seine Vorgänger.

Jedes unserer Institute hat für die Rubrik „Forschung“ das wissenschaftliche Highlight des vergangenen Jahres ausgewählt und es kurz und populärwissenschaftlich dargestellt (alle Forschungsergebnisse sind in den englischen „Annual Reports“ zu finden, die von jedem Institut jährlich herausgegeben werden). Unter dem neuen Stichwort „Angewandte Materialforschung“ wollen wir Forschungsprojekte vorstellen, die in enger Kooperation mit der Industrie durchgeführt werden. Da alle Institute 2004 sehr erfolgreich Fördermittel im 6. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union einwerben konnten, widmen wir auch diesem Thema einen eigenen Beitrag.

Wenn wir auf das Jahr 2004 zurückblicken, war der weitere Aufbau des Hochfeldlabors Dresden und die Ablösung der entsprechenden Projektgruppe durch ein eigenständiges Institut von besonderer Bedeutung. Wir freuen uns sehr, dass wir Herrn Prof. Joachim Wosnitza als neuen Direktor für das Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden gewinnen konnten.

Am 7. Mai 2004 um 19:39 zündete der Freie-Elektronen-Laser an der Strahlungsquelle ELBE. Mittlerweile arbeitet der Laser äußerst stabil und liefert Lichtblitze

im mittleren infraroten Bereich für Forschungen an Halbleitern und an Biomolekülen. Die Projektgruppe Strahlungsquelle ELBE konnte 2004 aufgelöst werden, denn der Aufbau der ELBE-Labors ist mit Inbetriebnahme des Labors für Channeling-Strahlung („einfarbige“ Röntgenstrahlung) und des Freie-Elektronen-Lasers soweit abgeschlossen, dass der Betrieb und alle weiteren Arbeiten von der Zentralabteilung Strahlungsquelle ELBE übernommen werden können.

Wir haben 2004 die ein Jahr zuvor eingeleitete, ganzheitliche Standortentwicklung fortgeführt. Unser größtes Gebäude erhielt eine neue Außenhaut incl. Wärmedämmung und neue Labors für radiochemische Arbeiten. Zwei Anbauten an vorhandenen Gebäuden beherbergen seit kurzem spannende Geräte: an der Thermohydraulik-Versuchsanlage TOPFLOW soll ein riesiger Druckbehälter bald neuartige Heißstrangversuche ermöglichen und im PET-Zentrum Rossendorf wurde mit der Installation des 7-Tesla-Magnetresonanztomographen für kleine Versuchstiere die Ausstattung des neuen tierexperimentellen Zentrums für molekulare Bildgebung komplettiert. Diese Ausstattung konnte teilweise durch die Teilnahme im Dresdener Projekt „OncoRay“, das 2004 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung bewilligt wurde, finanziert werden. Wir sind überzeugt, dass die onkologischen Forschungen im FZR von dieser Kooperation sehr profitieren werden.

An dieser Stelle bedanken wir uns bei unseren Zuwendungsgebern, Gremien und all unseren Kooperationspartnern für die gute Zusammenarbeit im Jahr 2004 und freuen uns auf die gemeinsamen Aufgaben und Projekte der Zukunft.

Prof. Dr. Bernd Johannsen

Dr. Peter Joehnk

Profil

Forschungsprogramme Großgeräte

Forschungsprogramme

Das Forschungszentrum Rossendorf betreibt anwendungsorientierte und Grundlagen-Forschung mit Photonen- und Teilchenstrahlen, wobei

- ◆ die Erforschung der Materie auf der Skala von Nanometern,
- ◆ der Schutz von Mensch und Umwelt vor technischen Risiken und
- ◆ der Einsatz bei Tumor- und Stoffwechselerkrankungen

den Schwerpunkt bilden. Dazu werden sechs Großgeräte eingesetzt, die europaweit unikale Untersuchungsmöglichkeiten auch für auswärtige Nutzer bieten. Unteretzt wird diese „Mission“ durch die drei Forschungsprogramme Struktur der Materie, Lebenswissenschaften sowie Umwelt und Sicherheit. Diese Forschungsprogramme wiederum gliedern sich in Programmbereiche und Forschungsvorhaben, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Struktur der Materie

Im Forschungszentrum Rossendorf sind zwei europaweit einzigartige Laboratorien für die Strukturforschung angesiedelt: das Ionenstrahlzentrum mit seiner großen Zahl von Anlagen und Geräten zur Behandlung und Analyse von Materialoberflächen sowie die Strahlungsquelle ELBE mit vielfältigen Bestrahlungsmöglichkeiten mit Elektronen, Photonen, Neutronen und Positronen sowie einem Freie-Elektronen-Laser. Ein drittes Labor, das Hochfeld-Magnetlabor Dresden, wird derzeit aufgebaut. Es soll ab 2007 die weltweit höchsten Magnetfelder u.a. für die Strukturforschung erzeugen.

Mit dem Werkzeug des Strahls 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 (ein Nanometer entspricht einem Millionstel Millimeter, ein Femtometer ist nochmals um den Faktor 1 Million kleiner als ein Nanometer).

Die Anwendung von Ionen, geladenen Teilchen, ist vielfältig. Oberflächen erhalten durch sie neue oder verbesserte Funktionen und es können optimale Mikro- und Nanostrukturen in Halbleitermaterialien erzeugt werden. Weitere Anwendungen sind neuartige Lichtemitter oder elektronische Speicher, die in Zukunft die Produkte aus der Mikroelektronikindustrie entscheidend verändern können (siehe den Beitrag „Silizium leuchtet, oder: Photonik erobert die Mikroelektronik“ in der Rubrik Forschung).

Forschungsbereiche

· Forschungsvorhaben

Materialforschung mit Ionen

- Dünne Schichten
- Ionen-Festkörper-Wechselwirkung
- Nanostrukturen

Halbleiterphysik

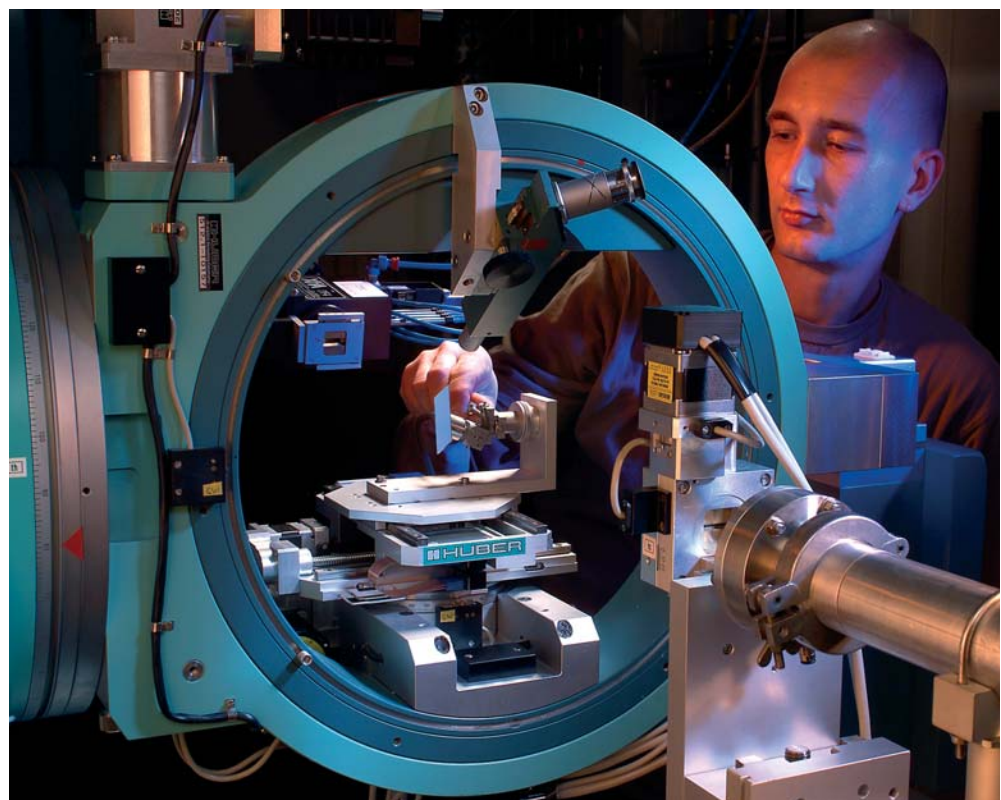
- Materialien für die Optoelektronik
- Dotierung und Defekte in Halbleitermaterialien

Subatomare Physik

- Kernstrukturuntersuchungen
- Nukleare Astrophysik
- Seltene hadronische Prozesse

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. Die ausgefeilten Experimentiermethoden der Kernphysik an den Elektronen- und Ionen-Beschleunigern stimulieren nicht zuletzt die Medizintechnik bei der Entwicklung neuer Diagnose- und Therapieverfahren.

Für die Physik, Chemie und Materialwissenschaften sind moderne Untersuchungsmethoden in hohen Magnetfeldern von grundlegender Bedeutung. Ähnlich wie z. B. Temperatur und Druck hat das Magnetfeld einen tiefgreifenden Einfluss auf den Zustand der Materie. Mit einem breiten Spektrum zeitgemäßer Experimentiertechniken soll ein umfassendes eigenes Forschungsprogramm aufgebaut, aber auch ein attraktives Nutzerlabor für alle daran interessierten Wissenschaftler geschaffen werden (siehe den Beitrag „Aufbau des Hochfeld-Magnetlabors Dresden“ in der Rubrik Forschung).



6-Kreis-Goniometer für Diffraction an der Rossendorf Beamline in Grenoble

Lebenswissenschaften

Forschungsbereiche

· Forschungsvorhaben

Radiopharmazie

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

Biostrukturen und Strahlung

- Strahlungsinduzierte Zellschädigung
- Strukturdynamik von Biomolekülen
- Tomographie u. tumorkonforme Radiotherapie
- Photonen-Aktivierungs-Therapie mit quasi-monochromatischer Röntgenstrahlung

Das FZR betreibt gemeinsam mit dem Dresdener Universitätsklinikum ein PET-Zentrum. Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ist ein modernes bildgebendes Verfahren, das ohne Operation Einblicke in das Körperinnere erlaubt. Da bei der PET Stoffwechselfvorgänge abgebildet werden, ist die Methode für die Diagnose von gewissen Stoffwechsel-, Tumor-, Herz- und Gehirnerkrankungen angezeigt (siehe den Beitrag „PET-Bilder - scharf gemacht“ in der Rubrik Forschung). Dem Patienten wird eine mit einem Radionuklid markierte, biologische Substanz gespritzt, ein so genannter Tracer. Dieser Tracer nimmt auf natürliche Weise an den Stoffwechselprozessen teil, die man abbilden möchte. Das Radionuklid wird mitgetragen und ist über seine Strahlung messbar. Von zunehmender Bedeutung ist die Ausrichtung der PET auf die Arznei- und Lebensmittelforschung. Hier sind Fragen von Interesse wie: Wo genau und wie wirken Arzneimittel oder Lebensmittelinhaltsstoffe im Körper? Wie verteilen sie sich und wie werden sie wieder ausgeschieden? Die Antworten hierauf 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 (siehe den Beitrag „Weiche Materie in neuem Licht besehen“ in der Rubrik Forschung). Zukunftsweisend ist zudem die Entwicklung neuartiger Verfahren für die Krebsdiagnostik und -therapie, wobei die genaue Kontrolle von deren Nebenwirkungen eine besondere Rolle spielt.

Im Berichtszeitraum startete das von FZR, der TU Dresden und dem Universitätsklinikum gemeinsam initiierte Forschungsprojekt OncoRay. Es soll die Heilung von Krebserkrankungen durch eine optimale individualisierte Strahlentherapie verbessern, indem die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit von Tumoren berücksichtigt wird und modernste Bestrahlungstechnologie zum Einsatz kommt. Hierfür wird im FZR ein neues tierexperimentelles Zentrum für molekulare Bildgebung aufgebaut.

Umwelt und Sicherheit

Dieses Forschungsprogramm ist dem Schutz von Mensch und Umwelt vor technischen Risiken gewidmet. Ein Schwerpunkt ist die Bewertung und Minimierung 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.

Der Kernbrennstoffkreislauf ist zudem mit radioökologischen Fragen verbunden: Wie können radioaktive Abfälle sicher entsorgt und wie die Altlasten aus

Forschungsbereiche

Forschungsvorhaben

Anlagen- und Reaktorsicherheit

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

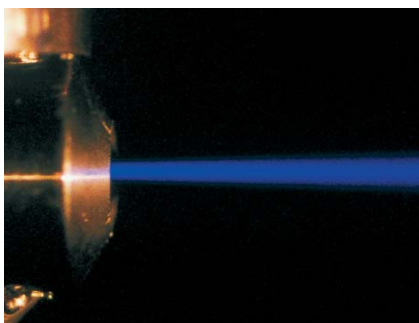
Thermofluidynamik

- 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

Großgeräte



dem Uranerzbergbau saniert werden? Dazu ist es notwendig, die Transportmechanismen der radioaktiven Elemente in unserer Umwelt 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 die Sicherheitsanalyse exothermer chemischer Reaktionen und die Entwicklung umweltfreundlicher Technologien ein. Durch die Anwendung von Magnetfeldern können Prozesse mit elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten in der Kristallzucht, der Metallurgie und der Elektrochemie effizienter gestaltet und die Produktqualität verbessert werden. Ergebnisse aus der Grundlagenforschung, z.B. zur Erklärung des Erdmagnetfeldes, fließen so unmittelbar in die industrielle Anwendung ein.

Die zum Teil unikalen Forschungseinrichtungen, wie z.B. die radiochemische Beamline an ROBL, die Thermohydraulik-Versuchsanlage TOPFLOW und die MHD-Labors machen die ausführenden Arbeitsgruppen zu begehrten Partnern in der nationalen und internationalen Kooperation.

Das Forschungszentrum Rossendorf betreibt derzeit fünf Großgeräte, die auch Kooperationspartnern von Universitäten und Unternehmen der Wirtschaft zur Verfügung stehen. Das sechste Großgerät, das Hochfeldlabor Dresden, befindet sich im Aufbau.

Rossendorf Beamline an der ESRF (ROBL)

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

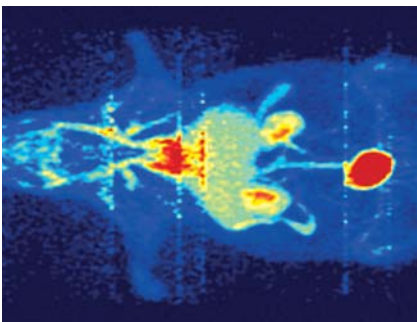
Ionenstrahlzentrum

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 aller Spezies mit Energien zwischen 10 Elektronenvolt und 50 Millionen Elektronenvolt liefern.



Strahlungsquelle ELBE

Der Elektronenstrahl des supraleitenden Elektronenbeschleunigers ELBE (Elektronenbeschleuniger mit hoher Brillanz und geringer Emittanz) wird zur Erzeugung von vielfältiger Sekundärstrahlung eingesetzt. Gamma-, Röntgen- sowie die ferne und mittlere Infrarotstrahlung der Freie-Elektronen-Laser können für einzigartige Forschungen auf den Gebieten Physik, Chemie, Biologie, Medizin und Materialforschung genutzt werden. In naher Zukunft werden Neutronen- und Positronenstrahlung das Forschungsprogramm an ELBE komplettieren.



PET-Zentrum

Das medizinische Forschungs- und Diagnose-Zentrum für Positronen-Emissions-Tomographie (PET) wird gemeinsam mit dem Universitätsklinikum der TU Dresden betrieben. Hier können Stoffwechselvorgänge im Körperinneren mit dem bildgebenden Verfahren PET dargestellt werden. Für tierexperimentelle Arbeiten steht mittlerweile auch ein spezieller Kleintier-Positronen-Emissions-Tomograph mit sehr hoher räumlicher Auflösung zur Verfügung.



TOPFLOW

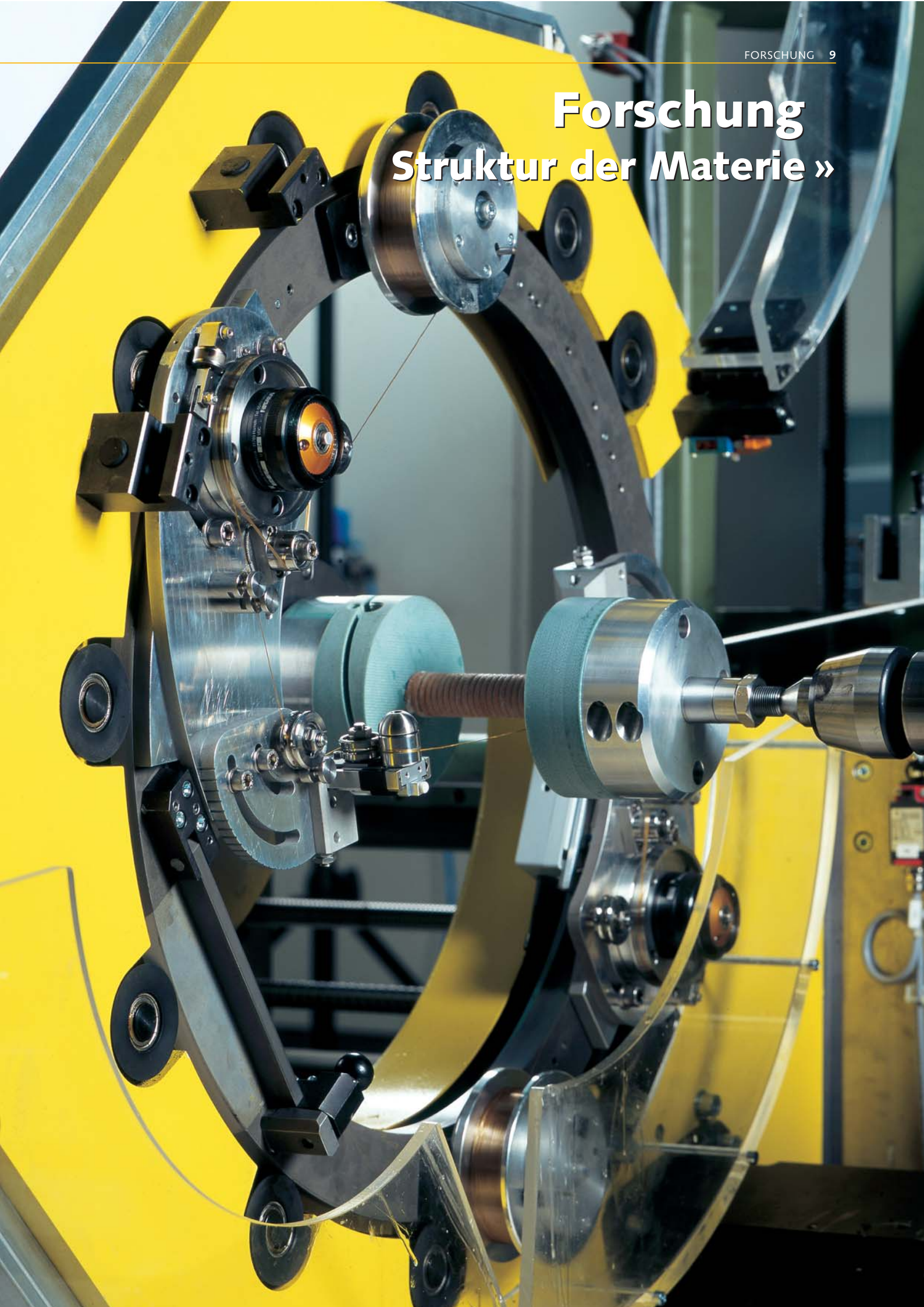
Die Untersuchungen, die mit Wasser-Dampf-Gemischen an der Thermo-hydraulik-Versuchsanlage TOPFLOW (Transient Two Phase Flow Test Facility) durchgeführt werden, eröffnen grundlegende Einblicke in die Natur von Mehrphasenströmungen und dienen auch der Erhöhung der Sicherheit und Effizienz von industriellen Anlagen. Wichtiges Ziel sind hierbei die Entwicklung und Validierung von CFD-Modellen (Computational Fluid Dynamics) für Zweiphasenströmungen.



Hochfeldlabor 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 des supraleitenden Elektronenbeschleunigers ELBE; so kann der Infrarotstrahl vom Freie-Elektronen-Laser der Strahlungsquelle ELBE in das Hochfeldlabor geleitet werden, was ab 2007 weltweit einzigartige Hochfeld-Infrarot-Spektroskopie-Experimente ermöglichen wird.

Forschung Struktur der Materie »



Aufbau des Hochfeld-Magnetlabors Dresden

A. Bianchi, S. Dittrich, T. Herrmannsdörfer, H. Krug, A. Lange, F. Möller, F. Pobell, J. Wosnitza, S. Zherlitsyn, S. Zvyagin

Stand im Jahr 2003 noch der Bericht über die Grundsteinlegung für das Hochfeldlaborgebäude an dieser Stelle, so lässt sich 2004 ein neuer Gründungshöhepunkt hinzufügen. Am 1. Dezember 2004 ist die Projektgruppe Hochfeldlabor zum sechsten FZR-Institut herangewachsen. Dem Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden steht Prof. Joachim Wosnitza als Direktor vor.

Der Aufbau des Hochfeld-Magnetlabors ist mit einer Reihe wichtiger Meilensteine im letzten Jahr weit vorangeschritten. Die wichtigsten technologischen Voraussetzungen sind mittlerweile vorhanden, mit denen das Ziel, ein weltweit konkurrenzfähiges Nutzerlabor für höchste gepulste Magnetfelder zu errichten, immer näher rückt. Neben der Fertigstellung des Werkstatt- und des Laborgebäudes sind vor allem die Inbetriebnahme des von uns konstruierten, gepulsten Energieversorgungsmoduls, der erfolgreiche Beginn der Magnetfeldspulenproduktion und der Beginn des Aufbaus der großen Energieversorgungsanlage zu erwähnen.

Im Jahresverlauf wurde die Werkstatthalle zu einer modernen Entwicklungseinrichtung ausgebaut. Mit der gemeinsam mit dem Kooperationspartner Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) erworbenen Spulwickelmaschine konnten inzwischen einige gepulste Magnetfeldspulen konstruiert werden. Alle Spulen haben insbesondere den Anforderungen der hohen elektrischen Betriebsspannung von bis zu 24 Kilovolt (kV) genügt. Bereits bei diesen Designs wurden mechanische Spitzenbelastungen von bis zu 3.3 Gigapascal (GPa) von den verstärkenden organischen Kunstfasern aufgenommen, die während der Feldpulse anfallen. Diese Werte lagen bereits nahe dem magnetischen Druck, der sich bei einem Magnetfeld von 100 Tesla (T) zu einem Wert von 4 GPa (d.h. dem 40 000-fachen Atmosphärendruck) aufbaut. Mit diesen ersten Spulen konnten in Folge Magnetfeldspitzenwerte von 57,0, 62,0 und zuletzt von 63,6 T erzielt werden (vgl. Abb. 1).

Insbesondere die zuletzt gebaute Spule basiert auf einem neuen Konzept, auf dessen Grundlage nun zukünftige Spulen entwickelt werden sollen. Ihr Innendurchmesser von 24 mm bietet bereits das anvisierte Nutzvolumen für Proben, Messensoren und Kältetechnik. Die mit dieser Spule erreichte Gesamtpulsdauer von 50 Millisekunden ist ein erster Schritt hin zu Langpulsspulen, die zukünftig vor allem für die Untersuchung von metallischen Proben oder für bestimmte Messmethoden benötigt werden. Auch die verwendete Energiemenge von etwa 1.4 Megajoule entspricht bereits dem Wert, der für eine bestimmte

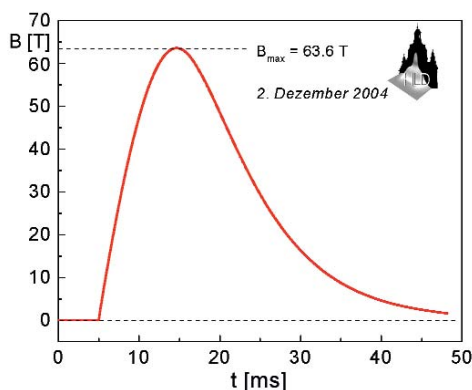


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Magnetfeldstärke in der bisherigen Rekordspule

Klasse von Pulsexperimenten im Hochfeldlabor verwendet werden soll. Diese zuletzt gebaute, gepulste Magnetfeldspule erfüllt insgesamt schon die Anforderungen für den Einsatz im regulären Messbetrieb.

Die bisherigen Tests wurden an einer Pilotanlage mit dem im FZR konstruierten, gepulsten kapazitiven Energieversorgungsmodul mit den maximalen Leistungsparametern 24 Kilovolt, 1.44 Megajoule und 37 Kiloampere sowie mit in Eigenentwicklung entstandenen Steuer-, Mess- und Sicherheitseinrichtungen durchgeführt. Dieses Energieversorgungsmodul ist die Grundlage für die große, modular aufgebaute, gepulste Energieversorgungsanlage (50 MJ, 24 kV, 600 kA). Die aus 21 einzeln ansteuerbaren Energieversorgungsmodulen und insgesamt etwa 500 Pulsentladungskondensatoren bestehende Energieversorgungsanlage wird nach einer vorausgehenden 2-jährigen Planungs- und Erprobungszeit seit September 2004 im Hochfeld-Magnetlaborgebäude installiert. Zusammen mit dem Industriepartner, der Firma Rheinmetall, ist die Anlage so ausgelegt, dass damit ständig fünf Magnetsysteme versorgt werden können. Jedes dieser Magnetsysteme kann dabei aus bis zu vier coaxialen Einzelspulen bestehen. Die Verwendung coaxialer Mehrspulensysteme ist ein entscheidender Designschritt, um extrem hohe Felder im Bereich des ehrgeizigen „magischen Wertes“ 100 T erreichen zu können. Die hohe Energiemenge von 50 MJ ermöglicht schließlich für Magnetfelder bis 60 T auch Pulszeiten im Bereich einer Sekunde. Die Fertigstellung und Inbetriebnahme der derzeit weltweit leistungsfähigsten kapazitiven Energieversorgungsanlage ist für Anfang 2006 geplant.



