FZD JOURNAL

Ausgabe **02**
Juni 2008

Das Journal des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf ↗ www.fzd.de

Nano-Schmelzen

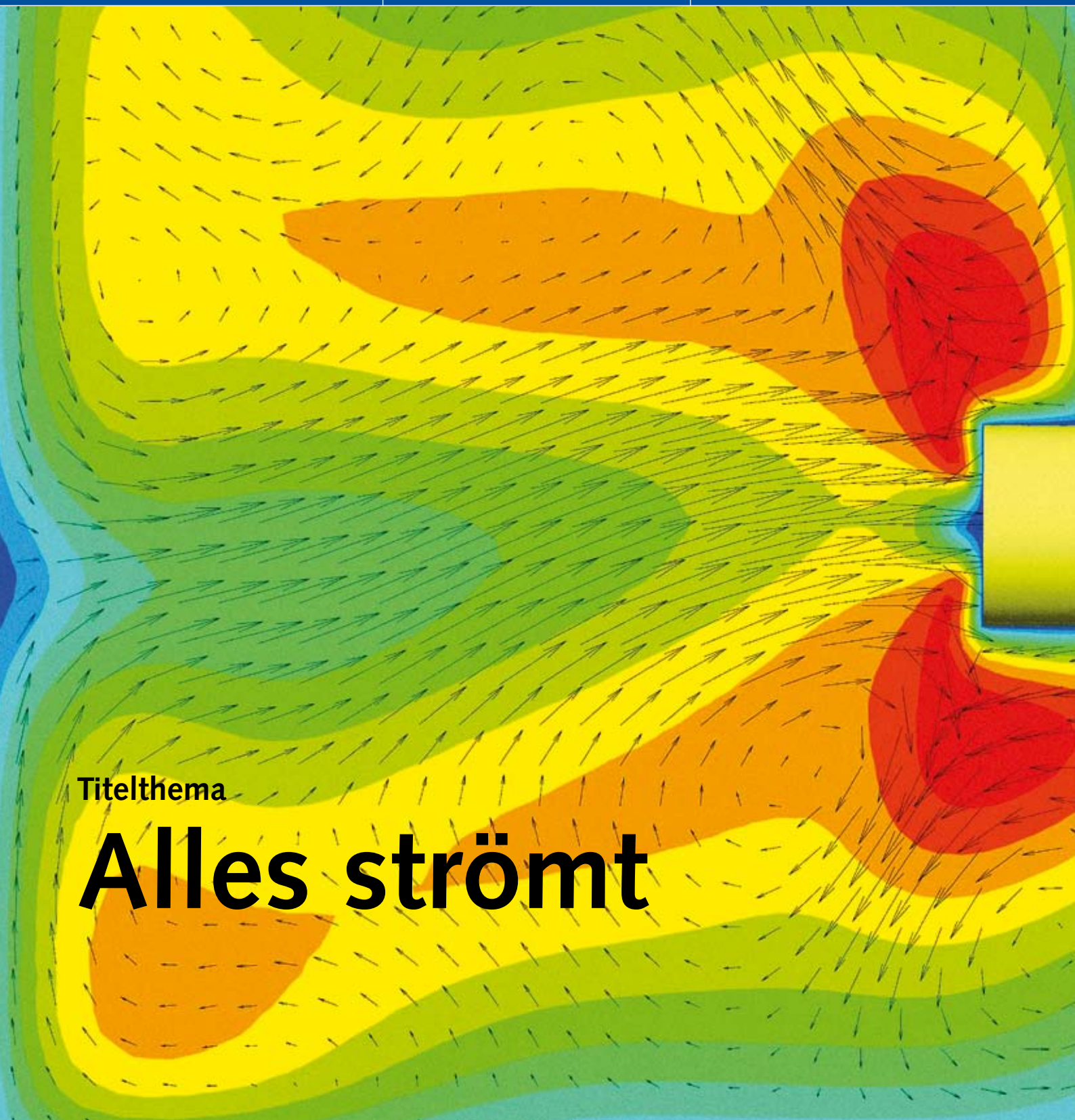
Wie energiereiche Ionen winzig kleine Nano-Strukturen in der Oberfläche eines Kristalls erzeugen

Gralssuche

Wie Prof. Thomas Cowan, neuer Direktor des Instituts für Strahlenphysik, die Zukunft der Strahlentherapie sieht

Besuchermagnet

Was die Besucher beim Tag des offenen Labors neben dem neu eingeweihten Laser noch alles erleben konnten



Titelthema

Alles strömt

TITELBILD . Elektromagnetisch getriebene Staupunktströmung auf eine Elektrode (rechts im Bild). Die Pfeile geben die Richtung der Strömung an, die hinterlegten Farbflächen (Konturen) zeigen den Betrag der Strömungsgeschwindigkeit.

Liebe Leserinnen, liebe Leser,



Alles strömt – der Titel dieser zweiten Ausgabe des „FZD Journals“ nimmt offensichtliche Anleihen an Heraklits populärer Formel „Panta rhei – Alles fließt“. Die Strömungen, um die es hier und heute geht, sind allerdings rein physikalischer Natur. Unsere Wissenschaftler im Forschungsprogramm „Nukleare Sicherheit“ sind international anerkannte Strömungsexperten. Sie betreiben einmalige Experimentier-Anlagen und entwickeln genaue und vor allem auch schnelle Messmethoden, um Strömungen unter die Lupe zu nehmen. Meist geht es dabei um Mehrphasen-Strömungen. Diese physikalisch hochkomplexe Strömungsform begegnet uns oft im Alltag, etwa wenn wir eine mit Kohlensäure gefüllte Mineralwasserflasche öffnen. Dann steigen Gasbläschen in der Flüssigkeit zur Oberfläche. Es können sich Blasen ganz unterschiedlicher Größe ausprägen, was wiederum Einfluss auf die Phasengrenzflächen zwischen Gas und Wasser sowie auf die Gasverteilung hat. Die wissenschaftliche Begründung hierfür lautet: die Kraft, die die Flüssigkeit auf die Blase ausübt, hängt von der Größe der Blase selbst ab.

Die durchsichtige Mineralwasserflasche erlaubt die Beobachtung der Mehrphasen-Strömung, in der Industrie verstecken sich die Gemische jedoch hinter undurchsichtigen Wänden. Man findet sie in Kühlkreisläufen von Kernkraftwerken, aber auch in der chemischen Verfahrenstechnik, in Wärmetauschern oder in Anlagen der Erdölverarbeitung. Hierfür geeignete Methoden zur Visualisierung zu entwickeln, ist ein wichtiges Ziel der Forschungsarbeiten. Machen Sie sich vertraut mit dem Weltrekord der schnellen Tomographie, dem Gittersensor, einer Eigenentwicklung des FZD, oder damit, wie Magnetfelder kosmische Strömungen beeinflussen.

Die Strömungsforschung im FZD zeichnet sich durch die enge Verzahnung von Experiment, Theorie und Simulation aus. Wir stellen Ihnen auf den folgenden Seiten unsere Experimentieranlagen TOPFLOW und ROCOM vor und berichten, wie die dort durchgeführten Experimente dabei helfen, die Sicherheit von Kernkraftwerken zu bewerten oder gar zu verbessern. Die Daten aus den Experimenten fließen in dreidimensionale Strömungssimulationen, die in Zukunft aufwändige und teure Experimente einsparen werden und die heute schon die Effektivität von industriellen Prozessen erhöhen.

Ihre Christine Bohnet

IMPRESSUM

Herausgeber: Prof. Dr. Roland Sauerbrey und Dr. Dr. h.c. Peter Joehnk, Vorstand