Abb. 2: Test-Kondensatoren



Abb. 3: Blick in die Kondensatorbankhalle

Silizium leuchtet, oder: Photonik erobert die Mikroelektronik

Wolfgang Skorupa, Thomas Dekorsy, Jiaming Sun, Jaroslava Potfajova,
Bernd Schmidt, Arndt Mücklich, Manfred Helm

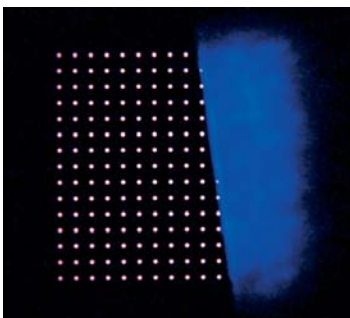


Abb. 1: Weltweit erste UV-Lichtquellen in Siliziumtechnologie. 15 x 15 Lichtquellen (je 30 Mikrometer Durchmesser) senden starkes UV-Licht aus, mit dem ein Stück weißes Papier (re.) zu blauer Fluoreszenz angeregt wird (ähnlich dem Diskothek-Effekt).

Silizium ist ohne jeden Zweifel *das* Schlüsselmaterial der Mikroelektronik. Der Fortschritt der Siliziumtechnologie ist und bleibt atemberaubend; ein Beleg dafür ist die noch immer währende Gültigkeit von Moores Gesetz, dass sich die Anzahl der Transistoren pro Chipfläche alle 18 Monate verdoppelt. Gerade aber dieses Wachstum, beziehungsweise die fortschreitende Miniaturisierung, stößt an die physikalischen Grenzen. Anzahl und Dichte der notwendigen Verbindungen auf einem Chip scheinen ausgereizt, die elektrischen Verbindungen in einem heutigen Prozessor verbrauchen selbst bereits einen großen Teil der elektrischen Energie.

Optische Verbindungen bieten hier zukunftsfähige Lösungen, da Photonen sich im Gegensatz zu Elektronen „durchkreuzen“ können und keine Wärme produzieren. Eine optische *on-chip* oder *inter-chip* Verbindungstechnik müsste auf der gängigen Silizium-Technologie basieren, um die Lichtquellen mit der gleichen fortgeschrittenen und preisgünstigen Prozesstechnologie herstellen zu können, mit der die elektronischen Schaltungen produziert werden. Silizium ist aber ein so genannter indirekter Halbleiter, bei dem ein Photon nur in Verbindung mit einer atomaren Kristallschwingung (Phonon) abgegeben wird - ein wesentlich unwahrscheinlicherer Prozess als die Emission aus einem direkten Halbleiter. Silizium-basierte Lichtemitter könnten in der optischen Übertragungstechnik, aber auch in vielen Bereichen der optischen Sensorik eingesetzt werden. Während für die optische Übertragungstechnik eher Infrarotlicht von Interesse ist, sind für Anwendungen in der Bioanalytik und chemischen Sensorik Wellenlängen im blauen und ultravioletten (UV) Spektralbereich wichtig.

Bis Anfang der 90er Jahre war die Welt der Mikroelektroniker unter den Silizium-Halbleiterphysikern noch in Ordnung. Zumindest hinsichtlich des Glaubens, dass man - im Gegensatz zu den Verbindungshalbleitern wie z.B. Galliumarsenid (GaAs) oder Indiumphosphid (InP) - aus Silizium ungenügende Lichtintensitäten extrahieren kann. 1990 wurde dieses Dogma durch einen englischen Kollegen in Frage gestellt [L.T. Canham, Appl. Phys. Lett. 57, 1046 (1990)]. Es wurde dort zum ersten Mal darüber berichtet, dass man aus porösem Silizium durch Anregung mit ultraviolettem Licht wiederum Licht im sichtbaren Teil des Spektrums erzeugen kann. Das Besondere daran war die Intensität des generierten Lichtes, d.h. es war für das menschliche Auge ohne Hilfsmittel sichtbar.

Worauf beruht die UV-Lichtemission?

Dazu werden Ionen aus der Gruppe der „Seltene Erden“ in dünne Siliziumdioxidschichten implantiert und nach entsprechender Kontaktierung (MOS-Kondensator) elektrisch zum Leuchten angeregt. Die ersten Versuche führten bereits zu einer beachtlichen externen Quantenausbeute von 1%. Die ultraviolett leuchtenden Oxidschichten wiederum befinden sich auf einem Silizium-Wafer, die neue Lichtquelle kann also in herkömmliche Silizium-Chips integriert werden. Die Vorteile liegen auf der Hand: da der Herstellungsprozess auf der Standard-Silizium-Technologie beruht, lässt sich ultraviolettes Licht bald kostengünstig und einfach in einen Chip einbauen.

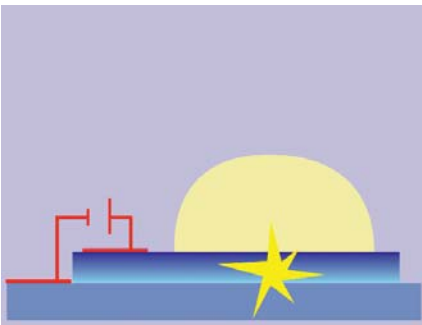


Abb. 2: Konventionelle Silizium-Leuchtdiode

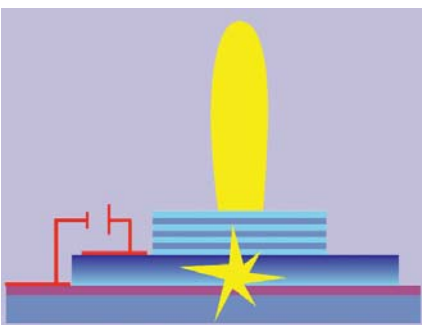


Abb. 3: Neue Silizium-Mikroresonator-Leuchtdiode

Diesem euphorischem Aufbruch folgte nach mehreren Jahren intensiver internationaler Forschung eine gewisse Ernüchterung bezüglich der Stabilität und Effizienz der Lichtemission aus porösem Silizium. Jedoch waren diese Aktivitäten der Startschuss für die Silizium-Photonik. Man sah erstmals die Chance, Licht in Silizium bzw. im Isolatormaterial Siliziumdioxid erzeugen zu können. Langfristig ist das Ziel, optische Verbindungstechniken auf der Basis von Silizium zu realisieren, woran zum Beispiel der Chiphersteller Intel intensiv in seinen Forschungslaboren arbeitet.

Das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung beschäftigt sich seit ca. 10 Jahren erfolgreich mit der Entwicklung und Herstellung von Silizium-basierten Lichtemittern. So konnte bereits 1997, etwa drei Jahre nach Beginn der Arbeiten, der erste mittels MOS (Metall-Oxid-Semiconductor)-Technologie hergestellte Emitter der internationalen Fachwelt vorgestellt werden. (Diese Arbeit wurde inzwischen nahezu 100 mal zitiert.) Dieser Emitter erzeugte durch elektrische Anregung blau-violettes Licht mit einer Wellenlänge im Bereich von 400 Nanometer.

Vor kurzem konnte nun der erste Emitter in Siliziumtechnologie vorgestellt werden, der ultraviolettes Licht mit einer Wellenlänge von 316 Nanometer aussendet und der auf der konsequenten Weiterentwicklung der Technologie des blau-violetten Emitters basiert. Inzwischen werden diese Arbeiten in enger Zusammenarbeit zwischen unserem Institut und einer seiner Ausgründungen, der nanoparc GmbH, durchgeführt. Dadurch ergibt sich ein sehr direkter Draht zu Anwendern und deren Anforderungen.

Die neue Verbindung von elektrischen und optischen Funktionen auf einem einzelnen Silizium-Chip ist derzeit vor allem für die Entwicklung von so genannten *Lab-on-a-Chip*-Systemen interessant. Das sind Minilabore mit schnellen und kostengünstigen Analysemöglichkeiten für die Umwelt- und Biotechnologie. Mit ihrer Hilfe lassen sich kleinste Mengen Flüssigkeit beispielsweise auf Umweltgifte hin analysieren. Die nanoparc GmbH plant, die ultraviolette Lichtquelle in *Lab-on-a-Chip*-Systemen für Vor-Ort-Schnelltests in der Lebensmittel- oder Wasserüberwachung einzusetzen.

Für die optische Datenübertragung sind jedoch größere Wellenlängen im sogenannten nah-infraroten Bereich des Spektrum gefragt (Nah-Infrarot ist der Bereich am roten Ende des sichtbaren Spektrums, in dem die Empfindlichkeit des Auges gerade aufhört). Silizium ist jedoch von Natur aus völlig ungeeignet, um Licht bei diesen Wellenlängen effizient auszusenden. Eine Tatsache, die in den letzten Jahren weltweit zu großen Forschungsaktivitäten führte, um dieses fundamentale Problem zu überwinden.

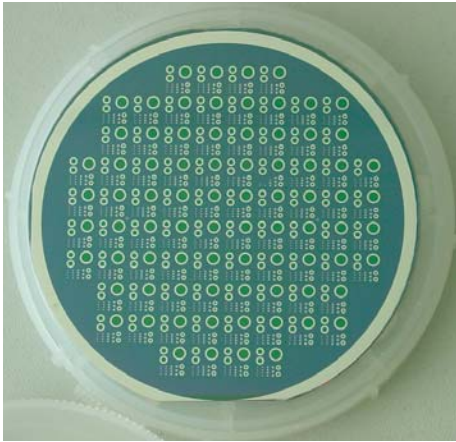


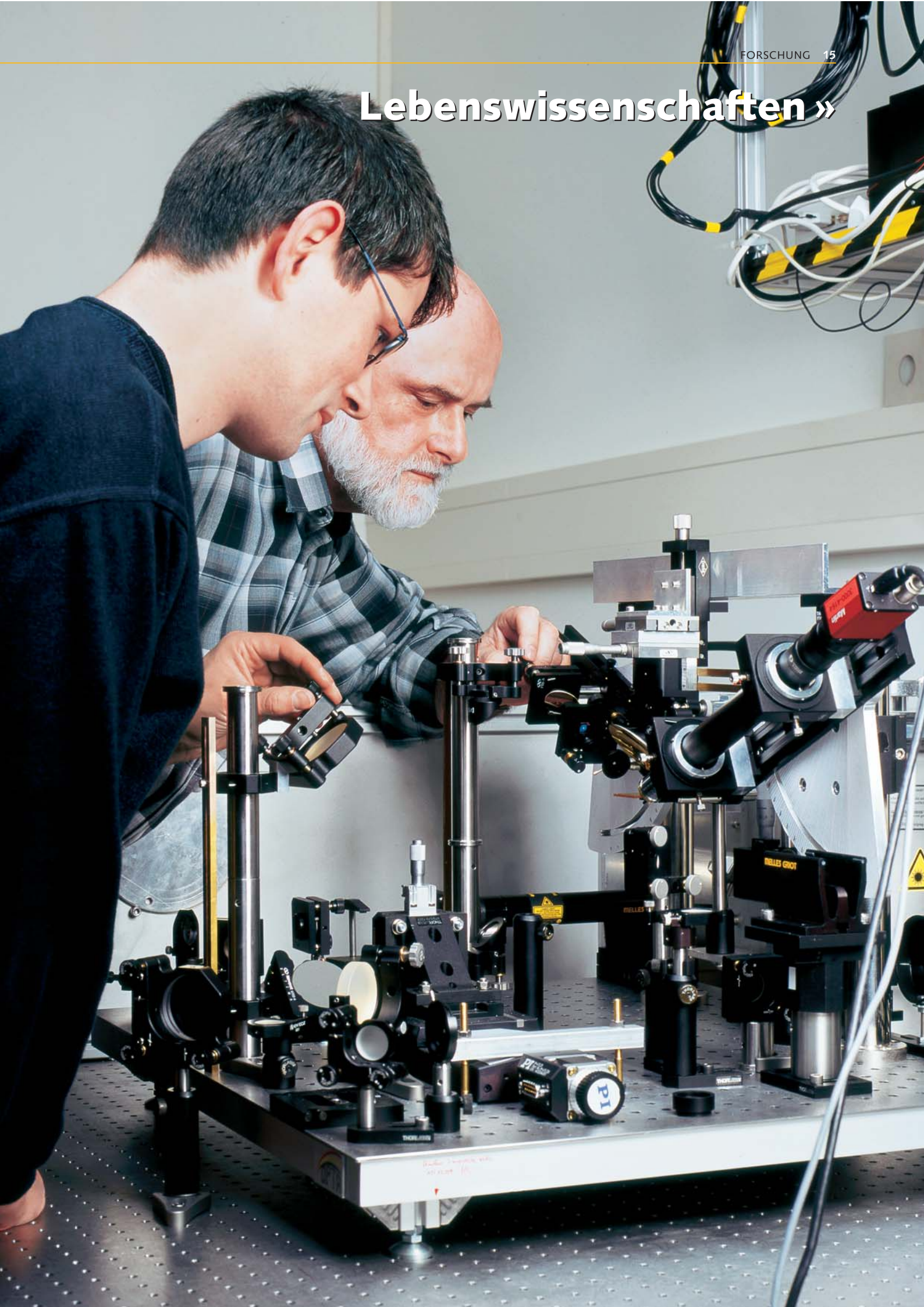
Abb. 4: Silizium-Wafer mit Mikroresonator-Technologie

In den letzten Jahren gelang es im FZR, die Lichtemission von Silizium-Leuchtdioden bei der Wellenlänge von 1100 Nanometer signifikant zu erhöhen. Die Bauelemente basieren auf einfachen Silizium-pn-Dioden, in die hochenergetische Atome (Ionen) hineingeschossen werden (Ionenimplantation). Diese Atome modifizieren das Silizium in der Art und Weise, dass die Lichtemission um einen Faktor 1000 ansteigt. Im Vordergrund der Forschung stand das Interesse, den Mechanismus der erhöhten Lichtemission zu verstehen und mit einem mikroskopischen Modell zu erklären. Es bleibt jedoch ein grundlegendes Problem bestehen: das im Halbleiter erzeugte Licht tritt nur zu wenigen Prozent aus der Leuchtdiode aus, ein großer Rest von über 95% ist gewissermaßen gefangen. Dieser Nachteil konnte durch einen neuartigen Silizium-Mikroresonator überwunden werden, einer Art Minispiegelanordnung von nur einem Millionstel Meter Dicke. Ein solcher Mikroresonator erhöht die Lichtausbeute bei einer gewünschten Wellenlänge und macht sie wesentlich gerichteter (s. Abb. 2 u. 3). Zu diesem Zweck wird die Leuchtdiode auf einer im Silizium vergrabenen, metallischen Schicht (Kobaltdisilid) gefertigt. Diese Schicht dient als unterer Spiegel des Mikroresonators und gleichzeitig als elektrischer Kontakt an die Leuchtdiode. Zur Fertigung dieses vergrabenen Spiegels trug das Forschungszentrum Jülich, Institut für Schichten und Grenzflächen (Prof. Mantl), bei. Den oberen Spiegel des Mikroresonators bildet ein Stapel aus mehreren Siliziumdioxid- und Silizium-Schichten, die mit einer Genauigkeit von wenigen Nanometern im Reinraum des FZR auf die Leuchtdiode mittels Magnetron-Sputtern aufgebracht werden.

Solche Mikroresonator-Konzepte sind seit Anfang der 90er Jahre bekannt. Die Schwierigkeit bestand jedoch darin, dass die Resonatorspiegel üblicherweise aus einem Schichtstapel elektrischer Isolatoren bestehen, was die elektrische Kontaktierung der Licht aussendenden Schicht verhindert. Diese Schwierigkeit wurde mit dem Konzept des vergrabenen Metallspiegels umgangen und gleichzeitig die Kompatibilität zur Silizium-Prozesstechnologie gewahrt. Mit dem nun realisierten Mikroresonator-Konzept kann die Effizienz der Silizium-Leuchtdioden weiter gesteigert werden, wobei die theoretischen Grenzen des Konzepts mit der gegenwärtigen Fertigungstechnologie bei weitem noch nicht erreicht sind. So wird derzeit gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Außenstelle Chemnitz (Dr. Wiemer), an einer verbesserten Technologie zur Herstellung der Dioden basierend auf Waferbonding gearbeitet.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das Paradigma, Silizium könne kein Licht emittieren, der Vergangenheit angehört. Der Fortschritt in verschiedenen Konzepten für Lichtemitter vom Ultravioletten bis ins Infrarot lässt verschiedene Anwendungen in greifbare Nähe rücken.

Lebenswissenschaften »



Weiche Materie in neuem Licht besehen

Karim Fahmy



Abb. 1: Ausschnitt Laseranordnung

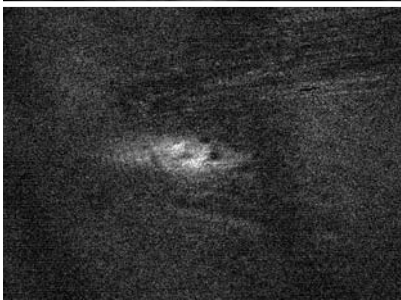
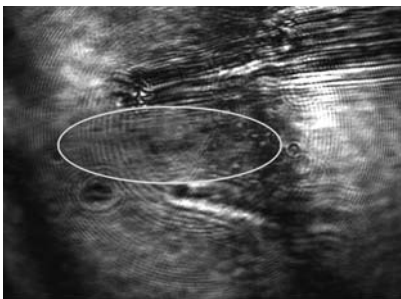


Abb. 2: Die durch Bestrahlung mit Infrarotlicht ausgelösten Veränderungen in einer dünnen DNA-Schicht führen zur Vergrößerung der Lichtreflektion.
Im Einzelbild (oben) sind diese Veränderungen kaum wahrnehmbar. Die Differenz zweier Einzelbilder - eines mit IR-Bestrahlung und eines ohne (unten) - zeigt dagegen die Veränderungen deutlich.

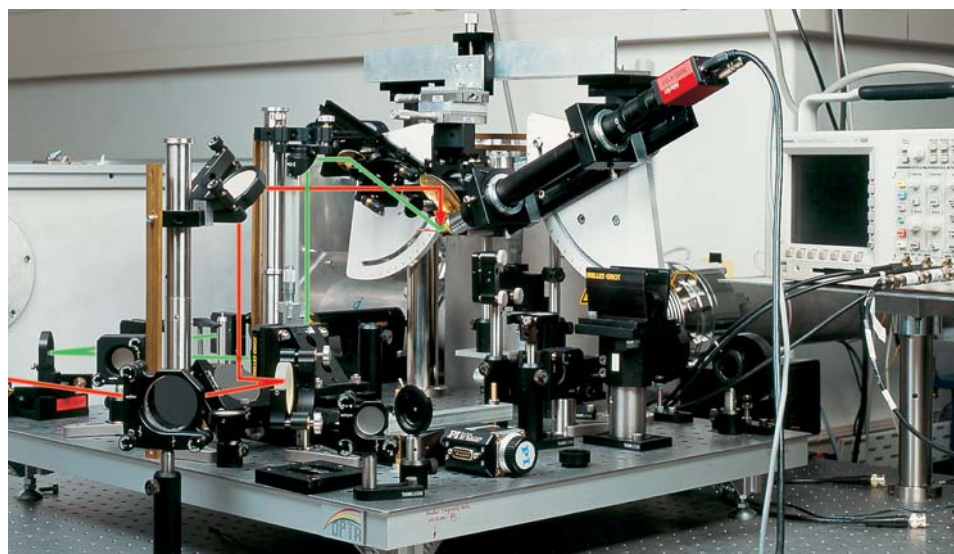
Etwas dem Auge nicht unmittelbar Sichtbares durch physikalische Hilfsmittel wahrnehmbar zu machen, ist eines der wesentlichsten Anliegen der seit der Renaissance auf Experiment und Beobachtung beruhenden Naturwissenschaften. Dabei tritt die Neugier als Quelle neuer Erkenntnisse selten deutlicher hervor als bei der Entwicklung optischer Geräte, die uns als Mikroskope kleinste Dimensionen erschließen und in Form von Teleskopen Blicke in die Tiefe des Weltalls ermöglichen. Diesen Entwicklungen verdanken wir die Einsicht in die Universalität der Zelle als kleinster biologischen Einheit ebenso wie die Grundlage unseres modernen astronomischen Weltbildes. Die ständige Verbesserung solcher bildgebenden Verfahren hat wesentlich zum Verständnis der Natur des Lichtes und seiner Wechselwirkung mit Materie beigetragen. Heute wissen wir, dass das menschliche Auge nur einen Bruchteil des Spektrums elektromagnetischer Wellen als Licht wahrnimmt. Dass wesentliche Information aber auch aus den uns unsichtbaren spektralen Bereichen gewonnen werden kann, ist spätestens mit der medizinischen Anwendung der Röntgenstrahlung unmittelbar nach ihrer Entdeckung klar geworden. Diese Strahlungsart besitzt Energien bis zum Hunderttausendfachen der Energie des sichtbaren Lichts und ist daher auch in der Lage, chemische Veränderungen in der bestrahlten Materie auszulösen, indem sie auf die Atomhülle der getroffenen Elemente wirkt. Wie sieht es aber mit der Strahlung im niederenergetischen Teil des Spektrums aus, der sich an den als Rot wahrgenommenen Energiebereich anschließt? Prinzipiell entscheidet die Energie der Strahlung über die Art, wie die bestrahlte Materie mit dem Licht wechselwirkt. Die niederenergetische infrarote Strahlung kann also über Prozesse geringerer Energie Auskunft geben, wie sie typischerweise mit der Bewegung chemischer Bindungen und kleinerer Molekülgruppen verbunden sind. Diese nicht-destruktive Strahlungsart ist von besonderem Interesse, erscheint sie doch besonders gut geeignet, Moleküle biologischen Ursprungs zerstörungsfrei zu untersuchen.

Die entsprechenden lebenswissenschaftlichen Arbeiten im FZR dienen der gezielten Auslösung von thermischen Schwingungen in Biomolekülen durch extrem kurzzeitige Bestrahlung mit „Infrarotlicht“ (IR) und der zeitlichen Analyse der nachfolgenden Bewegungsvorgänge. Dabei ist das „IR-Licht“ Auslöser und Träger der Information solcher Bewegungsabläufe, nicht aber Träger eines Bildes im mikroskopischen Sinn. Diese zunächst nur spektrale Information mit einer Bildgebung zu verbinden, steht im Mittelpunkt der gegenwärtigen biophysikalischen Arbeiten. Seit Mai 2004 steht dafür im FZR der Freie-Elektronen-Laser an der Strahlungsquelle ELBE zur Verfügung, der Infrarot-Pulse im

Pikosekundenbereich generiert. Dabei beschränkt die geringere Energie, also die größere Wellenlänge, des „IR-Lichtes“ die Bildgebung auf gröbere Strukturen als im Lichtmikroskop darstellbar. Durch geeignete Kombination von IR-Pulsen und optischen Laserpulsen wird dennoch eine Abbildungsart angestrebt, die der Lichtmikroskopie entspricht, deren Kontrast aber durch die im infraroten Spektralbereich erfolgende Energieaufnahme bestimmt ist. Auf diese Weise sollen an mikroskopisch kleinen Biomaterialien Strukturen gemäß ihrer thermischen Beweglichkeit abgebildet werden. Diese Beweglichkeit ist eng mit der Funktion von Biomolekülen verknüpft. So kann ein Eiweißmolekül in verschiedenen räumlichen Anordnungen funktional oder pathogen vorliegen, wie es unter anderem bei den als Prionen bekannten Eiweißen der Fall ist. Der Wechsel der Molekülform fällt besonders auch beim Trägermolekül der Erbinformation, der DNA, auf, die als ausgestreckte Doppelhelix die Ausdehnung der Chromosomen, in denen sie während der Zellteilung zusammengeknäuelte wird, um das Hunderttausendfache überragt. Die dynamischen Eigenschaften dieser extrem kondensierten DNA zu erforschen ist von großem medizinischen Interesse.

Dies sind nur einzelne Beispiele für die molekulare Formenvielfalt „weicher Materie“. Sie abzubilden mit Hilfe jener Lichtqualität, die der natürlichen „Farbe“ dieser Materie entspricht, ist der in der konventionellen Lichtmikroskopie üblichen, künstlichen Anfärbung weit überlegen. Anstelle eines zugesetzten Farbstoffes werden hier die physikalischen und für die biologische Funktion relevanten Eigenschaften des interessierenden Biomoleküls selbst „beleuchtet“. Etwas dem Auge nicht unmittelbar Sichtbares durch physikalische Hilfsmittel wahrnehmbar zu machen, bleibt also auch weiterhin eine spannende Herausforderung und ein Wegbereiter wissenschaftlicher Neugier.

Abb. 3: Die gezeigte Apparatur ermöglicht die Visualisierung von IR-Puls-induzierten Strukturänderungen in DNA. Der IR-Puls eines Freie-Elektronen-Laser (rot) wird auf die Probe gelenkt, deren optische Eigenschaften sich dadurch ändern. Dies wird durch einen zweiten, im sichtbaren Spektralbereich arbeitenden Laser nachgewiesen (grün). Die gepulste Natur des IR-Strahls wird durch die Probeneigenschaften auf die Intensität des reflektierten sichtbaren Strahls übertragen und mit einer Kamera orts aufgelöst nachgewiesen. An den Probenorten, an denen Strukturänderungen durch IR-Pulse induziert wurden, erscheint ein Blinken. Die IR-Pulse erlauben nicht nur die schnelle Induktion von Strukturänderungen, sondern auch die Analyse ihres Zeitverhaltens. Auf diese Weise sollen neue Erkenntnisse über die Eigenschaft hoch kondensierter DNA, wie sie im Chromosom vorliegt, gewonnen werden. In diesem Visualisierungsverfahren werden keine chemischen Veränderungen mit Farbstoffen benötigt.



Röntgenstrahlen aus Kristallen

Wolfgang Wagner, Jörg Pawelke, Wolfgang Enghardt

Erzeugung von Channeling-Strahlung am Beschleuniger ELBE

Ein perfekter Diamantkristall, den der fein gebündelte Elektronenstrahl des ELBE-Beschleunigers in definierter Richtung durchfliegt, wird zu einer Quelle intensiver Röntgenstrahlung. Die im Kristallgitter periodisch in Ebenen und Achsen angeordneten Atome wirken wie mikroskopisch kleine Kanäle (engl. channels), die die Strahlelektronen auf einer oszillierenden Bahn durch den Kristall führen und dabei zur Emission der danach benannten Channeling-Strahlung anregen.

Die medizinische Röntgendiagnostik ist wohl das bekannteste bildgebende Verfahren, das die Eigenschaft der Röntgenstrahlung, dickere Materieschichten durchdringen zu können, schon seit langem gezielt anwendet. In den dazu verwendeten Röntgenröhren werden Elektronen durch eine angelegte Hochspannung beschleunigt und auf eine Metallplatte (Anode) gelenkt. Dabei werden sie abgebremst und emittieren Röntgenstrahlung in Form von kontinuierlicher Bremsstrahlung und charakteristischer (materialspezifischer) Röntgenstrahlung, die nur definierte Energiewerte annehmen kann (Abb. 2).

Die an ELBE erzeugte Channeling-Strahlung hat nun einige wesentliche Vorteile gegenüber der Strahlung aus einer Röntgenröhre. Da ihre Entstehung von der Struktur des Quellkristalls bestimmt wird, weist sie ebenfalls nur definierte Energiewerte auf (Abb. 3). Vergleichbar mit der charakteristischen Röntgenstrahlung ist sie also ebenfalls durch ein Linienspektrum gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu kann die Energie der Channeling-Strahlung jedoch durch Variation der Energie des Elektronenstrahls auf beliebige Werte eingestellt werden. Damit kann quasi die „Farbe“ der Röntgenstrahlung frei gewählt werden, d.h. mit Hilfe der Channeling-Strahlung erhält man eine stetig durchstimmbare, quasimonochromatische Röntgenstrahlungsquelle.

Wegen der im Vergleich zur Röntgenröhre (25 - 400 Kiloelektronenvolt) viel höheren Energie des Elektronenstrahls an ELBE (10 - 40 Megaelektronenvolt) ist die Channeling-Strahlung außerdem in einen extrem schmalen Abstrahlkegel gerichtet. Das führt zu einer Potenzierung der verfügbaren Intensität. Mit einem mittleren Elektronenstrom von nur 100 μA (Mikroampere) lassen sich

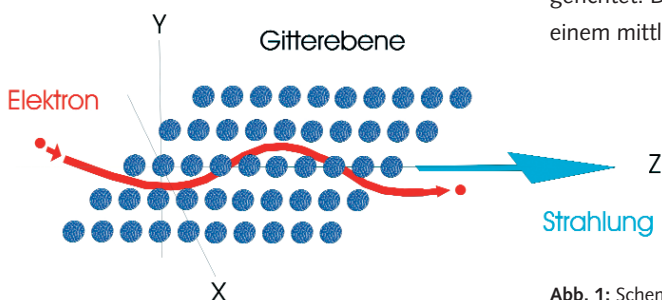


Abb. 1: Schema Channeling-Strahlung

somit mehr als 10^{10} Röntgenstrahlungsphotonen pro Sekunde erzeugen, deren Energie auf 10 % genau bestimmt ist. Die Qualität des von ELBE gelieferten Elektronenstrahls, und hier vor allem dessen extreme Parallelität, d.h. seine geringe Divergenz, mit der er auf den Kristall gerichtet werden kann, bieten die notwendigen Voraussetzungen für die Schaffung einer solchen nichtkonventionellen Röntgenstrahlungsquelle.

Der Vergleich von [Abb. 2](#) und [Abb. 3](#) zeigt, dass Channeling-Strahlung nicht selektiv von der sie begleitenden kontinuierlichen Bremsstrahlung erzeugt werden kann. Für praktische Anwendungen ist es aber in vielen Fällen gerade wichtig, dass die Röntgenstrahlung nur in einem engen Energiebereich auftritt, d.h. nahezu monochromatisch ist. Das bedeutet, dass aus dem in [Abb. 3](#) gezeigten Strahlungsspektrum der interessierende Bereich herausgefiltert und der restliche Teil unterdrückt werden muss. Dazu verwendet man einen Monochromator. In unserem Falle ist das ein großflächiger Graphitkristall, der in Abhängigkeit vom Einfallswinkel nur einen engen Energiebereich der Röntgenstrahlung ausblendet und aus dem Strahlungskegel zur Seite ablenkt (diffragiert). Sind Strahlungsquelle und Monochromator exakt aufeinander abgestimmt, gelingt es, gerade den intensiven Teil einer Channeling-Strahlungslinie auszufiltern und auf das zu untersuchende Objekt zu richten. Das Resultat ist ebenfalls in [Abb. 3](#) dargestellt. Die zur Verfügung stehende Röntgenstrahlung ist nun nahezu monochromatisch.

Eine erste praktische Anwendung einer Channeling-Strahlungsquelle ist in der Abteilung Strahlungsphysik bereits in Vorbereitung. Dabei geht es um die Untersuchung der Schädigung lebender Zellen durch quasimonochromatische Röntgenstrahlung, und hier besonders um die Abhängigkeit von der Röntgenenergie. Die so gewonnenen Daten zum strahlungsinduzierten Zelltod und zu genetischen Veränderungen sind z.B. wichtig für die Strahlentherapie von Tumoren bzw. für die Minimierung des Strahlenrisikos in der Röntgendiagnostik.

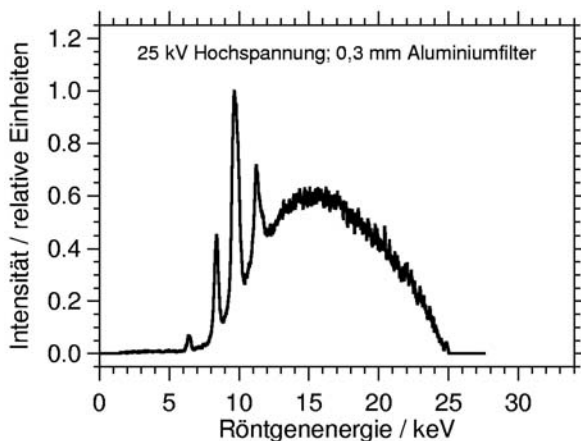


Abb. 2: Energiespektrum einer Röntgenröhre mit Wolframanode

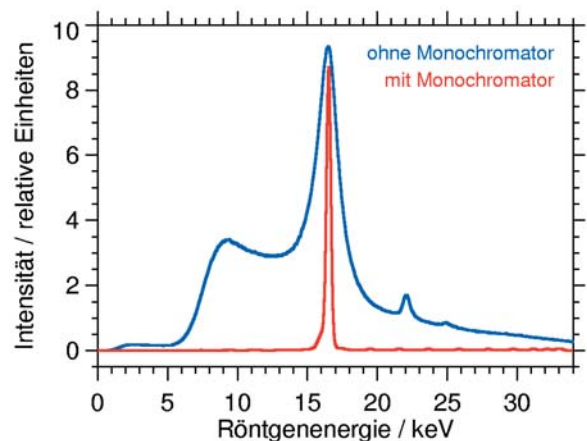


Abb. 3: Energiespektrum der an ELBE in einem 42 µm dicken Diamantkristall erzeugten Channelingstrahlung

PET-Bilder - scharf gemacht

Paul Bühler, Uwe Just, Daniela Möckel, Jens Langner, Jörg van den Hoff

Bildgebende Verfahren in der Medizin erlauben es dem Arzt, auf nicht-invasive Weise in das Innere eines Patienten zu schauen. Sie sind damit ein wichtiges Hilfsmittel in der modernen medizinischen Diagnostik. Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ist ein solches Verfahren. Anders aber als bei der Computer-Tomographie (CT) oder der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) werden bei der PET nicht anatomische Eigenschaften abgebildet, sondern Stoffwechselfvorgänge. Sie kann die regionale Gewebedurchblutung, biochemische Vorgänge oder Stoffwechselprozesse darstellen. Deshalb ist der Einsatz von PET für die Diagnose von gewissen Stoffwechsel- und Tumorerkrankungen, für die Beurteilung der Vitalität des Herzmuskelgewebes und auch für die Untersuchung von Gehirnerkrankungen angezeigt.

Bei der PET wird dem Patienten eine radioaktiv markierte, biologische Substanz gespritzt, ein so genannter Tracer. Der Tracer ist so gewählt, dass er auf natürliche Weise an Stoffwechselprozessen beteiligt wird, die man abbilden will. Dabei wird das Radionuklid im Tracermolekül mitgetragen und ist über seine Strahlung leicht messbar. Die Radionuklide in der PET sind Positronen-Strahler (Positronen-Emitter) mit kurzen Halbwertszeiten. Bei der Vereinigung des emittierten Positrons mit einem Elektron der Umgebung entstehen zwei Gammaquanten, die sich in einem Winkel von nahezu 180 Grad auseinander bewegen. Es sind diese Quantenpaare, die in der PET gemessen werden und damit Aufschluss über die räumliche Verteilung des Tracers im Körper liefern.

Dazu verwendete PET-Kamera enthält mehrere Tausend Einzeldetektoren, mit denen die Gammaquanten gemessen werden. Durch die Messung eines Quantenpaares wird eine Linie (Line of Response, LOR) definiert, auf der das Radionuklid zerfallen ist. Während einer PET-Untersuchung werden eine Vielzahl von solchen Ereignissen registriert und mit einem numerischen Rekonstruktionsverfahren wird aus den Messdaten die räumliche Verteilung des Tracers berechnet (Abb. 1).

Die PET verlangt relativ lange Messzeiten. Je nach Untersuchungsart und Fragestellung dauert eine Messung zwischen mehreren Minuten und über eine Stunde. Die Güte der gewonnenen Bilder hängt nicht zuletzt davon ab, wie wenig sich der Patient während der Untersuchung bewegt. Jede Bewegung während der Messzeit führt zu einer Verschmierung des Bildes und damit zu einem Verlust an diagnostischer Aussagekraft. Durch bequeme Lagerung des Patienten und den Einsatz von Lagerungshilfen kann man zwar Bewegungen vermindern, aber nicht ganz vermeiden. Man denke z.B. an die durch die Atmung bedingte Bewegung des Brustkorbes. Um dennoch scharfe Bilder zu

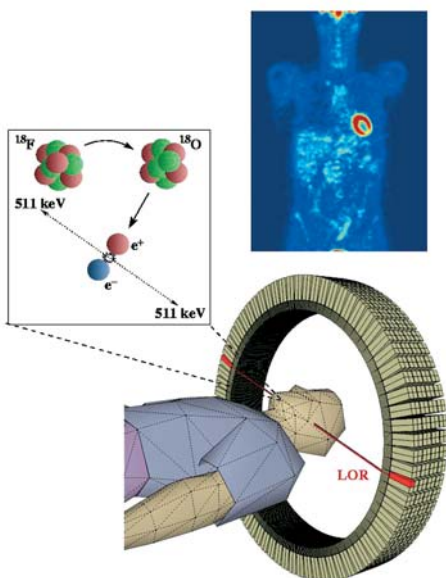


Abb. 1: Darstellung des Prinzips der PET-Messung

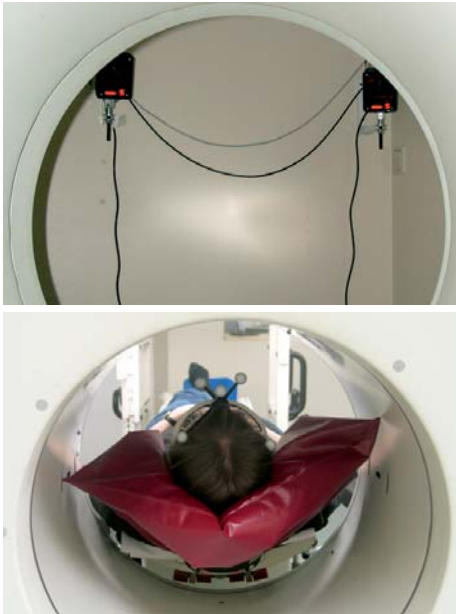


Abb. 2: Blick durch die PET-Kamera auf die Infrarotkameras; unten: Patient mit Target während einer PET-Untersuchung, von den Infrarotkameras aus gesehen

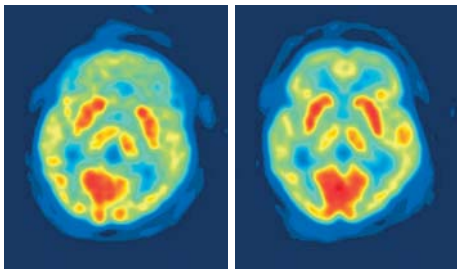


Abb. 3: PET-Bilder eines Gehirns, links ohne und rechts mit Bewegungskorrektur



Abb. 4: Durch die Bewegungskorrektur werden die Konturen eines Tumors im Lungenbereich schärfer abgebildet

erhalten, kann man versuchen, die Bewegung zu messen und diese Information bei der weiteren Bearbeitung der Daten zu nutzen, um die Bewegungen zu korrigieren. Im PET-Zentrum Rossendorf haben wir solche Methoden speziell für die Korrektur von Atembewegungen bei Untersuchungen des Brustkorbes und Kopfbewegungen bei neurologischen Untersuchungen entwickelt. Für die Korrektur der Kopfbewegungen wird die Lage des Kopfes mittels eines Infrarot-Kamerasystems mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung bestimmt. Dazu trägt der Patient eine Brille mit einem Target, einer Struktur aus Kugeln, die infrarotes Licht reflektieren. In den Kameras integrierte Infrarotblitze erleuchten das Messfeld in regelmäßigen Abständen von 20 Tausendstel Sekunden. Das von den Target-Kugeln reflektierte Licht wird von den Kameras gemessen und erlaubt somit die genaue Bestimmung der Lage des Targets im Raum. Da das Target fest mit dem Kopf verbunden ist, werden damit auch die Bewegungen des Kopfes registriert ([Abb. 2](#)).

Diese Information wird benutzt, um die räumliche Lage der LORs, der Quantenpaare, zu korrigieren. Für jedes Quantenpaar wird anhand der gemessenen LOR und der Bewegungsinformation die Lage der Linie berechnet, entlang derer die zwei Gammaquanten geflogen wären, hätte der Patient zur Zeit des Nuklidzerfalles noch in seiner ursprünglichen Position gelegen. Damit entsteht ein Satz von bewegungskorrigierten LORs, die nach der Rekonstruktion zu bewegungsfreien Bildern führen ([Abb. 3](#)).

Diese Korrekturmethode funktioniert beim Kopf sehr gut, weil der Kopf in guter Näherung ein starrer Körper ist, d.h. alle Bereiche des Kopfes bewegen sich synchron und man kann aus der Messung der Bewegungen an der Oberfläche auf die Bewegung eines jeden beliebigen Punktes im Kopf schließen. Anders verhält es sich mit den von der Atembewegung betroffenen Körperbereichen. Dort wird der Körper durch die Atmung deformiert und nicht gleichmäßig bewegt. Aus der Messung der Bewegung des Brustbeins z.B. kann man nicht auf einfache Weise auf die Bewegung der Lungenspitzen schließen.

In diesem Falle wendet man eine andere Korrekturtechnik an. Mittels eines Brustgurtes mit integriertem Drucksensor wird der Atemzyklus des untersuchten Patienten gemessen. Man sucht die Maxima in der Atemkurve und teilt die Zeitspanne zwischen je zwei aufeinander folgenden Maxima in zehn gleich lange Intervalle auf. Jedes dieser zehn Intervalle repräsentiert einen bestimmten Atemzustand und es wird angenommen, dass die Restbewegung innerhalb der Intervalle vernachlässigt werden kann. Die gemessenen Ereignisse werden dann einem der zehn Intervalle zugeordnet und die Bilder der entsprechenden zehn Phasen der Atembewegung rekonstruiert. Damit erhält man zehn scharfe Bilder. Jedes davon enthält jedoch nur rund ein Zehntel der ursprünglich gemessenen Ereignisse und hat so eine verschlechterte Statistik und einen damit verbundenen höheren Rauschanteil. Um die volle Statistik ohne Verlust der räumlichen Auflösung der relevanten Bereiche zu erhalten, werden die zehn Bilder nach geeigneter Transformation jedes Bildes zusammen addiert ([Abb. 4](#)).

Umwelt und Sicherheit »



Verlässlichere Prognosen zur Schadstoffausbreitung mit Hilfe einer mineral-spezifischen Sorptionsdatenbank

Vinzenz Brendler, Cordula Nebelung, Anke Richter

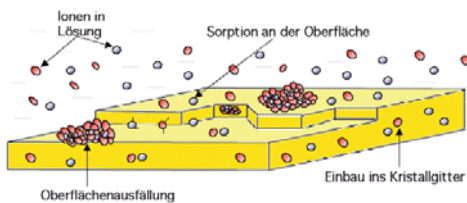


Abb. 1: Wichtige Prozesse an der Grenzfläche Fest-Flüssig: Sorption, Oberflächenausfällung und Einbau in das Mineral

Wechselwirkungen zwischen gelösten Schadstoffen und den umgebenden Mineralsystemen (Gesteine, Böden) sind ganz wesentliche Prozesse bei der Schadstoffausbreitung. Hierzu zählen neben Ionenaustausch, Oberflächenausfällung und Mischkristallbildung insbesondere Chemisorption und Physisorption, mit fließenden Übergängen zwischen den einzelnen Prozessen (Abb. 1). Die Einzelprozesse können entweder zu Mobilisierung oder Retardation der Schadstoffe führen, d.h. der Gesamteffekt aus der Kombination dieser konkurrierenden Phänomene ist nur schwer vorherzusagen. Andererseits jedoch ist dies essentiell für Abschätzungen des Schadstoffeintrages in Grundwasserleiter und Vorfluter, im Schadensfall wie auch bei der Annahme verschiedener Präventions- und Sanierungsszenarien, bis hin zur Entwicklung effektiverer und kostengünstigerer Technologien in Wasserwirtschaft und Umweltschutz. Als Lösungsansatz wurde bisher vorrangig das K_D -Konzept (Verteilungskoeffizienten) eingesetzt. Dieses ist jedoch stark vereinfachend, da verschiedenste physiko-chemische Phänomene zu nur einem empirischen, konditionellen Parameter verschmelzen. Häufig sind K_D -Werte sensitiv bezüglich kleiner Änderungen in Systemparametern wie dem Redoxpotential oder pH, dem Gehalt an anderen Ionen oder der Bildung neuer Minerale. Alle in Prognosen genutzten K_D -Werte sind prinzipiell nur Schnapsschüsse für ganz bestimmte Systemzustände. Dies alles weist insbesondere extrapolierten K_D -Werten letztendlich hohe Unsicherheiten zu, die sich direkt auf die Genauigkeit darauf aufbauender Risikoanalysen auswirken.

Ein moderner Ansatz zur theoretischen Beschreibung von Sorptionsvorgängen ist das Modell der Oberflächenkomplexierung (SCM - Surface Complexation Model). Die Nutzung des K_D -Konzeptes mit all seinen Unzulänglichkeiten wird damit sinnvoll ergänzt und erweitert. Vertraute Modelle und Codes müssen dabei nicht ersetzt werden, sondern die empirische Messgröße wird nun durch einen thermodynamisch fundierten Wert, einen sogenannten „Smart K_D “, substituiert, mit dem dann wie gewohnt weitergearbeitet werden kann. Eine erfolgreiche Anwendung der Oberflächenkomplexierung erfordert natürlich auch eine hinreichend umfassende und qualitativ geeignete Datenbasis. Weltweit ist gegenwärtig keine Datenbank zu thermodynamischen Sorptionsdaten verfügbar, sondern es existieren lediglich K_D -Sammlungen. Dies macht sich vielfältig negativ bemerkbar, für konkrete Anwendungsfälle sind die Aussagen zur Sorption und damit zur Schadstoffausbreitung oft unsicher oder direkt

Der Nutzer kann aus der Datenbank durch Ausfüllen entsprechender Masken nach Datensätzen suchen, neben einem einfachen „Scannen“ umfasst dies:

- ◆ Suche nach speziellen Datensätzen: Mineraleigenschaften, spezifische Oberflächen, Konzentration an Bindungsstellen, Protolyse-Konstanten, Bildungskonstanten für Oberflächenkomplexe (Auswahl kann nach Mineral, SCM oder Ligand erfolgen);
- ◆ Suche aller Datensätze zu einem vorgegebenen Set verschiedener Minerale und Kontaminanten (z.B. für die Berechnung komplexer, realitätsnaher Szenarien);
- ◆ Suche einer Literaturstelle und aller zugehörigen Parametersätze;
- ◆ Suche aller Literaturstellen eines bestimmten Autors. Die Ausgabe von Such- und Auswahlresultaten erfolgt dabei am Bildschirm (mit interaktiver Verfeinerung oder Ergänzung der selektierten Daten), als Bericht (speziell für den Ausdruck optimiert) oder als sekundäre (Teil-) Datenbanken für die Eingabe in geochemische Speziationssoftware wie z.B. MINTEQA2 oder PHREEQC.

Eingabemaske zur Suche nach Sorptionsdaten in RES³T

Die Datenbankentwickler möchten sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) sowie beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung unter den Kennzeichen PtWt+E 02E9471 bzw. PtWt+E 02C1144 bedanken.

fehlerhaft. Die Akzeptanz des eigentlich sehr fortschrittlichen SCM-Konzeptes wird beeinträchtigt. Um diese Nachteile zu beheben, wurde im Institut für Radiochemie, aufbauend auf dem SCM-Konzept, eine mineral-spezifische thermodynamische Sorptionsdatenbank entwickelt: RES³T - Rossendorf Expert System for Surface and Sorption Thermodynamics (s. a. www.fz-rossendorf.de/FWR/RES3T/). Diese ist in MS Access implementiert, eine Anbindung an eine WWW-Schnittstelle ist momentan im Entstehen. Vorgaben bei Entwurf und Erstellung der Datenbank waren hohe Nutzerfreundlichkeit, eine einfache Zugriffsmöglichkeit für alle Interessierten, die Konsistenz der Daten, ein breites Spektrum der erfassten Schadstoffe und Minerale sowie die Bereitstellung vielfältiger Ausgabeoptionen. Ziel ist eine Art Expertensystem, welches Publikationen und Hintergrundwissen zu einzelnen experimentellen Methoden oder SCM-Modellen abrufbar macht: theoretische Grundlagen, Fehlergrenzen, Gültigkeitsbereiche.

Anwendungsfälle von RES³T sind Deponien unterschiedlichster Art und ihre Sickerwässer, aber auch die Sicherung von kontaminierten Militärstandorten und Industrieanlagen. Neben chemo-toxischen Abfällen wird zudem die Lagerung radioaktiver Abfälle adressiert, wobei sowohl das Wirtsgestein als auch das Deckgebirge erfasst wird, und damit nicht nur für ein einziges Endlagerumfeld (z.B. Salzstock) Relevanz besitzt. Und schließlich stellt die Datenbank auch einen Beitrag dar zur Problematik der Stilllegung, Verwahrung oder Rekultivierung von Bergwerken (Uranerz, Kupferschiefer, Steinkohle) und offenen Tagebauen (Steinkohle, Braunkohle). Avisierte Anwender sind Behörden, Gutachter, die WISMUT GmbH, Ingenieurbüros sowie universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen.

Das stoffliche Spektrum von RES³T ist auf die Actiniden, die Schwermetalle Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn sowie auf Arsen ausgerichtet. Wichtige Konkurrenzionen sind ebenfalls enthalten. Gegenwärtig (Stand November 2004) sind in der Datenbank über 100 Minerale, knapp 900 Datensätze zu spezifischen Oberflächen, ca. 1100 Protolyse- und ca. 2600 Komplexbildungskonstanten erfasst, basierend auf fast 1500 Literaturreferenzen. Die Recherche zu SCM-Parametern, -Modellen und -Experimenten läuft kontinuierlich weiter. Alle aktuellen Modellansätze zur Oberflächenkomplexierung werden berücksichtigt. Es werden nur Primärdaten gespeichert, einschließlich ihrer Abhängigkeiten von anderen Daten. Dazu kommen Informationen zum verwendeten Modell für die Datenanalyse. Wenn verfügbar, werden Fehlerangaben ebenfalls gespeichert als Voraussetzung für Sensitivitätsanalysen in Modellierungen. Alle Tabellen enthalten zusätzlich im freien Format Anmerkungen. Im Einzelnen verwaltet RES³T Datensätze zu den chemischen Komponenten/Basis-Spezies, zu Mineralen, zu Oberflächen, zu Oberflächenbindungsstellen, zu Sorptionsreaktionen, zu experimentellen Methoden der Sorptionsversuche, zu Oberflächenkomplexierungsmodellen sowie zur Bibliographie (Originalzitate und Sekundärreferenzen).

Sichere Kernkraftwerke - Voraussagen für Kernschmelze-Szenarien

Eberhard Altstadt, Hans-Georg Willschütz

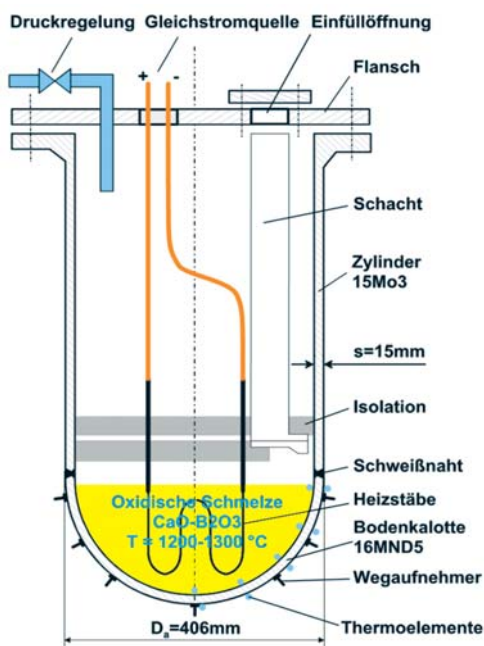


Abb. 1: Schema des experimentellen Aufbaus

Unterstellt man einen schweren Störfall in einem Leichtwasserreaktor, bei dem sämtliche Sicherheitseinrichtungen versagen, so kann es zum Abschmelzen des Reaktorkerns mit anschließender Schmelzeverlagerung in die Bodenkalotte des Reaktordruckbehälters kommen. In diesem unwahrscheinlichen Szenarium ist der Reaktordruckbehälter die letzte Sicherheitsbarriere vor einer direkten Belastung des Containments, der Sicherheitsumschließung des nuklearen Teils eines Kernkraftwerks. Für die Risikoabschätzung ist ein detailliertes Verständnis der thermofluidodynamischen und mechanischen Vorgänge, die bei einer Kernschmelze auftreten, erforderlich. Darüber hinaus ist das Verständnis dieser Prozesse wichtig, um Maßnahmen und Einrichtungen zum Notfallschutz einzuführen und zu optimieren.

Für eine genauere Einordnung der Sicherheitsreserven des Reaktordruckbehälters im Falle einer Kernschmelze ist es notwendig, mögliche Versagensformen des Reaktordruckbehälters sowie Versagenszeiträume zu untersuchen. Dazu wurden und werden derzeit weltweit Versuche zum Versagen der Bodenkalotte durchgeführt, wie die amerikanischen LHF- (Lower Head Failure, Maßstab ca. 1:5) oder die schwedischen FOREVER-Experimente (Failure of Reactor Vessel Retention, Maßstab ca. 1:10). Die Versuchsanordnung ist in [Abb. 1](#) dargestellt.

Im Institut für Sicherheitsforschung des FZR wurde auf der Basis der Finite-Elemente-Methode ein numerisches Modell entwickelt, mit dessen Hilfe das Behälterversagen auf dem Rechner simuliert werden kann. Im ersten Schritt wird die Verteilung der Temperaturen in der Schmelze und in der Behälterwand ermittelt. Dabei müssen die Konvektion im Schmelzebad, die Krustenbildung im Bereich niedrigerer Schmelzetemperaturen, der Wärmeübergang zwischen Wand und Schmelze bzw. zwischen Wand und Schmelzekruste sowie die Wärmeabstrahlung an der Behälteroberfläche und an der Schmelzeoberfläche adäquat beschrieben werden. Im Falle der FOREVER-Experimente liegen die Maximaltemperaturen bei ca. 1300 °C. Im zweiten Schritt wird die aus Temperatur- und Innendruckbelastung resultierende Deformation des Behälterbodens berechnet. Dabei ist das Materialverhalten bei hohen Temperaturen, die sogenannte Viskoplastizität, zu berücksichtigen. Die Materialschädigung infolge der viskoplastischen Verformung wird mit einer Schädigungsvariablen modelliert, so dass Ort und Zeitpunkt des Behälterversagens bestimmt werden können.

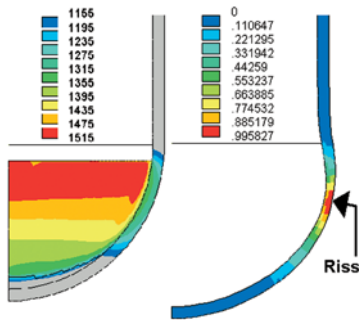


Abb. 2: Temperaturverteilung [K] in Schmelze und Behälterwand (links) und Schädigung zur berechneten Versagenszeit (rechts)

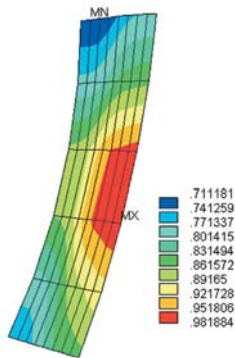


Abb. 3: Berechnete Schädigung an der Versagensposition



Abb. 4: Ungeätzter Schliff an der Versagensposition; links: Innenseite, rechts: Außenseite; dunkle Punkte sind Kriechporen

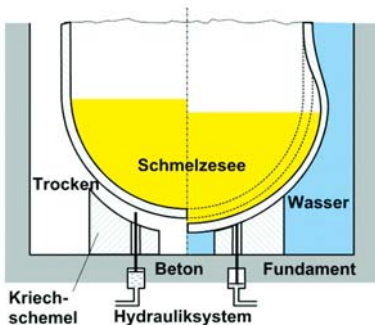
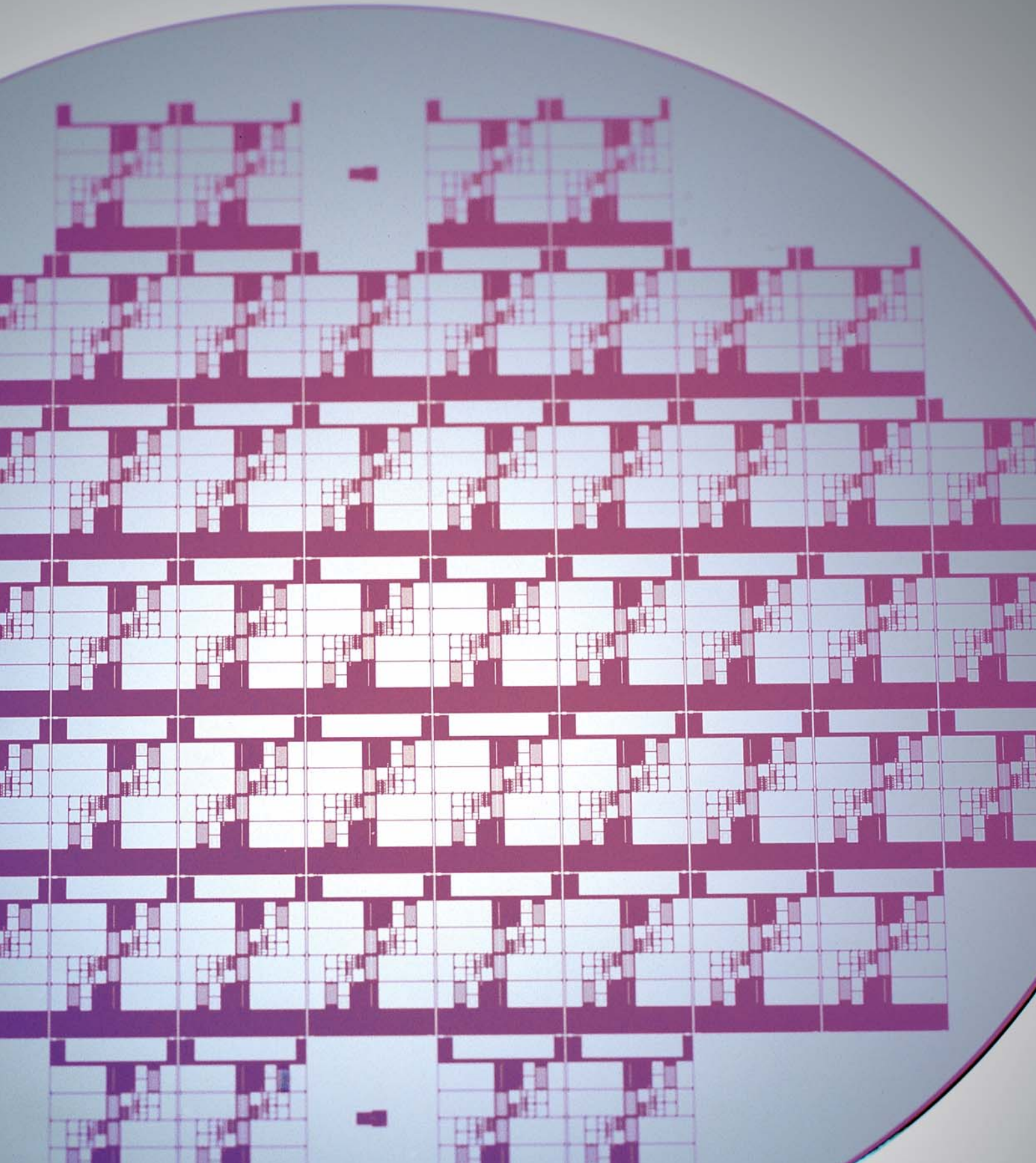


Abb. 5: Mögliche Einrichtung für den passiven Notfallschutz

Für die schwedischen FOREVER-Experimente wurden Voraus- und Nachrechnungen durchgeführt. Auf der Grundlage der Vorausrechnungen konnten die Versuchsparameter bezüglich des Temperaturniveaus, des Schmelzevolumens und der Druckbelastung im Vorfeld optimiert werden. Der Vergleich zwischen Vorausrechnung und Experiment hat gezeigt, dass das FZR-Modell in der Lage ist, die komplexen thermo-mechanischen Vorgänge, die zum Versagen des Behälters führen, richtig zu beschreiben. So konnte die Versagensposition des Behälters nahezu exakt vorhergesagt werden. Die Versagenszeit des Behälters konnte mit einer Abweichung von ca. 20% vorausberechnet werden, was in Anbetracht der stark streuenden und sehr temperaturempfindlichen Materialeigenschaften im visko-plastischen Bereich ein unerwartet gutes Ergebnis ist. Metallographische Nachuntersuchungen an Proben des zerstörten Behälters (durchgeführt im Institut für Sicherheitsforschung des FZR) haben darüber hinaus gezeigt, dass die lokale Verteilung der Materialschädigung, die sich in Form von Kriechporen zeigt, qualitativ gut mit dem in der Rechnung verwendeten Schädigungsmodell korrespondiert. Die Verwendung des Schädigungsmodells bewirkt unter anderem auch, dass das Aufreißen des Behälters in der Berechnung - wie im Experiment bestätigt - an dessen Außenfläche beginnt, obwohl die höchsten Dehnungen auf der Innenseite auftreten. Abb. 2 zeigt die berechnete Temperaturverteilung in der Schmelze und in der Behälterwand (links) sowie die Materialschädigung unmittelbar vor dem Behälterversagen. In Abb. 3 ist die Schädigungsverteilung im Bereich der Versagensposition noch einmal vergrößert dargestellt, und Abb. 4 zeigt zum Vergleich die in der metallographischen Nachuntersuchung gefundenen Kriechporen. Nachrechnungen des Experimentes haben gezeigt, dass mit einer geringfügigen Korrektur des Temperaturfelds in der Behälterwand (10 Kelvin bei einem durchschnittlichen Temperaturniveau von ca. 1200 Kelvin) die visko-plastische Verformung der Behälterwand bis zum Versagen nahezu exakt wiedergegeben werden kann. Die Ergebnisanalyse der Berechnungen zu den FOREVER-Experimenten führte zur Erarbeitung von konstruktiven Maßnahmen zur Verlängerung oder Verhinderung des Behälterversagens. Dabei handelt es sich um einen „Kriechstuhel“ und eine passive Steuereinrichtung zur Flutung der Reaktorgrube im Falle einer Kernschmelze (Abb. 5). Beide Ideen liegen als Patente veröffentlicht vor (Patent-Nr. DE 10041779 C1 und DE 10041778 C2). Der Kriechstuhl führt zur Entlastung des gefährdeten Bereichs des Behälters (heißer Fokus). In Vergleichsrechnungen bezüglich der FOREVER-Anordnung wurde gezeigt, dass selbst bei einem Szenario ohne Flutung der Bodenkalotte von außen die Versagenszeit durch die Wirkung des Kriechstuhels verdoppelt werden kann. Eine weitere Verfolgung dieses Konzepts bei bestehenden und zukünftigen Kernkraftwerken erscheint daher vielversprechend. Das Finite-Elemente-Modell ist für die betrachteten Anordnungen validiert, so dass es nunmehr auf die Berechnung prototypischer Szenarien angewendet werden soll (reale Reaktorgeometrie).

Angewandte Materialforschung »



Materialforschung mit Ionen

Johannes von Borany, Edgar Richter

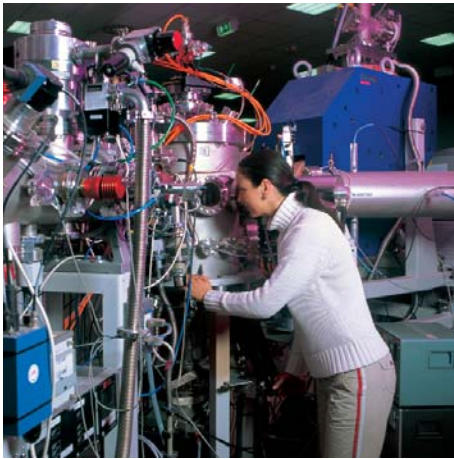


Abb. 1: Im Ionenstrahlzentrum des FZR

Ein Institut, das sich mit Materialforschung befasst, kann sich der Frage nach der Anwendungsrelevanz seiner Arbeiten kaum entziehen. Bei der Materialentwicklung haben die Oberflächentechniken heute einen besonderen Stellenwert, denn viele der positiven Eigenschaften moderner Werkstoffe - seien sie nun dekorativer oder funktioneller Art - beruhen darauf, dass man einen dünnen Oberflächenbereich des Materials, der oft nur wenige Mikrometer oder gar Nanometer „dick“ ist, gezielt verändert. Damit lassen sich beispielsweise die Verschleißfestigkeit von Stählen oder Leichtmetallen erhöhen, die Transparenz oder die Selbstreinigung von Gläsern beeinflussen, ganz zu schweigen von hochintegrierten magnetischen Festplatten oder Mikrochips, die es ohne Dünnschichttechniken gar nicht gäbe.

Im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung (IIM) widmet man sich genau diesem Thema: der Modifizierung von Oberflächen fester Materialien (vorwiegend Metalle und Halbleiter), wobei als „Werkzeug“ die Ionen genutzt werden. Ionen (geladene Atome) können von allen Elementen des Periodensystems erzeugt, aufgrund ihrer Ladung in elektrischen oder magnetischen Feldern beschleunigt, abgelenkt, fokussiert und letztendlich in Form eines Ionenstrahls für eine gezielte Oberflächenbehandlung angewandt werden. Das IIM besitzt eine langjährige Tradition an der Schnittstelle zwischen Forschung und Anwendung und hat derzeit mit knapp 30 Unternehmen der Wirtschaft - sowohl Großunternehmen als auch klein- und mittelständischen Firmen - Kooperationsbeziehungen. Die unterschiedlichen Anlagen für die ionengestützte Schichtabscheidung, die Ionenimplantation oder die Ionenstrahlanalytik sind im Ionenstrahlzentrum des IIM zusammengefaßt und gestatten eine effiziente Bearbeitung anwendungsbezogener Projekte oder von Serviceaufträgen. Die Ionenverfahren, obwohl inzwischen schon seit etwa 30 Jahren im Einsatz, sind keineswegs eine physikalisch und technisch ausgereizte Technologie, sondern stellen z.B. auf dem aktuellen Gebiet der Nanotechnologie neue, einzigartige Möglichkeiten zur Verfügung. Sie erlauben beispielsweise die Erzeugung selbstorganisierter Halbleiter-Nanopartikel in Siliziumdioxidschichten, die für neuartige Lumineszenzelemente oder nichtflüchtige Speicher genutzt werden. Ein feinfokussierter Ionenstrahl mit einem Durchmesser von weniger als 30 Nanometer erlaubt es, wie mit einem Stift einen Nanodraht oder eine Kette metallischer Nanopunkte zu schreiben - interessant für photonische Bauelemente.

Ionenbehandlung von Halbleitermaterial und Bauelementen der Leistungselektronik

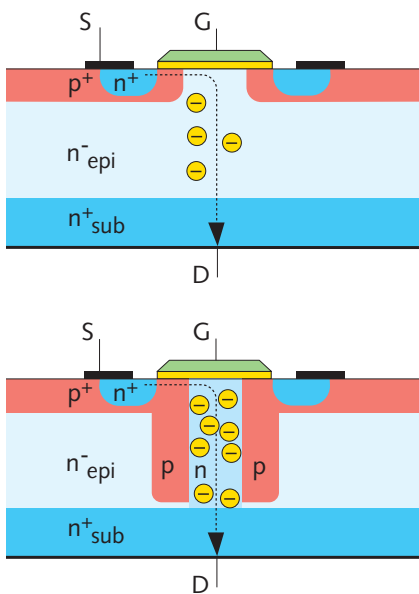


Abb. 2a, b: Prinzipdarstellung von konventionellem MOSFET (oben) und CoolMOS™-Leistungstransistor (unten)

Bei einem MOSFET-Leistungstransistor erfolgt der Stromfluss in vertikaler Richtung zwischen Rück- und Vorderseite des Bauelementes (Abb. 2). Bei leitendem Transistor verursacht speziell bei hochspannungsfesten Bauelementen der Widerstand der n-leitenden Epi-Schicht (n^-_{epi}) einen Spannungsabfall und damit eine Verlustleistung. Die Epitaxie-Schicht wird auf dem niederohmigen Silizium-Substrat (n^+_{sub}) mittels einer speziellen Dünnschichttechnologie (Epitaxie) erzeugt, wobei das Schichtwachstum bei einstellbarer Dotandenkonzentration in perfekter Übereinstimmung mit der kristallinen Orientierung des Substrates erfolgt.

In diesem Beitrag soll anhand von zwei Beispielen der Zusammenarbeit des Institutes mit Unternehmen der Wirtschaft aus unterschiedlichen Branchen aufgezeigt werden, wie die Anwendung von Ionentechniken neue und innovative Produkte oder Werkstofftechnologien ermöglicht.

Silizium ist das Ausgangsmaterial nicht nur für Prozessor- und Speicherchips, sondern auch für Bauelemente der Leistungselektronik. Dies sind verschiedene Arten von Dioden oder Transistoren, die gewöhnlich die Aufgabe haben, Ströme von einigen Ampere bis zu einigen Kiloampere zu schalten. Gleichzeitig müssen diese Elemente eine hohe Spannungsfestigkeit (teilweise bis zu einigen Kilovolt) aufweisen. Man findet diese (Leistungs-) Dioden oder Transistoren in nahezu jedem Gerät der Haushaltselektronik - in Fernsehgeräten, Wasch- und Bohrmaschinen, Computer-Netzteilen sowie auch in der KFZ-Elektronik. Der Grundaufbau eines MOSFET-Leistungstransistors ist in Abb. 2a gezeigt. Ähnlich wie in der Mikroelektronik werden auch in der Leistungselektronik die Strukturen skaliert, d.h. nach gewissen Regeln zunehmend verkleinert, um die Bauelemente platzsparender und kosteneffizienter herstellen zu können. Dabei ergibt sich zunehmend ein Konflikt bei der optimalen Wahl des Widerstandes der Epitaxie-Schicht (siehe Textbox). Denn einerseits soll deren Dotierung möglichst hoch sein, um dem Stromfluß wenig Widerstand entgegenzusetzen, andererseits ist für eine hohe Spannungsfestigkeit eine möglichst geringe Dotierung gefragt, um die Durchbruchfeldstärke im Bauelement nicht zu überschreiten. Letzteres ist ein zwingend einzuhaltender Parameter bei der Auslegung der Epitaxie-Dotierung, so dass der Kompromiss zulasten der Leitfähigkeit getroffen werden muss. Der Widerstand der Epitaxie-Schicht führt beim Stromfluss entsprechend dem Ohmschen Gesetz zu einem Spannungsabfall und damit zu einer Verlustleistung im Bauelement, die als Wärme umgesetzt wird. Dies kann jeder spüren: die Elektrik einer Bohrmaschine wird bei großer Belastung schnell heiß, ein Computernetzteil muß bei hoher Lastabnahme mit einem Ventilator gekühlt werden.

Vor etwa 5 Jahren wurde von Infineon Technologies Villach, einem der Marktführer der Leistungselektronik besonders für Anwendungen in der Autoelektronik, mit einer neuen Bauelementestruktur ein Ausweg aus dieser Misere aufgezeigt (Abb. 2b). Ohne auf die Wirkungsweise im Einzelnen eingehen zu wollen [s. G. Deboy, L. Lorenz, M. März; Kühle Lösung für heiße Anwendungen, Elektronik 19/1998, Seiten 42-50], sei gesagt, dass die Dotierung der Epitaxie-Schicht hier relativ gering gehalten werden kann und damit die Spannungsfestigkeit des Bauelementes sichert. Gleichzeitig kommt es beim nicht-sperrenden Betriebsregime des Transistors im Gebiet zwischen den beiden p-leitenden Säulen zu einer Erhöhung der Elektronenkonzentration - dieser Bereich ist nun niederohmig. Dadurch kann der Stromtransport verlustfrei erfolgen und die Erwärmung verringert werden. Der Handelsname CoolMOS für diese Bauelementereihe gibt dies griffig wieder.

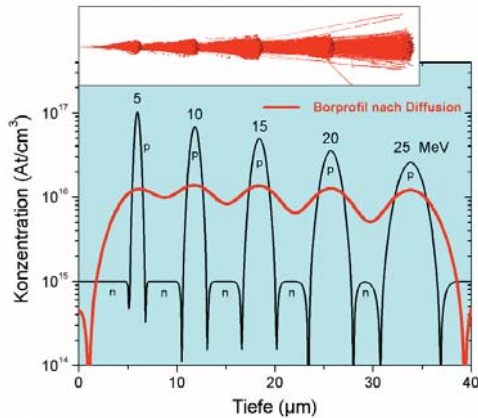


Abb. 3: Tiefenverteilung des implantierten Bors. Direkt nach der Implantation gibt es fünf voneinander separierte p-Gebiete, nach der Diffusion bei 1150°C erhält man eine durchgehende bordotierte Schicht bis in eine Tiefe von knapp 40 µm. Der obere Bildteil zeigt als Ergebnis einer Simulationsrechnung einzelne Ionenbahnen (rot).

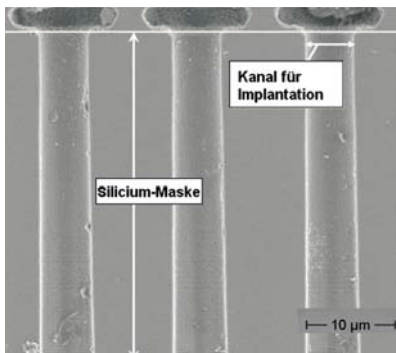


Abb. 4: Elektronenmikroskopie-Aufnahme (Ausschnitt) der Implantations-Öffnungen der Silizium-Hartmaske. Tiefe: 45 µm, Durchmesser: 6,5 µm, Randwinkel: > 89°

Das charakteristische Element dieser Bauelementestruktur sind die säulenförmigen p-Gebiete, die bis in eine Tiefe von ca. 40 µm reichen müssen (**Abb. 2b**). Die Dotierung von Silizium zur Erzeugung der p-Gebiete erfolgt mit Bor. Mit einer gewöhnlichen Implantation von Bor-Ionen (z.B. mit einer Energie von 200 Kiloelektronenvolt/keV) erreicht man jedoch nur eine Dotiertiefe von 0,6 µm, durch eine anschließende Wärmebehandlung bei sehr hohen Temperaturen kommt man durch Diffusion im günstigsten Fall auf etwa 2 - 3 µm, viel zu gering für die vorgesehene Anwendung. Hier nun ergab sich der Ansatz zur Zusammenarbeit zwischen Infineon Technologies und den Rossendorfer Wissenschaftlern. Die Hochenergiebeschleuniger im Ionenstrahlzentrum des FZR ermöglichen es, Bor-Ionen mit sehr hoher Energie (25 Megaelektronenvolt/MeV) zu erzeugen und in große Silizium-Scheiben zu implantieren, was einer Eindringtiefe der Ionen von 34 µm entspricht. Mit einer Energie erzeugt man jedoch nur die lokale Dotierung in einer bestimmten Tiefe. Mit einer Reihe von Implantationsschritten verschiedener Energie zwischen 2 - 25 MeV sollte es jedoch möglich sein - unterstützt durch eine thermische Nachbehandlung nach der Implantation -, eine geschlossene p-leitende Säule von der Oberfläche bis in etwa 40 µm Tiefe zu erzeugen, wie es das Bauelementekonzept erfordert (**Abb. 3**).

Dieser technologische Ansatz wurde in den letzten drei Jahren im FZR erfolgreich umgesetzt. Was auf den ersten Blick einfach aussieht, hält im Detail einige knifflige Fragen bereit. So darf beispielsweise die Implantation des Silizium-Substrates nicht ganzflächig, sondern nur in einem Raster genau positionierter Gebiete von jeweils wenigen µm² Fläche erfolgen. Infolge der hohen Ionenenergien kann die übliche Fotolack-Maskentechnik nicht angewandt werden, da deren maskierende Wirkung wegen der kleinen Dichte und Schichtdicke viel zu gering ist. So kamen für diesen Prozess Hartmasken aus Silizium zum Einsatz. Diese wurden im Institut für Mikroelektronik Stuttgart gefertigt und bestehen aus einer 40 µm dicken Silizium-Membran, in welche in einem speziellen Ätzverfahren Löcher von nur wenigen Mikrometern Durchmesser erzeugt werden (**Abb. 4**). Das große Aspektverhältnis der Öffnungen stellt bei der Maskenherstellung eine besondere Herausforderung dar. Aber nicht nur dort: die Implantation hat mit einer Genauigkeit von wenigen zehntel Grad exakt senkrecht zur Maske zu erfolgen, da sonst durch Abschattungseffekte in der darunter liegenden Siliziumscheibe entweder gar keine oder nur eine mit großem Fehler behaftete Dotierung erreicht wird.

Ein weiterer Punkt ist der Einfluss von Kernreaktionen. Bei Energien oberhalb 12 MeV kann das Bor-Ion die abstoßende Kraft des Atomskerns der Silizium-Matrixatome überwinden und diese anregen. Dies geschieht zwar entsprechend dem Wirkungsquerschnitt der Reaktion nur bei etwa jedem 5000sten Inzidenz-Ion, da aber insgesamt etwa 10¹³ Ionen/cm² implantiert werden, ist dieser Effekt nicht zu vernachlässigen. Dies führt während der Implantation zu einer intensiven Gamma- und Neutronenstrahlung, die besondere strahlenschutztechnische Vorkehrungen bei der Behandlung der Silizium-Scheiben erfordert.

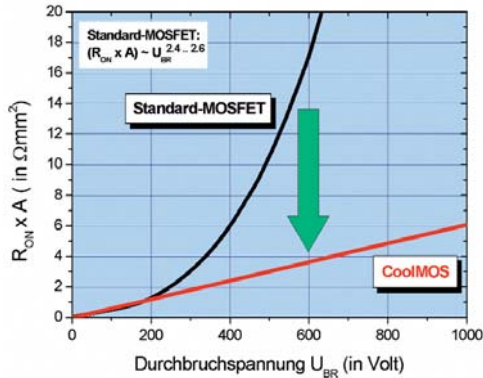


Abb. 5: Vergleich des flächenbezogenen Widerstandes beim Stromfluss von konventionellem MOSFET- und CoolMOSTM-Transistor.

Die vom BMBF geförderten Forschungsarbeiten erfolgen in enger Zusammenarbeit mit Infineon Technologies in Villach, Österreich und München.

Ionenimplantation verbessert Titanaluminide



Abb. 6: Ventile und Rotoren aus Titanaluminid (Bild: MTU München)

Neben der während der Implantation auftretenden prompten Strahlung werden auch radioaktive Nuklide im Silizium generiert. Erfreulicherweise haben die hauptsächlich erzeugten Nuklide (^{34}Cl , ^{37}Ar , ^{38}K) nur eine Halbwertszeit von wenigen Sekunden oder Minuten, so dass an der Silizium-Scheibe nach kurzer Zeit keine Radioaktivität mehr gemessen wird. Dies ist eine unumgängliche Voraussetzung für die beabsichtigte technische Nutzung des Verfahrens.

Die von Infineon Technologies gefertigten Muster-Transistoren auf kompletten 6"-Silizium-Scheiben haben zu voll funktionstüchtigen CoolMOS-Bauelementen geführt und damit die Anwendbarkeit des Verfahrens nachgewiesen (Abb. 5).

Damit steht eine Technologie zur Verfügung, die gegenüber der bisher angewandten Technik nicht nur eine erhebliche Reduzierung der Anzahl der Prozessschritte ermöglicht. Gleichzeitig zeigen die mittels Hochenergie-Ionenimplantation erzeugten CoolMOS-Transistoren in einigen Parametern (z.B. dem Sperrstrom) bessere Eigenschaften gegenüber den derzeit produzierten Typen.

Im Bereich der Leistungs-Bauelemente steht die Hochenergie-Ionenimplantation heute an der Schwelle zur produktionsrelevanten Technologie. Bei einigen Bauelementeklassen wird bereits heute eine Ionenbestrahlung serienmäßig zur Verkürzung der Schaltzeiten und zur Verringerung der Verlustleistung eingesetzt. Diese positiven Effekte bewegen Unternehmen wie Infineon Technologies zunehmend, eine solche Technik im eigenen Unternehmen verfügbar zu haben.

Während für die meisten der derzeit genutzten metallischen Strukturwerkstoffe die wissenschaftlich-technischen Grundlagen in der Mitte des vorigen Jahrhunderts oder bereits früher erarbeitet wurden und ihr Entwicklungspotenzial heute als weitgehend ausgeschöpft gilt, waren Titanaluminide bis vor 25 Jahren noch weitgehend unbekannt. Die intermetallische Legierungsgruppe der Titanaluminide kann man als „Zwitter“ zwischen Metall und Keramik ansehen. Sie sind bei vergleichbarer Hochtemperaturfestigkeit aufgrund ihres deutlich geringeren spezifischen Gewichts (ca. 4.5 g/cm^3) gegenüber den heute für Hochtemperaturanwendungen eingesetzten Stählen und Nickelbasislegierungen insbesondere für Anwendungen im Leichtbau (Turbinenschaufeln, Ventile, Rotoren etc.) sehr interessant. Die in den 80-er Jahren einsetzenden Entwicklungsarbeiten zu dieser interessanten Werkstoffgruppe wurden zunächst auf deren Bearbeitbarkeit und ihre mechanischen Eigenschaften begrenzt. Ihre für den Einsatz bei höheren Temperaturen wichtige Oxidationsbeständigkeit wurde kaum beachtet. Die Anwendung der Titanaluminide blieb auf Temperaturen bis 700°C begrenzt, obwohl ihr Festigkeitspotenzial den Einsatz bei Temperaturen bis 1000°C zulässt.

Mitte der 90-er Jahre wurden im FZR gemeinsam mit dem Karl-Winnacker-Institut der DECHEMA in Frankfurt/Main Untersuchungen zur Verbesserung der Hochtemperatur-Oxidationsbeständigkeit von Titanaluminiden (TAl) durch Halogen-Ionenimplantation aufgenommen. Die dortige Arbeitsgruppe von

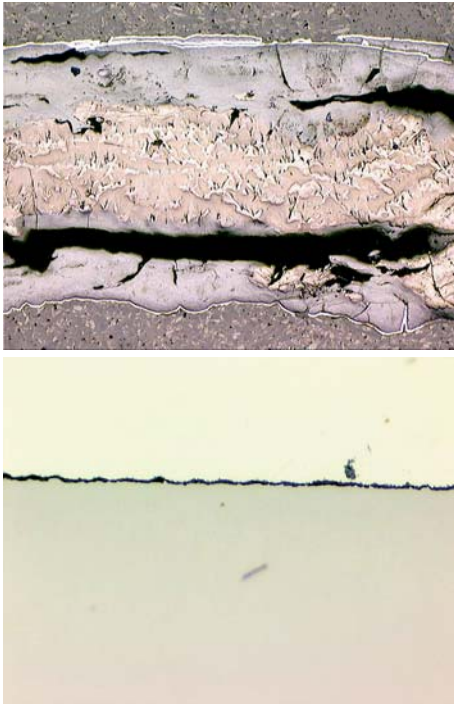


Abb. 7: Metallografischer Querschliff von nicht implantiertem (oben) und mit Fluor implantiertem (unten) TiAl nach 100 Stunden bei 900°C an Luft

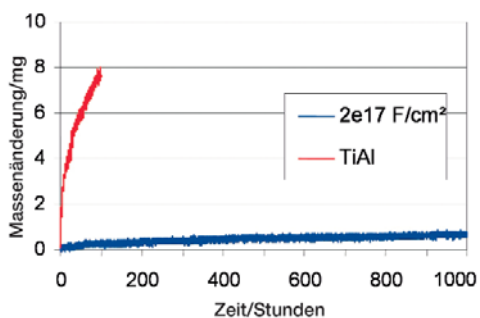


Abb. 8: Thermogrammetrisch bestimmte Massenzunahme (Oxidbildung) von TiAl bei 900°C an Luft bevor (rot) und nach (blau) Implantation von Fluor

Die Arbeiten zum Halogeneffekt wurden und werden durch die Volkswagenstiftung und die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) gefördert.

Prof. Schütze hatte festgestellt, dass pulvermetallurgisch hergestellte Titanaluminide gegenüber gegossenen eine um mehrere Größenordnungen höhere Oxidationsbeständigkeit aufweisen. Der Grund dafür liegt in einem geringen Gehalt an Chlor (ca. 500 ppm). Die Chlorverunreinigungen stammen aus nach dem so genannten Kroll-Verfahren hergestellten Titan. Während bei den schmelzmetallurgisch gewonnenen Titanaluminiden das Chlor beim Aufschmelzen komplett entweicht, verbleibt beim mechanischen Legieren bei der pulvermetallurgischen Herstellung das Chlor im Titanaluminid. Bei Temperaturen $> 700^\circ\text{C}$ bildet sich mit Hilfe des Chlors an der Werkstoffoberfläche eine dünne Aluminiumoxidschicht aus, die das darunter liegende TiAl gegen weitere Oxidation zuverlässig schützt (Chloreffekt). Bei chlorfreiem TiAl entsteht diese schützende Al_2O_3 -Schicht nicht. Der Werkstoff wird dann bei hohen Temperaturen an Luft tiefreichend aufoxidiert bzw. oxinitriert. In der Folge platzen die oxidischen Oberflächenschichten meist ab. Das entsprechende Bauteil wird unbrauchbar und fällt aus.

Im FZR wurde durch Implantation von Chlor in schmelzmetallurgisch hergestellte Titanaluminide nachgewiesen, dass für die Ausbildung der schützenden Al_2O_3 -Schicht das Chlor nur im unmittelbaren Oberflächenbereich vorhanden sein muss. Es konnte gezeigt werden, dass neben Chlor auch die anderen Halogene Fluor, Brom und Jod die Oxidationsbeständigkeit von TiAl-Legierungen so erhöhen, dass der oxidationsbedingte Materialabtrag im Oberflächenbereich bei Temperaturen bis 1000°C auf wenige Mikrometer reduziert wird. Insbesondere nach einer Fluor-Implantation bleibt auch bei Temperaturwechselbelastungen, wie sie im praktischen Einsatz von TiAl-Bauteilen auftreten, die Oxidationsbeständigkeit erhalten. Langzeittests über mehrere 100 Stunden, die am Karl-Winnacker-Institut in Frankfurt ausgeführt wurden, zeigten keine Veränderung an der ausgebildeten schützenden Al_2O_3 -Schicht. Der Halogeneffekt ist derzeit die einzige Möglichkeit, die Oxidationsbeständigkeit von Titanaluminiden so zu verbessern, dass diese bei Temperaturen bis 1000°C eingesetzt werden können. Mit Hilfe der Ionenimplantation ist man in der Lage, sehr exakt die erforderlichen Mengen an Halogenen in die Oberfläche einzubringen. Das ist insbesondere für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie von großer Bedeutung. Um die verbesserte Oxidationsbeständigkeit am gesamten, üblicherweise gegossenen oder geschmiedeten Bauteil zu erreichen, musste die Halogen-Dotierung für dessen gesamte Oberfläche optimiert werden. Erreicht wird dies durch den Einsatz der Plasma-Immersion-Ionenimplantation, einem modernen kostengünstigen Implantationsverfahren, das die Implantation nicht nur von ebenen Oberflächen, sondern auch von komplexeren Strukturen zulässt und typischerweise von kleinen und mittleren Unternehmen genutzt und angeboten werden kann.

Röntgen- und Gammatomografie für Strömungsvorgänge

U. Hampel, A. Bieberle, S. Boden, D. Hoppe, J. Fietz, H.-M. Prasser, E. Schleicher, M. Speck, C. Zippe, J. Zschau

Einleitung

Mehrphasenströmungen sind strömende Gemische aus Stoffen unterschiedlichen Aggregatzustands. Sie finden sich in Kühlkreisläufen von Kernkraftwerken, in Prozessanlagen und Reaktoren der chemischen Verfahrenstechnik, in Bioreaktoren, in Förder- und Transportsystemen für Flüssigkeiten und Schüttgut, in Hydraulik-, Kühl-, Heizungs- und Abwassersystemen sowie in Wärmetauschern und Entsalzungsanlagen. Entsprechend groß ist der Bedarf für Messverfahren, die die Verteilung der beteiligten Phasen im Inneren solcher Anlagen wiedergeben können. Vergleichbar mit der medizinischen Diagnostik ist die Anwendung der Computertomografie auf Basis von Röntgen- und Gammastrahlung sehr attraktiv, da es sich um berührungslose Verfahren mit hoher Auflösung und Messgenauigkeit handelt, die zudem frei von Rückwirkungen auf die zu untersuchende Strömung sind. Die Strahlung ermöglicht einen Blick in undurchsichtige Gefäße und durchdringt trübe oder intransparente Fluide ohne Probleme. Auch heterogene Suspensionen oder Schüttungen können vermessen werden.

Gamma-Tomografie

Ein Gammatomograf besteht im Wesentlichen aus einer Isotopenstrahlungsquelle sowie einem Detektorbogen. Als Isotope kommen Cäsium-137 oder Cobalt-60 zum Einsatz. Deren hohe Strahlungsenergien sind geeignet, Metallwände von einigen Zentimetern Wandstärke zu durchstrahlen. Mit Hilfe eines der Quelle vorgesetzten Kollimators wird die Strahlung auf ein fächerförmiges Bündel begrenzt. Innerhalb des Bündels befindet sich das Untersuchungsobjekt.

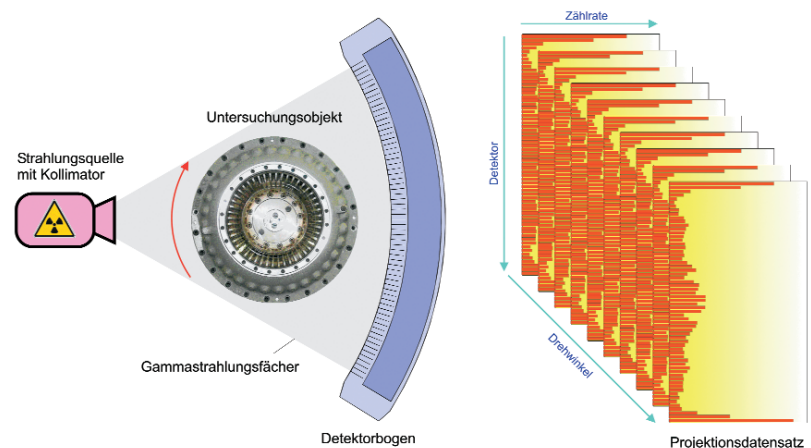
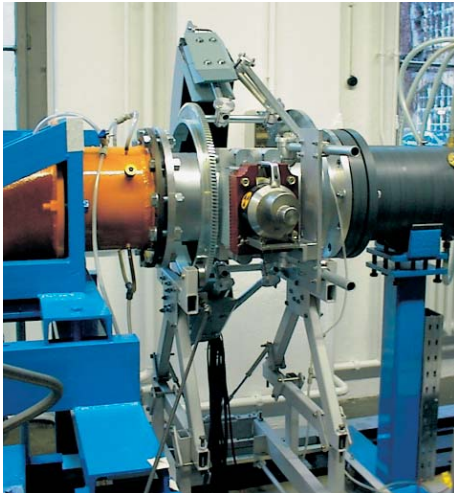
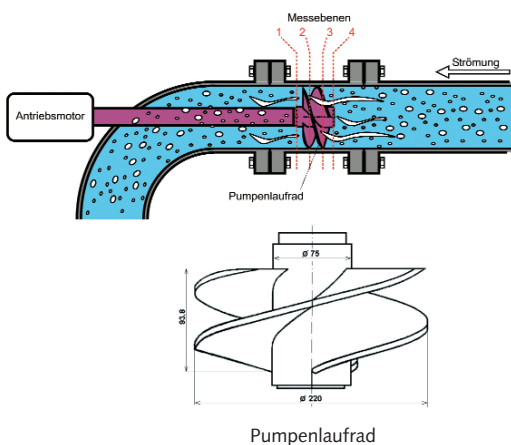


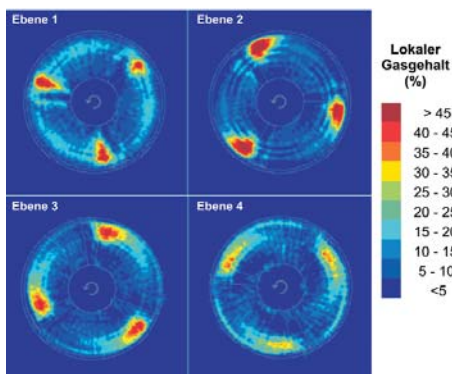
Abb. 1: Prinzip der Gammatomografie



Gammatomograf am Pumpenversuchsstand



Pumpenlaufrad



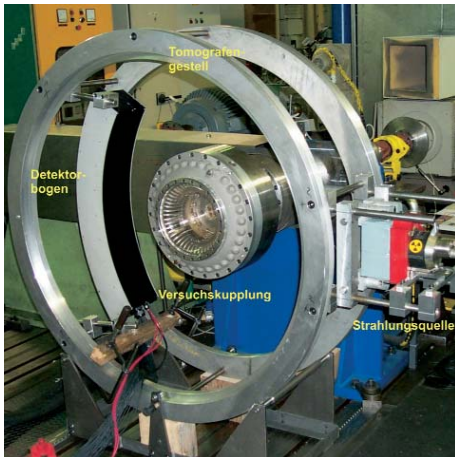
Rekonstruierte Gasverteilung am Pumpenlaufrad

Abb. 2: Gammatomografie an einer Axialpumpe

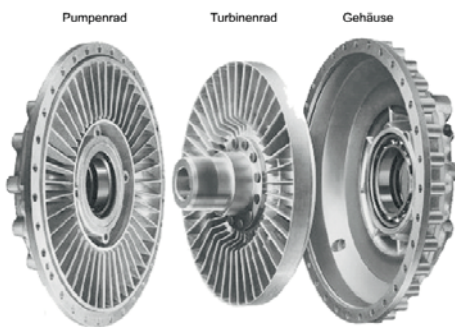
Die auf den Detektor auftreffende Strahlung wird durch einzelne Szintillationslichtwandler in eine Folge elektrischer Impulssignale umgeformt. Die Stärke der elektrischen Impulse korreliert mit der Energie der registrierten Gammaphotonen. Dadurch können gestreute Gammaphotonen, die Energie beim Stoßvorgang verloren haben, mit Hilfe einer elektronischen Diskriminatorstufe von der Zählung ausgeschlossen werden. Dies ist erforderlich, da gestreute Gammaphotonen zu Unschärfefeffekten in den berechneten Schnittbildern beitragen. Die Zählratenverteilung an den Detektorelementen bildet die integrale Strahlungsschwächung des im geraden Strahlengang zwischen Quelle und Detektor liegenden Materials ab. Sie wird als radiografische Projektion bezeichnet. Mit Hilfe der Computertomographie ist es nun möglich, die zweidimensionale Dichteverteilung im durchstrahlten Objektquerschnitt aus einem Satz radiografischer Projektionen zu berechnen, die aus allen möglichen Durchstrahlungsrichtungen zwischen 0° und 360° aufgezeichnet wurden. Dies geschieht in einem separaten Verarbeitungsschritt mit Hilfe eines Computers. Zur Aufnahme der radiografischen Projektionen aus verschiedenen Winkeln wird im Allgemeinen das Messsystem oder das Objekt gedreht. Ein eigenständig rotierendes Untersuchungsobjekt, wie etwa ein Pumpenlaufrad, kann tomografiert werden, indem die Datenerfassung mit der Drehbewegung des Messobjektes synchronisiert wird.

Für die Untersuchung von Zweiphasenströmungen wurde im Institut für Sicherheitsforschung ein spezieller Gammatomograf aufgebaut, der mit einer Cs-137 Strahlungsquelle sowie einem Detektorbogen aus 64 Einzeldetektoren betrieben wird. Ein erster Einsatz dieses Tomografen erfolgte im Rahmen von Untersuchungen an einer Axialpumpe. Axialpumpen werden allgemein für die Fluidförderung eingesetzt. In einigen Anwendungsgebieten, z.B. bei der Förderung von Rohöl in Erdölförderanlagen, müssen derartige Pumpen auch mehrphasige Gemische, wie Öl und Gas oder Öl/Wasser/Gas, fördern können. Dafür sind solche Pumpen aber oft nicht ausgelegt. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, das Betriebsverhalten ausgewählter Pumpen bei zweiphasigem Förderbetrieb zu untersuchen, um deren Konstruktion gezielt optimieren zu können. Mit Hilfe der Gammatomografie wurde deshalb die Struktur der Strömung innerhalb einer Versuchspumpe bei zweiphasigem Betrieb sichtbar gemacht.

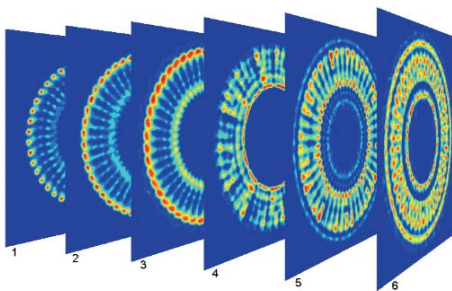
In Abb. 2 sind Teile des Axialpumpen-Versuchsaufbaus im Maschinenlabor der TU Dresden dargestellt. Das Pumpenlaufrad besteht aus drei Bronzeschaufeln und einer Nabe aus Messing. Es befindet sich in einer Rohrleitung aus Aluminium mit 240 mm Außendurchmesser und wird von links durch einen Elektromotor angetrieben. Während der Versuche wird es von einem Wasser-Luft-Gemisch mit frei einstellbarer Zusammensetzung und Geschwindigkeit durchströmt. Der Tomograf ist senkrecht zur Achse des Pumpenlaufrades angeordnet. Die Datenaufnahme des Tomografen ist in diesem Experiment mit dem Drehwinkel des Pumpenlaufrades synchronisiert, so dass ein Satz radiografischer Projektionen für etwa 800 gleichverteilte Drehwinkelintervalle erzeugt wird. Aus diesen Daten werden unter Berücksichtigung der Schwächungswerte



Gammatomograf am Versuchsstand für Turbo-kupplungen der Voith Turbo GmbH in Crailsheim



Aufbau einer hydrodynamischen Kupplung



Rekonstruierte Fluidverteilung in einzelnen Kupplungsebenen

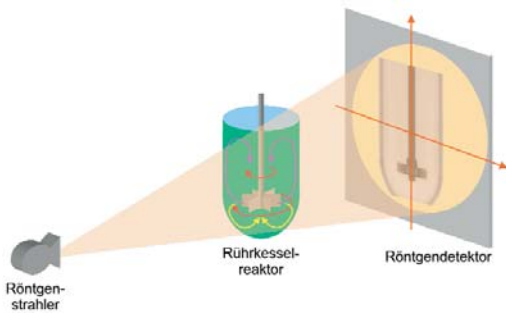
Abb. 3: Gammatomografie an einer hydrodynamischen Kupplung

für Luft und Wasser Schnittbilder der mit der Winkelgeschwindigkeit des Lauf-
rades rotierenden Gasverteilung innerhalb des Pumpenquerschnitts berechnet.
Als Beispiel sind in **Abb. 2** Gasverteilungen für einen ausgewählten Betriebs-
punkt der Pumpe bei 10% Gaseinspeisung dargestellt. In diesen Bildern lässt
sich deutlich die konzentrierte Ansammlung von Gas am äußeren Radius der
rückwärtigen Schaufelwände erkennen. Mit Hilfe der Visualisierung solcher
Gasgehaltsfelder konnte erstmalig das Strömungsverhalten innerhalb einer
Axialpumpe sichtbar gemacht und dessen Einfluss auf die Förderleistung der
Pumpe plausibel erklärt werden.

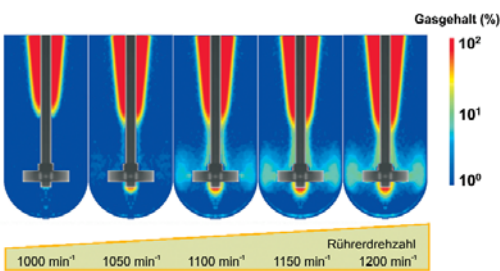
Ein zweites aktuelles Anwendungsbeispiel für die Gammatomografie ist die Vi-
sualisierung von Fluidverteilungen in einer hydrodynamischen Kupplung. Eine
hydrodynamische Kupplung (**Abb. 3**) dient der Kraftübertragung in Anlagen
mit hohem Leistungsbedarf. Dazu zählen beispielsweise Turbinen und Genera-
toren, Schiffsmotoren, Triebwagen und größere Nutzfahrzeuge. Die hydrody-
nische Kupplung besteht im Wesentlichen aus zwei axial gelagerten und
sich gegenüberstehenden Schaufelrädern und ist mit einem Betriebsfluid - meist
ein Öl - befüllt. Durch den Austausch des Fluides zwischen den Laufrädern wird
ein Drehmoment vom Pumpenlaufrad auf das Turbinenlaufrad übertragen.
Die Kraftübertragung kann durch den Füllgrad der Kupplung variiert werden.
Das Betriebsverhalten einer hydrodynamischen Kupplung ist hauptsächlich
durch die Ausprägung der Fluidströmung innerhalb der Kupplung bestimmt,
die wiederum vom Design der Kupplungskomponenten abhängt. Daher ist
eine Visualisierung der Fluidverteilung innerhalb einer im Betrieb befindlichen
Kupplung für deren Optimierung von unschätzbarem Wert.

Der Rossendorfer Gammatomograf wurde für Untersuchungen an einer Ver-
suchskupplung der Firma Voith Turbo GmbH in Crailsheim unter industriellen
Versuchsbedingungen eingesetzt. Die Versuchskupplung hat einen Außen-
durchmesser von 492 mm und besteht hauptsächlich aus Stahl und Aluminium.
Mit Hilfe der Gammatomografie wurde die Fluidverteilung in aufeinander-
folgenden axialen Kupplungsebenen für verschiedene Betriebspunkte der
Kupplung gemessen (**Abb. 3**). Aus diesen dreidimensionalen Fluidverteilungen
konnten charakteristische betriebspunktabhängige Strömungsmuster bestimmt
werden, die die genauen Mechanismen der Impulsübertragung zwischen den
Laufrädern offenbaren. Damit war es erstmalig möglich, konkrete Kennlinien-
verläufe und das Eintreten kritischer Betriebszustände an der Kupplung zu
erklären. Neben der direkten Verwertung des Bildmaterials für die Optimierung
des Kupplungsdesigns lieferten die gammatomografischen Aufnahmen darüber
hinaus wertvolles Datenmaterial für die Modellierung und Simulation von
Strömungsvorgängen in hydrodynamischen Kupplungen.

Röntgen-Kegelstrahltomografie



Aufnahmeprinzip der Kegelstrahltomografie



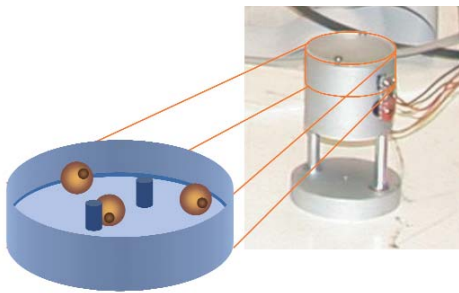
Evolution des Gasgehaltfeldes mit der Rührerdrehzahl

Abb. 4: Röntgen-Kegelstrahltomografie an einem begasten Rührkesselreaktor

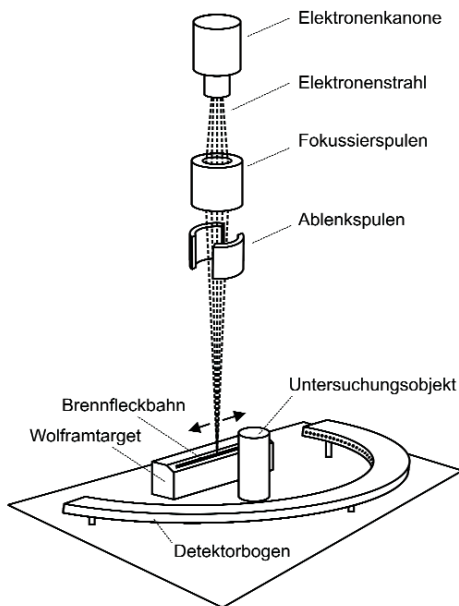
Alternativ zu Gammastrahlung kann auch Röntgenstrahlung für die Tomografie von Mehrphasenströmungen genutzt werden. Obwohl die Durchdringungsfähigkeit von Röntgenstrahlung bis 150 keV Energie deutlich schlechter als die höherenergetischer Gammastrahlung ist und das polyenergetische Strahlungsspektrum Probleme in Form von Strahlaufhärtungseffekten bereitet, ist Röntgenstrahlung besonders dann von Vorteil, wenn eine hohe räumliche Auflösung oder eine schnelle Messung gefordert werden. Ein wichtiges Einsatzgebiet der Röntgen-Computertomografie ist die Messung von Phasenverteilungen in chemischen Reaktionsgefäßen. In **Abb. 4** ist dies am Beispiel eines begasten Rührkesselreaktors illustriert. Rührkesselreaktoren werden in der Verfahrenstechnik für die Vermischung von Reaktanden, die Homogenisierung des Temperaturfeldes sowie die Herstellung von Emulsionen und Suspensionen eingesetzt. Die Messung der Phasenverteilung in solchen Reaktoren ist für die Optimierung und Sicherheitsbewertung von Herstellungsverfahren von Bedeutung. Eine räumlich hochaufgelöste Messung von Phasenverteilungen ist auch hier wieder nur mit Strahlungsmessverfahren möglich. Die Röntgen-Kegelstrahltomografie bietet dabei den besonderen Vorteil, dass die Phasenverteilung im gesamten Reaktorvolumen mittels einer einzigen Messung bestimmt werden kann. Bei diesem Verfahren werden mit Hilfe eines Röntgenstrahlers sowie eines modernen Röntgen-Digitalbildaufnehmers zweidimensionale radiografische Projektionen (Radiogramme) vom Rührkesselreaktor aufgezeichnet, aus denen anschließend die Volumendichteverteilung im Reaktorraum mittels spezieller dreidimensionaler Bildrekonstruktionsalgorithmen berechnet wird.

Ein Beispiel dafür ist die in **Abb. 4** illustrierte Messung des Gasgehaltfeldes für einen Laborreaktor mit selbstbegasendem Hohlwellenrührer. Das konkrete Experiment wurde an einem mit dem Modellfluid 2-Propanol befüllten Ecoclave-Reaktor der Firma Büchi AG durchgeführt. Ab einer kritischen Drehzahl von ca. 1050 Umdrehungen pro Minute wird Gas aus dem oberen Reaktorraum angesaugt, gelangt durch die Rührerwelle in Richtung der Rührerblätter und wird dort in das Fluid dispergiert. Von diagnostischem Interesse für die Prozessführung ist sowohl die mittlere Gasverteilung im Fluidvolumen als auch die Ausprägung der Fluid-Gas-Grenzfläche um die Rührerwelle. Wegen der zylindersymmetrischen Verteilung des Reaktorinhalts beschränkt sich das inverse Problem hier auf die Rekonstruktion der radialen und axialen Gasgehaltsverteilung aus einem einzigen Radiogramm. Die Experimente wurden mit einem im Institut für Sicherheitsforschung installierten Röntgensystem (medizinischer Röntgenstrahler mit 125 kV Beschleunigungsspannung und 10 mA Strahlstrom, Digital-Röntgenbildaufnehmer mit 1024 x 1024 Pixeln) durchgeführt. Sie stellen einen ersten Meilenstein für den Einsatz der Röntgen-Computertomografie in der chemischen Verfahrenstechnik dar und werden in Zukunft für die Untersuchung von Modellreaktionen, für die Optimierung der Prozessführung in verschiedenen Reaktortypen sowie bei der Validierung von CFD-Codes für Strömungen in reaktiven Systemen genutzt.

Schnelle Elektronenstrahl-Röntgentomografie



Experiment mit bewegten Glaskugeln



Anordnung zur schnellen Elektronenstrahl-tomografie



Beispielbilder aus einer Schnittbildsequenz

Abb. 5: Schnelle Röntgentomografie mit elektromagnetisch abgelenktem Elektronenstrahl

Die oben diskutierten Tomografieverfahren sind in der Lage, periodisch veränderliche Strömungsprozesse oder zeitlich gemittelte Phasenverteilungen in Mehrphasenströmungen darzustellen. Vor allem bei der Gammatomografie ist eine integrative Strahlungsmessung über einige Sekunden Messzeit erforderlich, um eine ausreichende Zählstatistik für die Bildrekonstruktion zu erreichen. Eine schnelle Tomografie ist deshalb nur mit Röntgenstrahlung möglich. Für die Untersuchung hochtransienter Strömungsvorgänge wurde im Institut für Sicherheitsforschung ein schnelles Röntgen-Tomografieverfahren mit einer gescannten Elektronenstrahlquelle konzipiert. Bei diesem Verfahren wird ein Elektronenstrahl mittels elektromagnetischer Linsen auf ein Wolframtarget fokussiert und gleichzeitig durch Ablenkspulen mit hoher Frequenz periodisch aus seiner Ruhelage ausgelenkt. Der Elektronenstrahl erzeugt so auf dem Target einen wandernden Röntgen-Brennfleck. Gegenüber dem Target ist ein Röntgen-Detektorbogen angeordnet, der die aus dem Brennfleck emittierte Röntgenstrahlung synchron zur Ablenkung des Elektronenstrahls mit hoher Abtastrate aufzeichnet. Auf diese Weise können wieder radiografische Projektionen eines im Zentrum der Anordnung befindlichen Untersuchungsobjektes aus verschiedenen Beobachtungswinkeln erzeugt werden. Da es sich hierbei um Aufnahmen aus einem unvollständigen Winkelbereich handelt, werden diese Daten mit Hilfe spezieller Rekonstruktionsalgorithmen der so genannten Limited-Angle-Tomografie zu Schnittbildern verrechnet.

Mit der schnellen Elektronenstrahl-Röntgentomografie lassen sich Aufnahme-raten von mehr als 1000 Bildern pro Sekunde erreichen. Als Beispiel zeigt [Abb. 5](#) Ausschnitte aus einer Schnittbildsequenz, die an einem mit Glaskugeln gefüllten Phantom aufgenommen wurde. Die drei Glaskugeln von 4,5 mm Durchmesser befinden sich in einem zylindrischen Aluminiumgefäß (44 mm Durchmesser, 2 mm Wandstärke) und werden durch eine mit zwei Stahlstiften besetzte und mit 8 Umdrehungen pro Sekunde rotierende Scheibe in irreguläre Bewegung versetzt. Die gesamte Aufnahmesequenz umfasst 8000 Bilder innerhalb eines Zeitintervalls von 0,8 Sekunden. Für das Experiment wurden ein kommerzielles Elektronenstrahlschweißgerät sowie eine schnelle Röntgendetektorzeile mit 64 Einzeldetektoren eingesetzt. Mit diesem Grundlagenexperiment wurde die Machbarkeit einer Hochgeschwindigkeits-Tomografie für bewegte Feststoffpartikel demonstriert. Für den zukünftigen Einsatz des Verfahrens in der Strömungsdiagnostik wird nunmehr ein experimenteller Elektronenstrahl-Röntgentomograf aufgebaut. Einen besonderen Schwerpunkt bildet bei diesem Vorhaben die Entwicklung von Bildrekonstruktionsverfahren, die an das Aufnahmeverfahren angepasst sind.

Zusammenfassung

Die Forschungsarbeiten wurden in Zusammenarbeit mit folgenden Kooperationspartnern durchgeführt:

- ◆ Professur für Pumpen, Verdichter und Apparate (Inh. Prof. Dr. G. Will), Technische Universität Dresden
- ◆ Voith Turbo GmbH, Crailsheim
- ◆ Professur für Kernenergetik und Energiesysteme (Inh. Prof. Dr. G. Lohnert), Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Universität Stuttgart
- ◆ Framatome ANP GmbH, Erlangen

Computertomografische Messverfahren auf der Basis von Röntgen- und Gammastrahlung ermöglichen die Visualisierung und quantitative Vermessung von Mehrphasenströmungen in verfahrenstechnischen und thermohydraulischen Systemen. Durch das Institut für Sicherheitsforschung wurden mit Hilfe der Gammatomografie erfolgreich Untersuchungen an einer Axialpumpe sowie an einer hydrodynamischen Kupplung durchgeführt, bei denen periodisch veränderliche Gasgehalts- bzw. Fluidverteilungen innerhalb eines sonst messtechnisch kaum zugänglichen Maschinenvolumens sichtbar gemacht werden konnten. Für die Analyse von Phasenverteilungen in Chemiereaktoren wurde das Verfahren der Röntgen-Kegelstrahltomografie eingesetzt, mit dessen Hilfe die Evolution des Gasgehaltsfeldes in einem Rührkesselreaktor mit hoher räumlicher Auflösung und Genauigkeit des lokalen Gasgehalts gemessen werden konnte. Für die Untersuchung hochdynamischer Mehrphasenströmungen wurde darüber hinaus ein neuartiges schnelles Röntgen-Tomografieverfahren entwickelt, welches mit einem elektromagnetisch abgelenkten Elektronenstrahl arbeitet. Für zukünftige Anwendungen der Röntgen- und Gammatomografie werden die bestehenden Verfahren und Geräte weiterentwickelt. Aktuelle Aktivitäten der Forscher des Instituts für Sicherheitsforschung umfassen den Aufbau und Einsatz eines räumlich hochauflösenden Gammatomografen, die Anwendung der Gammatomografie zur Messung von Dampfgehaltsverteilungen in Brennelementbündeln sowie den Aufbau und die Erprobung eines ultraschnellen Röntgentomografen zur Untersuchung von Zweiphasenströmungen.



Abb. 6: Erprobung des neuen hochauflösenden Gammatomografens am Institut für Sicherheitsforschung

Standortentwicklung - Fortschreibung des Masterplanes

Peter Joehnk

Im Jahresbericht 2003 berichtete ich zu der Entwicklung des Forschungsstandortes Rossendorf und der dazu erforderlichen integrierten Gesamtplanung. Gemeinsam mit dem Büro HENN Architekten München/Berlin haben wir den Masterplan für den Forschungsstandort unter der Beteiligung unserer Kollegen vom Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA), dem weiteren Nutzer am Standort, entwickelt und auf den jetzt erreichten Stand November 2004 fortgeschrieben. In der Umsetzung des Masterplanes wurden im Jahr 2004 folgende Maßnahmen realisiert:

Gebäuderückbau

- ◆ Gasstationen 16a und 16b
- ◆ Gebäude 11 (Messraum des Institutes für Ionenstrahlphysik und Materialforschung)
- ◆ Gebäude 22 (Glasbläserei)
- ◆ Gebäude 38 (Büromaterialverkauf)
- ◆ Beginn des Abrisses der stillgelegten Esse des Heizkraftwerkes

Gebäudesanierung

Beim größten Gebäude des FZR (Gebäude 8a) haben wir mit den Maßnahmen zur Fassadensanierung mit Wärmedämmung begonnen, weil bei diesem Objekt die mittel- bis langfristig erzielbaren Kosteneinsparungen besonders deutlich sind. Die besonderen Anforderungen bei der Fassadensanierung waren die Integration der schon in den vergangenen Jahren erfolgten Teilsanierung der Fenster und die Erhaltung einer architektonisch überzeugenden Fassadengliederung nach Aufbringung der Wärmedämmung. Das dabei erzielte Ergebnis, auch in seiner zurückhaltenden Farbgebung, zeigt die Sorgfalt und Umsicht im Umgang mit der Altbausubstanz. Im Zuge der Fassadensanierung wurden die Forderungen des Brandschutzes auf Realisierung eines zweiten Fluchtweges ebenso umgesetzt wie die Forderungen der Arbeitsstättenordnung zur Schaffung eines behindertengerechten Gebäudezuganges. Dazu waren auch die Gebäudezugänge neu zu gestalten, die eine neue Anarbeitung im Außenbereich nach sich zogen.



Abb. 1: Außenfassade des Gebäudes 8a nach der Sanierung

Zur Realisierung des zwingend erforderlichen technischen Brandschutzes in diesem Gebäude wurden die notwendigen Planungsarbeiten ausgelöst, nachdem mit den Nutzern (3 Institute des FZR sowie ein Fachbereich des VKTA) intensive Diskussionen über die zukünftige Gebäudenutzung und -strukturierung geführt wurden. Die dabei gefundenen Konzepte ordnen nicht nur die Nutzer besser; durch die Verlagerung der Kontrollbereiche an die Flurenden wird auch die Flexibilität in der künftigen Gebäudenutzung deutlich verbessert. Zugleich wurden im Rahmen der Planung zusätzliche Raumkapazitäten erschlossen. Die Arbeiten zur Innensanierung im Vollbetrieb des Gebäudes werden sich bis mindestens Ende 2006 hinziehen und leider auch die Nutzer in ihrer Arbeit einschränken, die Maßnahmen sind allerdings unverzichtbar.

Beim zweitgrößten Gebäudekomplex des FZR (5/5b) wurde ebenfalls noch in 2004 mit der Fassadensanierung mit Wärmedämmung begonnen (s. Abb. 4). Die Arbeiten werden planmäßig im Sommer 2005 abgeschlossen.

Die befestigten Außenflächen (Straßen und Hof) um den Gebäudekomplex 120 mussten aufgrund von Forderungen für den stoßfreien Transport von Magnetspulen aus der Werkstatt in die Laborräume des Hochfeldlabors komplett erneuert werden.

In den kommenden Jahren werden auch die übrigen Gebäude des FZR nach Verfügbarkeit von Mitteln schrittweise saniert werden.

Neubau

Der sicherlich spektakulärste Neubau im FZR ist das Hochfeldlabor Dresden, die Arbeitsstätte des zum 1. Dezember 2004 neu gegründeten 6. Institutes. Der Bau wurde im Zeitraum von Mai 2003 (Grundsteinlegung) bis Oktober 2004 (Übergabe zur Instrumentierung) mit einem Volumen von 6,75 Mio € realisiert und stellt für die Nutzer 1150 m² Fläche zur Verfügung.





Abb. 2: Anlieferung des ca. 5 t schweren Magnetresonanztomographen für kleine Versuchstiere



Abb. 3: Anlieferung des Druckbehälters für den neuen Heißstrangversuch an der TOPFLOW-Versuchsanlage



Abb. 4: Das „verhüllte“ Gebäude 5

Durch Umbau ehemaliger Garagen (Geb. 120.3) konnte dem Hochfeldlabor Anfang 2004 eine Halle von etwa 500 m² zum Bau und Test der Magnetspulen zur Verfügung gestellt werden. Eine Teilfläche der Halle wird für den Quellenversuchsstand von ELBE genutzt.

Für die Aufstellung des 7-Tesla-Magnetresonanztomographen für kleine Versuchstiere war ein Anbau am Gebäude 92 (PET-Zentrum) erforderlich (Abb. 2). Der Aufbau des neuen Heißstrangversuches erforderte einen Anbau an das TOPFLOW-Gebäude 68 (Abb. 3).

Wenn wir den erreichten Zwischenstand in der Masterplanung bewerten, stellen wir fest, dass wir uns auf dem Weg befinden von der Standortsicherung zur Entwicklung eines Zukunftsstandortes. Wir betrachten alle Maßnahmen unter den Vorgaben der gesamtheitlichen strategischen Standortentwicklung und haben uns dazu auch in der betriebswirtschaftlichen Gesamtstruktur neu aufgestellt. Für die Jahre nach 2004 sind unter diesen Aspekten folgende Aufgaben abzuarbeiten:

Energie

- ◆ Defizite im Wärmeschutz beseitigen
- ◆ Strukturelle Voraussetzungen für wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen

Arbeitsstätten

- ◆ Defizite im Brandschutz beseitigen
- ◆ Nutzflächen optimieren
- ◆ Analyse von Bestandsnutzung und Abriss

Kommunikation

- ◆ Informations- und Materialflüsse optimieren und ggf. vernetzen
- ◆ Kommunikationsschwerpunkte lokalisieren

Infrastruktur

- ◆ Vermeidung eines Großteils der Fahrzeugeinfahrten ins Gelände durch Neudefinition der logistischen Schnittstellen
- ◆ Erschließungs- und Versorgungssysteme straffen
- ◆ Sicherheitseinrichtungen konzentrieren.

Zur Lösung dieser Aufgaben ist es erforderlich, den Standort an anderer Stelle neu an die B6 anzubinden, die Sicherungseinrichtungen in einem neuen Eingangsgebäude zu konzentrieren sowie die Warenanlieferung und einen Teil des Besucheraufkommens außerhalb des gesicherten Bereiches abzuwickeln. Die engen Spielräume der öffentlichen Haushalte geben uns das Schrittmaß für die kommenden Jahre vor. Jedoch zeigen die schon erreichten Erfolge bei der Standortentwicklung, dass es für die geplanten Maßnahmen keine Alternative gibt, will man die Zukunftsfähigkeit des Zentrums weiter sichern.

Einsparungen von Betriebskosten - Möglichkeiten und Grenzen

Wolfgang Matz

Jeder wird mit dem Problem der steigenden Preise für Energie und Dienstleistungen konfrontiert, sei es in den Medien oder ganz persönlich. Gleichzeitig ist auch bekannt, dass die öffentlichen Haushalte immer weniger Gestaltungsspielräume haben.

Mit dieser Situation muss auch das FZR als von Bund und Freistaat Sachsen gemeinsam finanzierte Einrichtung so umgehen, dass das Hauptziel, international konkurrenzfähige Forschung, nicht in Gefahr gerät. Deshalb ist vor allem die Suche nach Einsparpotentialen im laufenden Betrieb notwendig.

Seit April 2004 hat das FZR neue Verträge für das technische und infrastrukturelle Gebäudemanagement (TGM bzw. IGM) sowie die Bewachung. Alle drei Vertragsbereiche sind für den Gesamtstandort abgeschlossen und decken auch die Bedürfnisse des VKTA. Die Vertragsabwicklung liegt dabei in den Händen der Zentralabteilung Technischer Service.

Die neuen Verträge wurden im Ergebnis eines europäischen Ausschreibungsverfahrens geschlossen. Dabei wurde ein Konzept des vereinheitlichten Standortmanagements verfolgt. Entsprechend wurden fast alle Leistungen der Wartung, Instandhaltung und sicherheitstechnischen Überprüfung in der Ausschreibung zusammengefasst und dem neuen Dienstleister übertragen. Gleichzeitig wurde im Zuge der Einsparungsbemühungen auf gewisse Leistungen wie Tischlerei und Metallagerbetreuung verzichtet bzw. Wartungsintervalle wurden, soweit es gesetzliche Vorschriften gestatten, vergrößert.

Die erzielten Preise sind mit den vorherigen Kosten des TGM-Dienstleisters nicht direkt vergleichbar, da das Leistungspaket signifikant verändert wurde. Mit der neu unter Vertrag genommenen Firma Lufthansa Gebäudemanagement erreicht das FZR im TGM gegenüber dem vorherigen Vertrag rund 30 % Kostenreduktion. Die Kosten für IGM (Straßenreinigung, Winterdienst, Grünanlagen, ...) sind dagegen leicht angestiegen, da der Personalanteil hier größer ist. Die Bewachung wird weiterhin vom Wachdienst Rheinland-Westfalen durchgeführt, wobei der neue Vertragspreis etwa 6 % unter dem bisherigen Preis liegt.

Der größte Kostenblock im Budget der Zentralabteilung Technischer Service ist die Energie. Bei Elektronenergie ist ein stetiges Wachstum der bezogenen Arbeit festzustellen (Abb. 1, oben). Dies ist der verbesserten Ausstattung mit Geräten, aber vor allem den neuen Anlagen ELBE, TOPFLOW und Hochfeldlabor geschuldet. Da dies Aufwendungen im Rahmen der Verbesserung der wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit des FZR sind, können größere Einsparungen kaum erzielt werden.

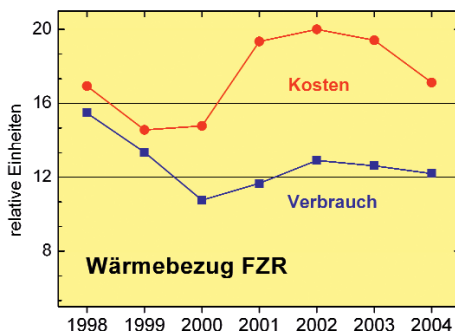
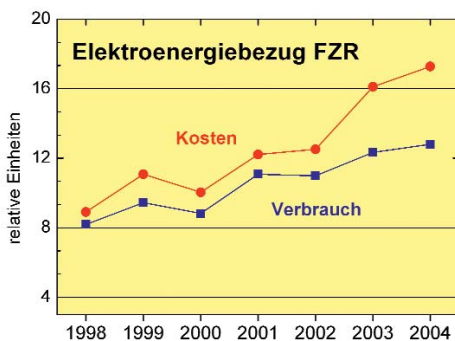


Abb. 1: Entwicklung von Verbrauch bzw. Kosten des Energiebezuges des Forschungszentrums



Die Energiesparbemühungen konzentrieren sich deshalb auf die Wärme. Die Entwicklung von Verbrauch und Kosten bei Wärme sind in [Abb. 1 unten](#) dargestellt. Nach langwierigen Verhandlungen mit dem Versorger ist es dem FZR gelungen, einige Verbesserungen im Liefervertrag für die Wärme durchzusetzen. Durch die Reduktion im Arbeitspreis und Verringerung der bestellten Leistung wurden 2004 etwa 130 T€ für FZR und VKTA zusammengenommen eingespart.

Weitere Einsparungen sind vor allem durch Wärmedämmungsmaßnahmen erzielbar. Dies ist auch durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) gefordert, wobei das Ziel einer Umsetzung bis Ende 2006 sehr schwer realisierbar ist. Das FZR hat 2003 die Werkstatthalle 5h der Zentralabteilung Forschungstechnik komplex saniert und dabei auch die Wärmedämmung realisiert. Bei einer Halle mit großer Glasfront sind die Effekte natürlich besonders augenfällig ([Abb. 2](#)). Die Ergebnisse der Investition sieht man in diesem Bereich erst ein Jahr später deutlich. Im Jahresmittel ist der Wärmeverbrauch der Halle 5h um 70 % gefallen.

Andere Maßnahmen sind die Ende 2004 abgeschlossene Fassadensanierung und -dämmung des Gebäudes 8a und die bis Sommer 2005 durchzuführende Sanierung der Außenhülle der Gebäude 5 und 5b. Die Gebäude 8a und 5/5b sind die beiden größten nicht sanierten Gebäude des FZR, so dass der Effekt der Wärmeeinsparung hier in der Auswertung des Jahres 2005 schon ablesbar sein sollte. Im Jahre 2004 wurde durch den Wärmeversorger im Ergebnis der oben genannten Vertragsanpassung ein Drittel des Warmwassernetzes besser isoliert, so dass die Verluste auch hier spürbar geringer wurden.

Betriebskosteneinsparungen sind insgesamt ein ständig zu bearbeitendes Thema im Spannungsfeld von begrenzten Budgets, Forderung nach Sicherstellung der Versorgung und Investitionsaufwand.

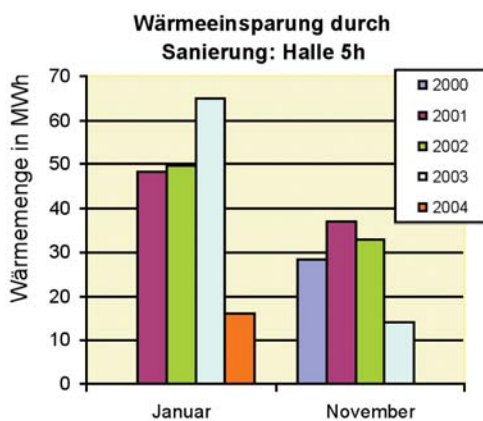


Abb. 2: Werkstatthalle der Zentralabteilung Forschungstechnik vor und nach der Sanierung. Das Diagramm zeigt den Wärmeverbrauch in kalten Monaten über mehrere Jahre. Der Verbrauch des Gebäudes ist nach der Sanierung um 70 % gesunken.

EU-Projekte vorgestellt

Übersicht der bewilligten Projekte im 6. Forschungsrahmenprogramm der EU

Infrastrukturmaßnahmen

- ◆ **CARE** - *Coordinated Accelerator Research in Europe*: Förderung der Beschleunigerforschung in Europa
- ◆ **HadronPhysics** - *Study of Strongly Interacting Matter*: Forschungen zur starken Kraft sowie zu frühen Entwicklungsphasen des Alls
- ◆ **IA-SFS** - *Integrating Activity on Synchrotron and Free Electron Laser Science*: Förderung der Nutzung aller führenden Synchrotron-Anlagen und Freie-Elektronen-Laser
- ◆ **EuroMagNET** - *A Coordinated Approach to Access, Experimental Development and Scientific Exploitation of European Large Infrastructures for High Magnetic Fields*: Förderung der Nutzung der europäischen Hochfeldlabore sowie gemeinsamer Forschungsaktivitäten
- ◆ **EUROFEL** - *European FEL Design Study*: Entwicklung von Freie-Elektronen-Lasern der nächsten Generation an 16 europäischen Instituten
- ◆ **EURONS** - *EUROpean Nuclear Structure Research Integrated Infrastructure Initiative*: Integrierte Infrastruktur-Initiative der europäischen Kernforscher aus 21 Ländern

Förderung der Mobilität

- ◆ **NANOMULTI** - *Nanostructured Nonmagnetic and Magnetic Multilayers*: Herstellung dünnster Schichten mit besonderen magnetischen Eigenschaften
- ◆ **POLYION** - *Polymer Surface Modification by Ion Implantation*: Bioverträgliche Oberflächen für die Biomedizin
- ◆ **POL-RAD-PHARM** - *Chemical Studies for Design and Production of New Radio-pharmaceuticals*: Radiopharmazeutisches Trainingsprogramm für Nachwuchswissenschaftler eines Warschauer Institutes

Heute stellen Zuwendungsgeber verstärkt die Forderung, die Grundfinanzierung der Forschungsinstitute von Bund und Ländern mit zusätzlichen Mitteln von dritter Seite zu flankieren. Über Drittmittel, also Fördermittel für aktuelle Forschungsprojekte, zu verfügen, ist zugleich ein ureigenes Anliegen der Wissenschaftler. Etwa ein Drittel der FZR-Wissenschaftler wurde 2004 über solche Drittmittelprojekte finanziert. Fördermittel der Europäischen Union spielen dabei eine immer bedeutendere Rolle. So war das FZR in den Jahren 2003 und 2004 sehr erfolgreich bei der Einwerbung von Geldern im so genannten 6. Forschungsrahmenprogramm der EU. Dieses Programm verfügt über ein Gesamtbudget von 17,85 Mrd. Euro, betrifft den Zeitraum von 2002 bis 2006 und gründet sich auf thematische Prioritäten sowie auf strukturelle Maßnahmen. Während in Integrierten Projekten durch die Bündelung von Projekten die Entwicklung konkreter Produkte und Verfahren im Vordergrund steht, sollen Exzellenznetze die europäische Spitzenforschung durch langfristige Vernetzung fördern bzw. Infrastrukturmaßnahmen den Zugang zu vorhandenen oder die Entwicklung größerer Experimentieranlagen unterstützen.

Im Rahmen der Infrastrukturmaßnahmen werden die Strahlungsquelle ELBE, der Freie-Elektronen-Laser (FEL) an ELBE sowie das Hochfeldlabor Dresden in sechs Projekten gefördert. Im Projekt „CARE“ sollen Beschleunigerforschungen an ELBE auf dem Gebiet der Teilchenphysik durchgeführt werden. Die Zentralabteilung Strahlungsquelle ELBE bringt darüber hinaus im Projekt „EUROFEL“ sowohl vielfältige Erfahrungen beim Design einer „Elektronenkanone“ (diese erzeugt die Elektronen und beschleunigt sie vor, damit sie anschließend im Hauptbeschleuniger auf beinahe Lichtgeschwindigkeit endbeschleunigt werden können) als auch beim Aufbau und Betrieb eines FEL ein. Die Nutzung des FEL durch Wissenschaftler aus der EU und assoziierten Ländern wird durch das Projekt „IA-SFS“ gefördert, in dem alle führenden Synchrotron-Anlagen und Freie-Elektronen-Laser in Europa zusammen geschlossen sind.

Das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung beteiligt sich zudem an dem Projekt „EuroMagNET“, das einen wichtigen Schritt darstellt zur zukünftigen Etablierung des Hochfeldlabors als einem Nutzerlabor von internationalem Rang. Im Teilprojekt des FZR sollen infrarotspektroskopische Methoden in gepulsten Magnetfeldern weiterentwickelt werden, insbesondere im Hinblick auf den FEL.

Weitere Fördersummen für Infrastrukturmaßnahmen stehen dem Institut für Kern- und Hadronenphysik in den Projekten „EURONS“ und „HadronPhysics“ zur Verfügung. In ersterem untersuchen europäische Kernstruktur-Forscher aus 21 Ländern exotische Zustände von instabilen Kernen. Zu diesem Zweck soll

Exzellenz-Netzwerke

◆ **SARNET** - *Sustainable Integration of European Research on Severe Accident Phenomenology and Management*: Netzwerk von rund 50 europäischen Organisationen mit dem Forschungsschwerpunkt Reaktorsicherheit

◆ **ACTINET-6** - *Network for Actinide Sciences*: Netzwerk der radiochemischen Einrichtungen in Europa, die sich mit Forschungen zu radioaktiven Schwermetallen (Actiniden) befassen

Integrierte Projekte

◆ **FUNMIG** - *Fundamental Process of Radionuclide Migration*: Forschungen zum Transport von radioaktiven Schwermetallen in der Geosphäre

◆ **NF-Pro** - *Understanding and physical and numerical modeling of the key processes in the near-field, and their coupling, for different host rocks and repository strategies*: Forschungen zu hoch-angereicherten Reaktorabfällen im so genannten Nahfeld

◆ **PERFECT** - *Prediction of Irradiation Damage Effects on Reactor Components*: Forschungen auf dem Gebiet der Strahlungsschädigung von Materialien

◆ **NURESIM** - *European Platform for Nuclear Reactor Simulations*: Entwicklung von europäischer Standardsoftware für die Simulation von Abläufen in Kernreaktoren

◆ **BioCare** - *Molecular Imaging for Biologically Optimized Cancer Therapy*: Entwicklung neuer Radiosonden und Einsatz modernster Geräte zur Krebsdiagnostik

die Strahlungsquelle ELBE experimentell mit Hochenergie-Röntgenstrahlung aufgerüstet werden. Die Netzwerk-Aktivitäten für „HadronPhysics“ sollen ebenfalls die experimentelle und theoretische Zusammenarbeit für die vorhandene Infrastruktur und geplante Experimente an zukünftigen Anlagen stärken. Insgesamt fließen mehr als 1,2 Mio. Euro in die Weiterentwicklung und Nutzung der aufgeführten Großgeräte im FZR.

Ein anderes Förderprinzip liegt den Marie-Curie-Mobilitätsmaßnahmen zugrunde, denn hier werden gezielt und individuell Stipendien für (Nachwuchs-)Wissenschaftler ausgeschüttet. Das Programm zielt darauf ab, Wissenschaftler aus allen Regionen der Welt im europäischen Forschungssystem aus- bzw. weiterzubilden und ihre Mobilität zu erhöhen. Das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung wurde bereits im 5. Rahmenprogramm als Marie-Curie-Ausbildungszentrum gefördert, so dass die Weiterführung des Trainings mit Hilfe zweier Stipendien in den Projekten „POLYION“ und „NANOMULTI“ folgerichtig erscheint. Die Laufzeit beträgt ein bzw. zwei Jahr(e). Dr. Thomas William Henry Oates aus Australien untersucht und verändert im Projekt „POLYION“ die Oberfläche von Polymeren mit Hilfe der Plasma-Immersionen-Ionenimplantation. Dies geschieht im Hinblick auf biomedizinische Anwendungen und die Verbesserung der Verträglichkeit von Prothesen. Im Rahmen von „NANOMULTI“ wird sich Prof. Bhupendra Nath Dev aus Indien mit dünnen Mehrschichtsystemen beschäftigen. Eine dünne Schicht soll dabei mit Ionenstrahltechniken in ihren magnetischen Eigenschaften so modifiziert werden, dass damit periodische Lagen von magnetischen Nanopartikeln, jeweils getrennt durch nicht-magnetische Matrices, produziert werden können. Im Gesamtbudget des 6. Rahmenprogramms sind 1,35 Mrd. Euro enthalten für das EURATOM-Rahmenprogramm, das die Themen Kernspaltung und -fusion fördert. Die Institute für Sicherheitsforschung und für Radiochemie befinden sich hier gleich mit sechs Projekten in der Förderung, was ein Fördervolumen von derzeit mehr als 1 Mio. Euro bedeutet.

Die drei bewilligten EURATOM-Projekte im Institut für Sicherheitsforschung dienen der Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken, indem im Projekt „PERFECT“ die Versprödung von Reaktorstählen in den neu ausgestatteten Heißen Zellen des Instituts untersucht wird und im Projekt „SARNET“ Simulationen für ein Kernschmelze-Szenario entwickelt werden (s. a. den Beitrag „Sichere Kernkraftwerke - Voraussagen für Kernschmelze-Szenarien, S. 25 - 26). Das Projekt „NURESIM“ hat zum Ziel, eine gemeinsame europäische Standardsoftware zu entwickeln und zu implementieren, mit der alle Abläufe in Kernkraftwerken sicher modelliert und vorhergesagt werden können. Die „NURESIM“-Plattform soll alle jetzigen und zukünftigen Anforderungen von Industrie, Atomsicherheitsbehörden, Forschungseinrichtungen, Regierungen und privaten Einrichtungen abdecken. Die Bewilligung weiterer EU-Projekte, von denen „COVERS“ und „EUROTRANS“ hier erwähnt werden sollen, ist in Kürze zu erwarten, so dass das Institut die äußerst erfolgreiche Teilnahme am 5. Rahmenprogramm der EU fortzusetzen imstande ist.

Durch die Mitarbeit in drei Projekten kann das Institut für Radiochemie die seit Jahren intensiv betriebene Forschung an Actiniden im europäischen Kontext stärken und die vorhandene Expertise auf diesem Gebiet weitergeben. Actiniden sind Radionuklide wie etwa Uran mit einer Ordnungszahl zwischen 89 und 103, die in der Umwelt natürlich vorkommen bzw. die durch den Menschen, wie im Falle von Plutonium, in die Umwelt eingebracht werden. Im Exzellenznetzwerk „ACTINET-6“ stellen die wenigen Forschungseinrichtungen in Europa, die sich mit dem Verhalten von Actiniden in der Umwelt beschäftigen, ihre Experimentiereinrichtungen und ihr Know-how für die Netzpartner zur Verfügung. Dies betrifft auch die Rossendorf Beamline in Grenoble, welche für das europäische Netzwerk Strahlzeit reservieren wird. Ziel von „ACTINET-6“ ist es, die Actiniden-Forschung auch für Nachwuchsforscher attraktiver zu machen. Während im Integrierten Projekt „FUNMIG“ die grundlegenden Prozesse des Transports von Actiniden in der Geosphäre auf molekularer Ebene im Zentrum des Interesses stehen, soll im zweiten Integrierten Projekt „NF-PRO“ das Verständnis von Schlüsselprozessen, die für das so genannte Nahfeld von Atom- und Mülllagern angenommen werden, aufgrund mathematischer Modelle und experimenteller Untersuchungen verbessert werden.

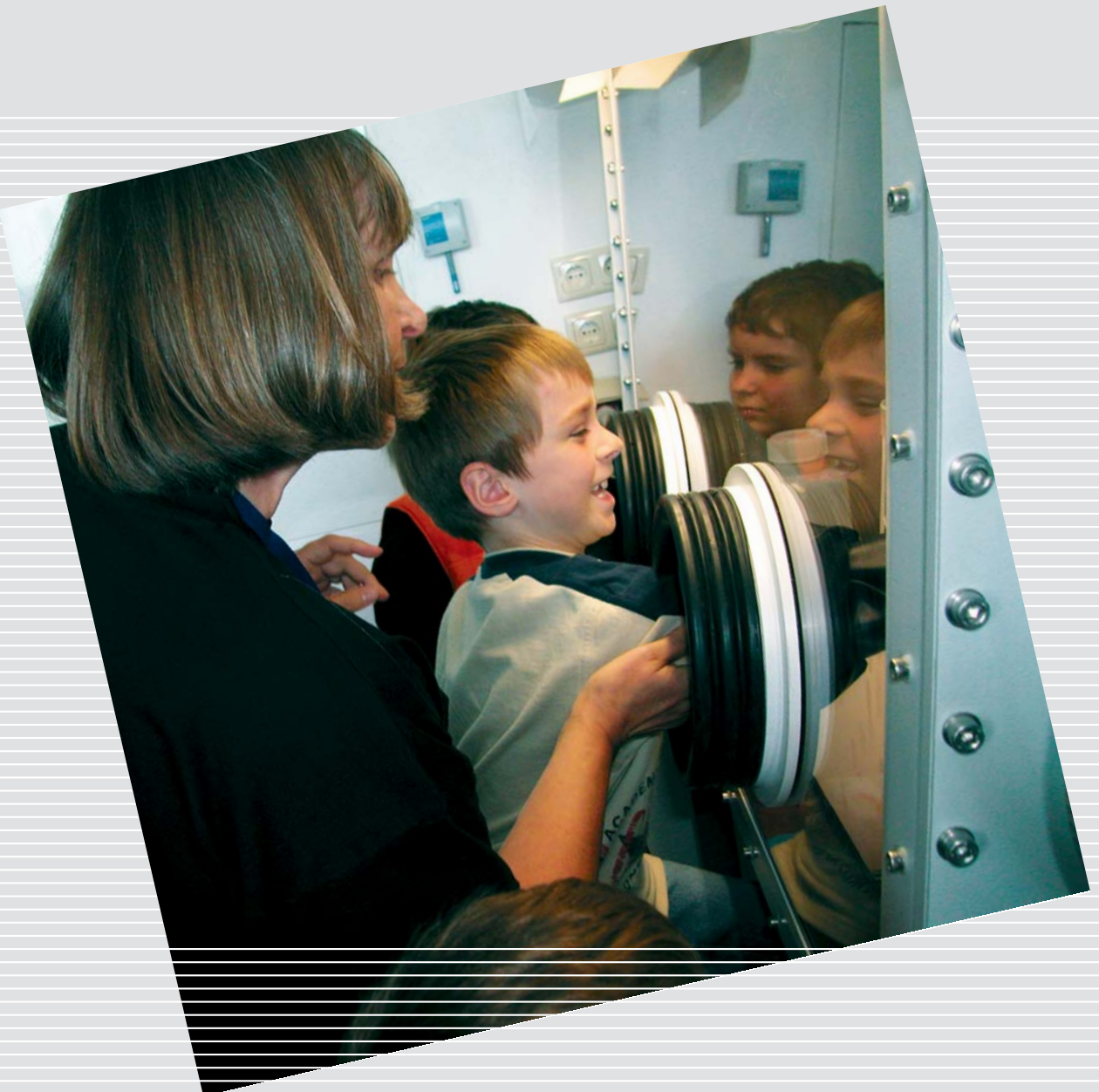
An dem Integrierten Projekt „BioCare“ sind das Institut für Bioanorganische und Radiopharmazeutische Chemie sowie das Institut für Kern- und Hadronenphysik maßgeblich beteiligt. Radiochemische und radiopharmazeutische Arbeiten befassen sich mit der radioaktiven Markierung von so genannten Aptameren (Nukleinsäuren, die hochspezifisch bestimmte Moleküle erkennen können) und deren Testung für den Einsatz in der onkologischen PET-Diagnostik. Eine weitere Arbeitsgruppe befasst sich mit dem Therapiemonitoring mittels PET. Hier wird der Frage nachgegangen, welche PET-Tracer oder -Tracerkombinationen therapieinduzierte Veränderungen der Tumorbiologie bestmöglich abbilden und für eine Therapieoptimierung genutzt werden können. Das Institut für Kern- und Hadronenphysik ist an der Entwicklung eines hochmodernen PET-CT-Tomographen beteiligt.

Durch die Teilnahme an den aufgeführten EU-Projekten sind die sechs Institute des FZR fest in der europäischen Forschungslandschaft verankert. Für das jüngste Institut, das Hochfeld-Magnetlabor Dresden, ist der Start des Projekts „DeNUF - Design Study for Next Generation Pulsed Magnet User Facilities“ mit einer Fördersumme von reichlichen 640.000 Euro für den 1. April 2005 in Aussicht gestellt. Auch für das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung startet die Mitarbeit in weiteren vier EU-Projekten voraussichtlich noch im Frühjahr 2005.

Naturwissenschaftliche Forschungen finden heute mehr denn je im internationalen Verbund und Austausch statt, was zugleich sinnvolle Arbeitsteilungen über die nationalen Grenzen hinweg ermöglicht, Infrastrukturen für alle verfügbar macht und eine Garantie für die Qualität der eigenen Forschungsarbeit darstellt. Die Gesamtfördersumme für das Forschungszentrum beläuft sich im 6. Rahmenprogramm bisher auf 3,1 Mio. Euro.

Forschung

für Mensch und Umwelt



Ereignisse & Bildung »

Ereignisse

Personalien | Auszeichnungen | FZR-Preise | Termine

Personalien



Prof. Joachim Wosnitza

Direktor des neuen Instituts Hochfeld-Magnetlabor Dresden

Prof. Dr. Joachim Wosnitza steht seit dem 1. Dezember 2004 dem neu gegründeten Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden als Direktor vor. Seine wissenschaftliche Laufbahn begann er an der RWTH Aachen, die Doktorarbeit auf dem Gebiet der spezifischen Wärme magnetischer Systeme in der Nähe von Phasenübergängen beendete er an der Universität Karlsruhe. Dort erfolgte 1995 auch die Habilitation, die sich mit den elektronischen Eigenschaften organischer Metalle und Supraleiter beschäftigte. Bereits im Juli 1992 begann er damit, eine eigene Arbeitsgruppe im Rahmen von DFG-Projekten aufzubauen. 2001 kam er als C3-Professor für Tieftemperaturphysik an die TU Dresden, wo er seit 2003 auch Studiendekan der Fachrichtung Physik ist. Seine Mitarbeit in dem an der TU Dresden angesiedelten Sonderforschungsbereich 463 „Seltenerd-Übergangsmetall-Verbindungen: Struktur, Magnetismus und Transport“ wird er auch als neuer FZR-Institutsdirektor weiterführen.

Herr Prof. Wosnitza war Mitglied der „Advisory Group on the 100 T EuroLab Survey“ der European Science Foundation und ist Fachgutachter für die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die National Science Foundation in den USA, die Israel Science Foundation und das Australian Research Council. Und schließlich ist er seit 2004 gewählter Fachkollegiat im Fachkollegium „Physik der kondensierten Materie“ der DFG.

Prof. Dekorsy

Prof. Dr. Thomas Dekorsy nahm im Berichtszeitraum den Ruf auf eine C3-Professur für Experimentalphysik (Moderne Optik und Photonik) an der Universität Konstanz an. Er war von Juli 2000 bis Dezember 2004 Leiter der Abteilung Halbleiterspektroskopie im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung des FZR.

Prof. Rindelhardt

Ende 2003 wurde Prof. Dr. Udo Rindelhardt vom Institut für Sicherheitsforschung zum C3-Professor an der TU Chemnitz bestellt. Die Bestellung bezieht sich auf das Gebiet Theorie und Technik regenerativer Energien.



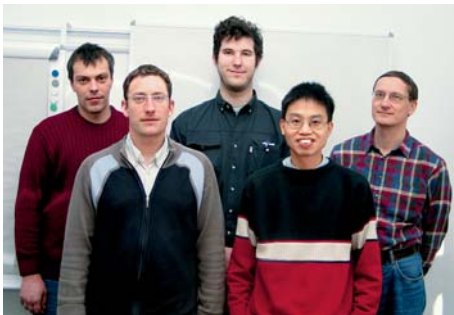
Prof. Udo Rindelhardt

Neue Nachwuchsgruppen

Mit der Einstellung von Herrn Dr. Jürgen Faßbender zum 1. März 2004 wurde im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung die Nachwuchsgruppe „Magnetische Schichten und Nanopartikel“ gegründet. Die Gruppe besteht derzeit aus drei (Nachwuchs-) Wissenschaftlern. Die Forschungen konzentrieren



Dr. Jürgen Faßbender, Dr. Kay Potzger, Macej Oskar Liedke (v.l.n.r.)



Nachwuchsgruppe CFD-Entwicklung:
Dr. Hristo Vesselin Hristov, Dr. Thomas Höhne, Roman Vaibar, Dr. Jun-Mei Shi, Dr. Dirk Lucas (v.l.n.r.); nicht abgebildet ist Dr. Alexander Grahn.

Auszeichnungen



Prof. Stefan Frauendorf



Lars Röntzsch

sich auf die gezielte Kontrolle und Modifikation von magnetischen Eigenschaften mit Hilfe von Ionenstrahltechniken. Die Anwendungen liegen im Bereich der Datenspeichertechnologie und Sensorik. Neben den Laboraufbauten im Bereich Magnetooptik, Magnetkraftmikroskopie und Molekularstrahlepitaxie wurde vor allem die Grundlage für enge institutsinterne Kooperationen und darüber hinaus insbesondere mit dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung in Dresden gelegt. Erste gemeinsame Publikationen und Förderanträge liegen bereits vor.

Im Dezember 2004 startete zudem unter Leitung von Herrn Dr. Dirk Lucas die Nachwuchsgruppe „CFD-Entwicklung“ im Institut für Sicherheitsforschung. „Computational Fluid Dynamics“, abgekürzt CFD, sind Computersimulationen für Strömungen in komplizierten Geometrien. Sie sind heute Stand der Technik, wenn es zum Beispiel um die Aerodynamik von Verkehrsmitteln geht. Bei Gemischen aus einem Gas und einer Flüssigkeit stoßen CFD-Codes jedoch noch an ihre Grenzen. Herr Lucas und seine 5 Mitarbeiter konzentrieren sich bei der Weiterentwicklung der CFD-Codes auf solche Zweiphasenströmungen sowie auf Vermischungspänomene von einphasigen Strömungen. Solcherart ertüchtigte CFD-Codes helfen dabei, die Sicherheit von Kernkraftwerken und Chemiereaktoren zu erhöhen.

American Physical Society

Prof. Stefan Frauendorf vom Institut für Kern- und Hadronenphysik des Forschungszentrums Rossendorf ist im Mai 2004 zum „Fellow of the American Physical Society“ gewählt worden. In der Urkunde, die ihm beim American Physical Society Meeting in Denver überreicht wurde, wird diese hohe Auszeichnung wie folgt begründet: „For his seminal contributions to the physics of rotating nuclei via meanfield symmetries.“

E-MRS Graduate Student Award

Lars Röntzsch, Doktorand im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung, wurde beim „E-MRS Spring Meeting 2004“ (E-MRS: European Materials Research Society) in Strasbourg mit dem „E-MRS Graduate Student Award“ ausgezeichnet. Die auf der Tagung vorgestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen eines europäischen Projekts zur Entwicklung neuartiger nichtflüchtiger Speicher, an dem auch Firmen wie ST Microelectronics (Mailand) und ZMD beteiligt waren.

FZR-Preise 2004

Doktorandenpreis

Dr. Katia Parodi - „On the feasibility of dose quantification with in-beam PET data in radiotherapy with ^{12}C and proton beams“

Frau Dr. Parodi behandelte in ihrer Arbeit ein Thema der anwendungsorientierten Grundlagenforschung, das im Rahmen des Deutschen Schwerionen-Therapie-Projektes in enger interdisziplinärer Kooperation mit Medizinern,



Dr. Katia Parodi

Beschleuniger-Experten, Medizinphysikern und Kernphysikern bearbeitet wurde. Dabei entwickelte sie einen interaktiven Algorithmus für die klinische Nutzung für das vom FZR entwickelte Verfahren der Therapiekontrolle durch Positronen-Emissions-Tomographie (in-beam PET) zur Quantifizierung der applizierten Dosisverteilungen für die Kohlenstoff-Ionentherapie. Ferner prüfte sie die Relevanz von in-beam PET für die in der Klinik häufiger angewandte Protonentherapie. Frau Dr. Parodi schloss ihr Promotionsverfahren im November 2004 mit „summa cum laude“ ab und arbeitet mittlerweile als Postdoc am Massachusetts General Hospital der Harvard Universität in Boston, USA.

Technologiepreis

Dr. Paul Bühler, Uwe Just, Jens Langner - „List-mode basierte Verfahren zur Korrektur von Patientenbewegungen in der PET“



Dr. Paul Bühler, Uwe Just, Jens Langner (v.r.n.l.)

Ziel dieser Entwicklung ist die Verbesserung der diagnostischen Aussagekraft von PET-Bildern. Die PET (Positronen-Emissions-Tomographie) verlangt relativ lange Messzeiten. Bewegungen des Patienten während der Untersuchung verschlechtern die Bildqualität. Die Arbeitsgruppe entwickelte eine ereignisbasierte Methode zur Korrektur von Kopfbewegungen bei neurologischen PET-Untersuchungen. Dabei galt es nicht nur, die entsprechenden Messvorschriften und Algorithmen für die eigentliche Korrektur zu entwickeln, sondern auch das so genannte List-Mode-Verfahren beim am PET-Zentrum installierten Scanner ECAT EXACT HR+ von Siemens/CTI für die routinemäßige Nutzung einsetzbar zu machen. Beim List-Mode-Verfahren werden die Messgrößen jedes einzelnen detektierten Ereignisses gespeichert, was bei dem üblicherweise eingesetzten Histogramming-Mode nicht der Fall ist. Dadurch fallen sehr große Datenmengen an, für deren Verarbeitung die entsprechenden Werkzeuge entwickelt werden mussten.

Forschungspreis

Dr. Jiaming Sun - „für seine Arbeiten zu Silizium-basierten Leuchtdioden“



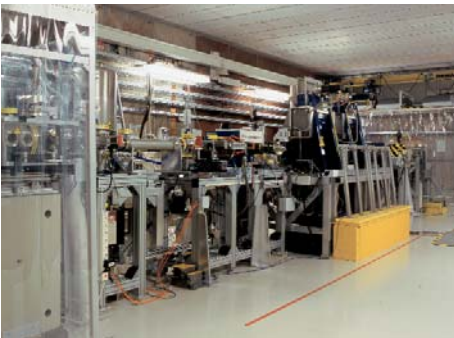
Dr. Jiaming Sun

Die Realisierung von elektrisch getriebenen Silizium-basierten Lichtemittern ist eine der großen Herausforderungen der angewandten Halbleiterforschung. Herr Dr. Sun trug in den drei Jahren seiner Mitarbeit im FZR wesentlich zur Erarbeitung des Konzeptes, zur technologischen Realisierung sowie zur Charakterisierung und theoretischen Modellierung von Silizium-lichtemittierenden Dioden bei, die mit Hilfe der Ionenimplantation hergestellt werden. Im Berichtszeitraum wurde auf Basis der bisherigen Resultate ein komplexeres Bauelement hergestellt, in dem die Silizium-Leuchtdiode in einen Mikroresonator integriert wurde, um die Auskoppelleffizienz und die Abstrahlungscharakteristik zu verbessern. Außerdem hat Herr Dr. Sun einen neuartigen UV-Emitter vorgeschlagen und realisiert, der auf Gd-Ionen beruht, die in das Oxid einer Silizium-Struktur implantiert wurden. Herr Sun hat diese Arbeiten in enger Zusammenarbeit mit Kollegen vom Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung erzielt und in den besten Zeitschriften publiziert.

Termine



Die erfolgreichen OncoRay-Antragsteller nach der Pressekonferenz im Uniklinikum (2.v.l. Prof. Johannsen)



Der Freie-Elektronen-Laser an der ELBE



Dr. Wolfgang Skorupa vom Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung und Dr. Thoralf Gebel (li.), Geschäftsführer der nanoparc GmbH

Zentrum für Innovationskompetenz für Medizinische Strahlenforschung in der Onkologie (OncoRay)

Im **März 2004** erhielt der gemeinsame Projektantrag der Technischen Universität Dresden, des Universitätsklinikums und des FZR die Förderzusage des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zentren für Innovationskompetenz. Exzellenz schaffen - Talente sichern“. Das ZIK OncoRay verfolgt 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. Im FZR sind die Institute für Kern- und Hadronenphysik sowie für Bioorganische und Radiopharmazeutische Chemie an dem neuen Dresdener Zentrum beteiligt.

Der Freie-Elektronen-Laser geht in Betrieb

Am **7. Mai 2004** um 19:39 Uhr zündete der Freie-Elektronen-Laser (FEL) an der Strahlungsquelle ELBE. Die Strahleigenschaften beim „First Lasing“ entsprachen mit einer Wellenlänge von 19,8 Mikrometern genau den vorher angestellten Berechnungen. Bereits vor diesem Termin lag die Förderzusage der Europäischen Union für die Anlage vor. Damit soll der FEL zum Nutzerlabor für Wissenschaftler aus ganz Europa avancieren. In dem EU-Förderprogramm sind alle führenden Synchrotronanlagen und Freie-Elektronen-Laser in Europa bedacht. Im FZR sollen Forschungen mit der Strahlung im Infrarot auf den Gebieten Biophysik, Chemie und Halbleiterphysik gefördert werden. Zunächst wird der FEL v.a. für Forschungsarbeiten der Institute Ionenstrahlphysik und Materialforschung sowie Kern- und Hadronenphysik genutzt. Sechs optische Nutzerlabors im ELBE-Gebäude werden nach und nach in Betrieb genommen.

Einweihung der Anlage für die Blitzlampen-Temperung

Am **21. Oktober 2004** weihte das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung gemeinsam mit den Kooperationspartnern, der nanoparc GmbH und der FHR Anlagenbau GmbH, im Rahmen eines Workshops zum Thema „Flash-Lamp Annealing“ die neu entwickelte Anlage für die Blitzlampen-Temperung ein. Es handelt sich um die erste kommerziell nutzbare Anlage dieses Typs in Europa. Sie wurde raumsparend entwickelt und ermöglicht Pulszeiten bis hinab zu 0,8 Millisekunden sowie - in Abhängigkeit vom Material - Temperaturen bis 2000 °C. Da weltweit ein starker Entwicklungsbedarf in der Halbleiterindustrie auf dem Gebiet der ultrakurzen Blitzlampen-Temperung existiert, wird v.a. Kundschaft aus diesem Bereich erwartet.

Verlängerung des Sonderforschungsbereichs 609

Der SFB-Bewilligungsausschuß der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) hat in seiner Sitzung am **16. und 17. November 2004** den Sonderforschungsbereich 609 „Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie“ um weitere 4 Jahre verlängert. Die neue



Dr. Gerbeth

Fördersumme von mehr als 6 Millionen Euro fließt an die Technische Universität Dresden, das Forschungszentrum Rossendorf, die TU Bergakademie Freiberg, das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofforschung, das Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme sowie das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik. Das FZR ist dabei der größte außeruniversitäre Partner im Sonderforschungsbereich und stellt mit Herrn Dr. Gerbeth aus dem Institut für Sicherheitsforschung den stellvertretenden Sprecher.

Der Sonderforschungsbereich zählt zu den größten in Deutschland und bündelt das in der Region vorhandene Know-how zur Strömungsbeeinflussung durch Magnetfelder auf vorbildliche Weise. Grundlage für die weitere Förderung durch die DFG war das Ergebnis einer Begutachtung durch eine Expertenkommission. Diese bescheinigte dem 2002 installierten Sonderforschungsbereich exzellente Forschungsergebnisse und ein hervorragend ausgearbeitetes Forschungsprogramm bis zum Jahr 2008.



Vertragsunterzeichnung im FZR. Prof. Johannsen, Prof. Yoshizuka, Dr. Joehnk (v.l.n.r.)

Kooperationen

Am **26. April 2004** wurde in Shanghai ein Kooperationsvertrag mit dem Shanghai-Institut für Angewandte Physik (SINAP) der Chinesischen Akademie der Wissenschaften unterzeichnet.

Am **15. September 2004** folgte eine Vertragsunterzeichnung im FZR mit der japanischen Universität Kitakyushu, deren Department of Chemical Processes and Environments seit einigen Jahren erfolgreich mit dem FZR-Institut für Bioorganische und Radiopharmazeutische Chemie kooperiert.

Am **17. Dezember 2004** fand an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) ein feierlicher Akt statt, bei dem der Vorstand des FZR eine Rahmenvereinbarung mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden über die wissenschaftliche Zusammenarbeit unterzeichnete. Vereinbart wurden u.a. die gemeinsame Nutzung von Einrichtungen und Gegenständen sowie die Wahrnehmung von Aufgaben in der Lehre.



Staatsminister Rößler, Dr. Schmidt und Dr. Bischoff vom Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung (v.r.n.l.)

Besucher

Am **23. Juli 2004** besuchten der Staatssekretär im sächsischen Wissenschaftsministerium, Dr. Frank Schmidt, und der Staatssekretär im sächsischen Finanzministerium, Dr. Wolfgang Voß, in Begleitung von weiteren Mitarbeitern der beiden Häuser das Forschungszentrum Rossendorf.

Im Berichtszeitraum erfolgte am **30. August** zudem ein Besuch des Staatsministers für Wissenschaft und Kunst, Dr. Matthias Rößler, dem im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung im Rahmen einer Presseeinladung eine zukunftsweisende Technologie vorgestellt wurde. Mit Hilfe des fokussierten Ionenstrahls könnten Nano-Löcher in eine beliebige Materialoberfläche gebohrt werden, was nicht zuletzt ein wichtiger Meilenstein für den heute noch visionären Quantencomputer ist.

Bildung

**Ausbildung im FZR | Schüler und Lehrer
Studenten und Doktoranden | Dresdener Lange Nacht der Wissen-
schaften und Tag der offenen Tür | ESE 2004 / Sachsenasse**

Ausbildung im FZR



Katja Gröger (2. v.l.) und Claudia Kirmes (4. v.l.)



Urkunde der IHK Dresden

Das Forschungszentrum wurde wiederum - zum fünften Mal in Folge - als hervorragender Ausbildungsbetrieb von der Industrie- und Handelskammer Dresden ausgezeichnet. 2004 schloss wiederum eine Auszubildende des FZR die Berufsausbildung im Kammerbezirk Dresden als Berufsbeste mit dem Prädikat „sehr gut“ ab. Katja Gröger erhielt hierfür die Sachpreisauszeichnung durch die IHK Dresden für „Ausgezeichnete Leistungen in der Abschlussprüfung“ im Beruf Europäische Bürokauffrau und wurde anschließend zudem als Beste Sächsische Jungfacharbeiterin in ihrem Berufsbild prämiert.

Frau Gröger wurde darüber hinaus im FZR der Titel der „Besten Azubi 2004“ verliehen. Das Bild zeigt sie zusammen mit Claudia Kirmes bei der Preisverleihung im August. Da Frau Kirmes in der Ausbildung zur Europäischen Bürokauffrau ebenfalls in besonderer Weise erfolgreich war, erhielt sie bei der Feier zu Lehrjahreseröffnung und -abschluss eine Geldprämie vom Kaufmännischen Direktor Dr. Peter Joehnk. Katja Gröger und Claudia Kirmes werden zudem beide vom Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft im Programm „Begabtenförderung beruflicher Bildung“ gefördert. Beide erhielten nach ihrer Ausbildung Anstellungsverträge im FZR.

Im Jahr 2004 bildete das FZR insgesamt 34 Auszubildende in 9 Ausbildungsberufen aus. Die Zahl der Auszubildenden soll in den nächsten Jahren weiter erhöht werden.

Einmal im Jahr gibt eine Fachexkursion unseren Auszubildenden Gelegenheit, „über den Tellerrand zu schauen“ und Ausbildungs- sowie Arbeitsbedingungen in anderen Einrichtungen kennen zu lernen.

Hier ihr Bericht:

AZUBI-Exkursion nach Berlin und Potsdam (Maria Röthig, Wiebke Ederhof)

Vom 6. bis 8. Juni 2004 fand unsere Azubi-Exkursion statt, bei der neben den 18 Azubis auch ihre Ausbilder beteiligt waren. Dieses Jahr ging es nach Berlin und Potsdam. Residiert wurde in einem Hostel in Berlin-Kreuzberg. So hatten wir es nicht allzu weit bis zum Potsdamer Platz, wo wir uns an diesem Sonntag bei einem 3D-Kinobesuch von den Geistern der Titanic entführen ließen. Hungrig von der spannenden und informativen Unterwasserdokumentation ließen wir den Abend bei echter deutscher Hausmannskost ausklingen. Montag früh starteten wir mit einer Stadtrundfahrt durch Berlin, bei der uns ein erfahrener Stadtführer viel über die Stadtgeschichte Berlins erzählte. Die Rundfahrt endete am Reichstag, in dem uns ein mit Pointen bestückter Vortrag u.a.



Gruppenbild von der Azubi-Fachexkursion 2004 vor dem Gebäude des DifE in Rehbrücke



In der Lehrwerkstatt der Feinmechaniker am Hahn-Meitner-Institut Berlin



Im Astrophysikalischen Institut Potsdam

über die Bedeutung der Farben der Deutschlandflagge sowie der psychologisch ausgewählten blauen Farbe der Reichstagsstühle erwartete. Danach machten wir uns flink auf den Weg zum Hahn-Meitner-Institut nach Berlin-Wannsee, wo wir gemeinsam mit den dortigen Azubis zu Mittag aßen.

Ein volles Programm folgte: zuerst besuchten wir die Lehrwerkstatt der Feinwerkmechaniker, wo zur Zeit 15 Azubis beschäftigt sind. Daraufhin folgte die Besichtigung des Forschungsreaktors BER II (Berliner Experimentier-Reaktor), der seit 1973 in Betrieb ist und für die Struktur- und Materialforschung genutzt wird. Ein Vortrag über die Solarenergieforschung folgte. Diese Forschungsrichtung untersucht Materialien und Herstellungsprozesse zur direkten Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische oder chemische Energie. Diese Form der Energiegewinnung wird bei steigenden Bevölkerungszahlen und sinkenden Energiereserven immer wichtiger. Danach machten wir einen Rundgang durch das Ionenstrahl-Labor, in dem Beschleuniger hochenergetische Ionenstrahlen erzeugen, welche zur Analyse von Oberflächen und Strukturen von Festkörpern dienen. Außerdem besichtigten wir den Bestrahlungsplatz für die Therapie von Augentumoren. Darüber hinaus existiert ein Bestrahlungsplatz für die Therapie von Augentumoren mit schnellen Protonen, den wir ebenfalls zu sehen bekamen. Das HMI führt die Protonentherapie von Augentumoren gemeinsam mit der Charité durch. Bislang wurden mehr als 450 Patienten aus ganz Deutschland bestrahlt.

Am Dienstag fahren wir zum Deutschen Institut für Ernährungsforschung in Potsdam. Dort stellte uns zunächst der administrative Vorstand, Dr. Schulz, in einer Präsentation die Geschichte, Aufgaben und Forschungsprojekte des DifE vor. Das DifE betreibt experimentelle und angewandte Forschung auf dem Gebiet Ernährung und Gesundheit. Ein Schwerpunkt ist der Zusammenhang zwischen der Ernährung und Krebsentstehung. Im DifE werden auch Tierversuche durchgeführt. Bei einem Rundgang besichtigten wir das Tierhaus, in dem ca. 5000 Mäuse, einige hundert Ratten sowie ein Hausschwein in Isolatorkäfigen, Quarantänestationen und weiteren Spezialräumen untergebracht sind. Diese Maßnahmen sind notwendig, um die Tiere keimfrei halten zu können. Nach einer Stärkung in der DifE-Kantine fahren wir weiter zum Astrophysikalischen Institut (AIP) auf dem Telegrafenberg in Potsdam. Zuerst wurden wir in die Materie der Astrophysik eingeführt und besuchten die Konstruktionsräume, die Werkstätten, optischen Labore sowie das Elektronik-Labor des Forschungs- und Technologiegebäudes, wo spezielle Versuchskomponenten für Teleskope entwickelt werden. Ein weiterer Höhepunkt war die Besichtigung des 1913 erbauten und gerade renovierten Hauptgebäudes, in dem der große Zeiss-Refraktor, das erste von Carl Zeiss erbaute Großteleskop, steht. Bevor dann wieder die Heimfahrt angetreten wurde, bekamen wir natürlich noch die heiß ersehnten Bilder des an diesem Tage statt gefundenen Venustransits zu sehen.

Schüler und Lehrer

Die Lehrerfortbildung am 9. Februar 2004 war dem Thema „Neue Lichtquellen für die Forschung“ gewidmet. Bei dem nach den wissenschaftlichen Vorträgen angesetzten Besichtigungsprogramm war der Freie-Elektronen-Laser sicherlich der Höhepunkt des Tages, auch wenn er erst im Mai zündete. Neben dieser jährlichen Lehrerfortbildung kommen während des ganzen Jahres Lehrer- und Schülergruppen in das FZR zur Besichtigung der vielen Forschungsanlagen und -labore. Mehr als 100 Lehrer nutzten im Berichtszeitraum die Angebote der Öffentlichkeitsarbeit, welche insgesamt 45 Besuchergruppen betreute. Die Gesamtzahl an Besuchern im FZR lag 2004 bei über 3.000.

Bewerbungen um einen der Schülerpreise für die besten Besonderen Lernleistungen im Fachbereich Physik in Sachsen gingen 2004 so reichlich ein, dass dem Auswahlkomitee die Wahl schwer fiel. 34 Schüler bewarben sich mit 24 Arbeiten um den Preis. Er wird in Kooperation mit den vier sächsischen Universitäten - TU Dresden, TU Chemnitz, TU Bergakademie Freiberg und Universität Leipzig - vergeben. Als Sponsoren treten die Infineon Technologies GmbH sowie die Deutsche Physikalische Gesellschaft auf. Die preiswürdigen Arbeiten werden von den Gymnasien nominiert und bestehen entweder aus der Besonderen Lernleistung oder aus einer vergleichbaren Facharbeit.

Die zehn Hauptpreise:

Einwirkungen hochenergetischer Strahlung auf CCD-Chips	» Johannes Lüth/Radeberg
Blick in die Nanowelt - das Rastertunnelmikroskop	» Björn Freitag, Elisabeth Kuhnert, Fabian Merkel/Radeberg
Strukturintegrierte Schwingungsdämpfer zur Anwendung in Sportgeräten	» Sebastian Kerber, Stefan Rauh/Chemnitz
Bau eines flugfähigen Modellluftschiffes	» Paul Sengebusch, Florian Thiel/Sebnitz
Musterbildung an dünnen Polystyrolfilmen	» Michael Schellenberger Costa/Leipzig
Bau und Funktionstest eines Rastertunnelmikroskops	» Mathias Hänsel, Hannes Rudolph/Leipzig
Thermische Einflüsse bei der Manipulation des Nervenzellwachstums mit Hilfe eines Lasers	» Georg Dietrich, Dorian Nothaaß/Leipzig
Herstellung von Hologrammen und Erprobung eines neuen Aufnahmematerials	» Philipp Fügmann/Chemnitz
Die Parallelkinematik - Zukunft der Werkzeugtechnik	» Philipp Franeck, Jan Fritzsche/Chemnitz
CCD-Technik in der Astronomie - Erkennung von Defektpixeln einer CCD-Matrix am Beispiel einer ST-8 Kamera	» Karsten Schindler/Dresden





Franz Lehmann mit seinem Betreuer Dr. Altstadt vom Institut für Sicherheitsforschung

Und nicht zuletzt haben im Berichtszeitraum fünf „Jugend forscht“-Sonderpreisträger ein bezahltes Praktikum im FZR gewonnen. In diesem Rahmen entwickelte Franz Lehmann aus Thüringen ein Computerprogramm zur Beschreibung des Versagens spröder Materialien im Institut für Sicherheitsforschung und der Münchner Michael Achtelik arbeitete bei der Konzeption einer Rohrpost an der Strahlungsquelle ELBE unter Betreuung der Zentralabteilung Forschungstechnik mit. Die drei Preisträger Johannes Lüth, Björn Freitag und Alexander Pawellek konnten im Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung betreut werden. Alle fünf Praktikanten äußerten sich abschließend äußerst positiv über ihren Forschungseinsatz im FZR und auch die betreuenden Wissenschaftler waren sehr gerne bereit, 2005 wieder für die Betreuung von Sonderpreisträgern von „Jugend forscht“ zur Verfügung zu stehen.

Studenten und Doktoranden



Dr. Thomas Dekorsy im Beratungsgespräch

Die Sommerschule Mikroelektronik wird von den Firmen AMD Saxony, Infineon Technologies und ZMD sowie der TU Dresden jährlich im Spätsommer veranstaltet. An ihr nehmen ausgewählte Studenten, Absolventen und Doktoranden der Ingenieurwissenschaften teil. Aus den 350 Bewerbungen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz wurden 2004 für die 5. Sommerschule 150 Teilnehmer ausgewählt, die das attraktive Programm in Dresden absolvierten. Dazu zählte der Sponsoren- und Veranstalterabend am 15. September in den Historischen Kasematten, an dem das FZR teilnahm. Das Interesse der Studenten und Absolventen an der Forschungslandschaft in Dresden war groß und in intensiven Gesprächen konnten die Wissenschaftler des FZR über Möglichkeiten von Praktika, Diplom- und Doktorarbeiten informieren.

Dresdener Lange Nacht der Wissenschaften

25. Juni 2004

Tag der offenen Tür in Rossendorf

18. September 2004

An der zweiten Dresdener Langen Nacht der Wissenschaften nahm das FZR erstmalig teil, und das mit überwältigendem Erfolg. Die Großveranstaltung in der Nacht vom 25. auf den 26. Juni zählte insgesamt 25.000 Besucher und wurde von der Technischen Universität Dresden koordiniert. Das Forschungszentrum Rossendorf präsentierte sich an zentraler Stelle im Hörsaalzentrum der TU und konnte etwa 4.000 zumeist junge Besucher für seine Präsentationen und Vorträge begeistern.

Eine Erfolgsstory war 2004 auch der Tag der offenen Tür am 18. September, der mehr als 2.000 Besuchern die Möglichkeit bot, das FZR sowie den VKTA (Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf) näher kennen zu lernen. Daneben präsentierten sich Partnerfirmen wie AMD Saxony und Von Ardenne Anlagentechnik auf dem Rossendorfer Forschungs- und Technologiecampus. Höhepunkte des sonnigen Tages waren der Freie-Elektronen-Laser an



der Strahlungsquelle ELBE, die neuen und deshalb noch frei zugänglichen radiochemischen Labors im Institut für Radiochemie, die Präsentationen und Freihand-Experimente der Azubis unter dem Titel „Azubi-Welt: Rund um den Kreisel“ sowie zwei Kunstausstellungen im für die Öffentlichkeit erstmals zugänglichen Gebäude des Hochfeld-Magnetlabors Dresden.

Expo Science Europe (ESE) 2004 in Dresden

8. - 15. Juli 2004



Bild von der Veranstaltung Sachsen-Asse mit Dr. Joehnk (1. v. l.)

Das Forschungszentrum Rossendorf engagierte sich im Berichtszeitraum gemeinsam mit weiteren Dresdener Forschungs- und Bildungseinrichtungen bei dem europäischen Jugendforum für Wissenschaft und Technik, der Expo Science Europe - ESE 2004. Dieses Jugendforum fand erstmalig in Deutschland statt. Etwa 500 Jugendliche aus ganz Europa kamen nach Dresden, wo sie im neuen Congress-Centrum ihre Projekte der Öffentlichkeit präsentierten und die Dresdener Forschungsinstitute sowie Dresdener Hochschulen besichtigten. Das FZR war an der ESE in mehrfacher Weise beteiligt. Zum einen befasste sich Dr. Peter Joehnk als Kuratoriumsmitglied der ESE intensiv mit den Vorbereitungen für die Großveranstaltung und nutzte seine hervorragenden Kontakte in Dresden, um Sponsormittel einzuwerben, die für das Gelingen der ESE unabdingbar waren. Zum anderen war das FZR während der Ausstellungstage im Congress-Centrum mit einem Informationsstand vertreten, bot eine Exkursion für interessierte Jugendliche ins FZR-Institut für Sicherheitsforschung an und trug schließlich mit einem Experimentierstand zum Gelingen des Wissenschaftsabends an der TU Dresden bei.

Die jugendlichen Organisatoren der ESE wurden für ihr Engagement am 25. September 2004 in Chemnitz im Rahmen einer großen Galaveranstaltung als Sachsen-Asse 2004 in der Kategorie Wissenschaft ausgezeichnet. Laudator in dieser Kategorie - bei der Vorgeschichte vielleicht nicht ganz zufällig - war der Kaufmännische Direktor des FZR.

Daten und Fakten

Organe und Gremien | Überblick

Das Forschungszentrum Rossendorf (FZR) wurde am 06. Dezember 1991 als gemeinnütziger, eingetragener Verein gegründet. Es wird als Einrichtung der „Leibniz-Gemeinschaft“ zu je 50 % von der Bundesrepublik Deutschland und den Ländern, insbesondere dem Freistaat Sachsen, getragen.

Mitgliederversammlung

Die Mitgliederversammlung besteht aus natürlichen Personen, sie hat die nach Vereinsrecht üblichen Kompetenzen. Beschlüsse über Satzungsänderungen oder Auflösung des Vereins bedürfen der Zustimmung des Landes.

Mitglieder

Staatssekretär Dr. Frank Schmidt	Veit Ringel
Dr. Peter Joehnk	Dr. Josef Scholz
Prof. Dr. Dr. h. c. Wolf Häfele	Prof. Dr. Gert Bernhard
Dr. Hanno Grünberg	Dr. Frank Gabriel
Prof. Pobell (bis 18.01.2004)	

Kuratorium

Das Kuratorium ist das umfassende Aufsichtsorgan. Es entscheidet in den grundsätzlichen Angelegenheiten des Vereins und bestimmt die Richtlinien seiner Aufgabenstellung. Das Kuratorium überwacht die Einhaltung der satzungsgemäßen Aufgaben und kontrolliert insoweit die Tätigkeit des Vorstands. Im Kuratorium verfügen das Land und der Bund jeweils über drei Stimmen; weiterhin gehören ihm ein von der Mitgliederversammlung gewähltes Mitglied des Vereins sowie ein vom Vorstand vorgeschlagener und von der Mitgliederversammlung zu wählender Sachverständiger an.

Mitglieder

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
Dr. Frank Gabriel	Forschungszentrum Rossendorf
Prof. Dr. Peter Fulde	Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme

Vorstand

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

Wissenschaftlicher Beirat

Der Wissenschaftliche Beirat berät das Kuratorium und den Vorstand in allen wissenschaftlichen, technischen und organisatorischen Fragen von Gewicht. Er erarbeitet Vorschläge und Empfehlungen zu den vom Forschungszentrum zu bearbeitenden Forschungsfeldern und zu dessen Arbeitsplanung. Er bewertet periodisch Forschungsleistungen und Arbeitspläne.

Mitglieder

Prof. Dr. Axel Kleemann (Vorsitzender), Hanau
 Prof. Dr. Hartmut Backe (Stellvertreter), Mainz
 Prof. Dr. Ulrich M. Gösele, Halle
 Prof. Dr. Jens Volker Kratz, Mainz
 Dr. Jörg Hadermann, Villigen/Schweiz
 Prof. Dr. Gerd Folkers, Zürich/Schweiz
 Dr. Peter Fritz, Karlsruhe
 Prof. Dr. Werner Mäntele, Frankfurt
 Prof. Dr. Hans Henrik Andersen, Kopenhagen/Dänemark
 Prof. Dr. Willem Vaalburg, Groningen/Niederlande

Beiräte für Großgeräte Beirat des PET-Zentrums

Im Oktober 1997 wurde der Wissenschaftliche Beirat des PET-Zentrums gegründet. Er berät die Kooperationspartner FZR und TU Dresden in allen wissenschaftlichen, technischen und organisatorischen Fragen der Arbeit des PET-Zentrums.

Mitglieder

Prof. Dr. U. Haberkorn, Heidelberg
 Prof. Dr. A. Schubiger (Sprecher), Villigen/Schweiz
 Prof. Dr. T. Kuwert, Erlangen
 Prof. Dr. W. Vaalburg, Groningen/Niederlande

SAC für die Strahlungsquelle ELBE

Nach weitgehendem Abschluss der Aufbauphase und Übergang zu den wissenschaftlichen Experimenten wurde am 04.04.2003 das Scientific Advisory Committee (SAC) für die Strahlungsquelle ELBE gegründet.

Mitglieder

Prof. Dr. H. Backe, Mainz Prof. Dr. T. Elsässer (Sprecher), Berlin
 Prof. Dr. K.-P. Hofmann, Berlin Prof. Dr. D. Frankenberg, Göttingen
 Prof. Dr. U. Kneißl, Stuttgart
 Dr. A. F. G. van der Meer, Nieuwegein/Niederlande

STAC für das Hochfeldlabor Dresden

Das Scientific Technical Advisory Committee (STAC) für das Hochfeldlabor Dresden wurde im Oktober 2003 gegründet.

Mitglieder

Dr. H. Jones, Oxford/Großbritannien (Sprecher)
 Dr. P. Frings, Toulouse/Frankreich
 Prof. Dr. R. Grössinger, Wien/Österreich
 Prof. Dr. F. Herlach, Leuven/Belgien
 Prof. Dr. B. Lüthi, Zürich/Schweiz
 Prof. Dr. J. K. Maan, Nijmegen/Niederlande
 Prof. Dr. H. J. Schneider-Muntau, Tallahassee/USA

SAC für das Ionenstrahlzentrum

Das **Scientific Advisory Committee of the Rossendorf Ion Beam Centre** wurde im Juni 2004 für einen Zeitraum von drei Jahren berufen und trat zu seiner ersten Sitzung am 13. Dezember 2004 zusammen.

Mitglieder

Prof. Dr. H. Andersen, Kopenhagen/Dänemark (Sprecher)
 Prof. Dr. J. Weber, Dresden
 Prof. Dr. M. Grundmann, Leipzig
 Prof. Dr. B. Stritzker, Augsburg
 Prof. Dr. P. Ziemann, Ulm
 Prof. Dr. A. Polman, Amsterdam/Niederlande
 Prof. Dr. H. Bernas, Orsay/Frankreich

Interne Gremien**Wissenschaftlich-Technischer Rat**

Durch den **Wissenschaftlich-Technischen Rat (WTR)** stellt der Vorstand eine angemessene Beteiligung der wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter an der Erarbeitung der wissenschaftlichen und technischen Programme sicher.

Dem Wissenschaftlich-Technischen Rat gehören die Direktoren der wissenschaftlichen Institute, Leiter zentraler eigenständiger wissenschaftlich-technischer Abteilungen und gewählte Vertreter der wissenschaftlich-technischen Mitarbeiter des Forschungszentrums an.

Mitglieder

Prof. Dr. Eckart Grosse (Vorsitzender)	Dr. Wolfgang Enghardt (Stellvertreter)
Prof. Dr. Gert Bernhard	Prof. Dr. Manfred Helm
Prof. Dr. Wolfhard Möller	Prof. Dr. Frank-Peter Weiß
Prof. Dr. Jörg van den Hoff	Prof. Dr. Joachim Wosnitza
Dr. Peter Michel	Dr. Frank Gabriel
Dr. Gunter Gerbeth	Dr. Ralf Bergmann
Dr. Andreas Kolitsch	Dr. Gerhard Geipel

Betriebsrat des FZR

Der Betriebsrat des FZR setzt sich wie folgt zusammen:

Siegfried Dienel (Vorsitzender)	Jörg Voigtländer (stellv. Vorsitzender)
Joachim Gollert	Christel Schneidereit
Monika Bulenda	Sabine Pförtner
Dr. Harald Curian	Steffen Schaller
Dr. Siegfried Hübener	Bernd Hartmann
Dr. Rudi Wünsch	

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 31.12.2004)
Drittmittelstellen:	72
Doktoranden:	47
Grundfinanzierung:	55.825 T€
Sondermittel:	100 T€
Drittmittel:	6.432 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 Bioorganische und Radiopharmazeutische Chemie

Direktor: Dr. Hartmut Spies (kommissarisch bis 31.03.2004)
 Tel.: + 49 351 260-3170 E-mail: h.spies@fz-rossendorf.de
 Direktor: Prof. Dr. Jörg van den Hoff (kommissarisch ab 01.04.2004)
 Tel.: + 49 351 260-3170 E-mail: j.van_den_hoff@fz-rossendorf.de

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 (ab 01.12.2004)
 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 2004:

Erfindungsmeldungen:	12	Patenterteilungen national:	13
Patentanmeldungen national:	14	Patenterteilungen international:	3
Patentanmeldungen international:	8		

Organigramm

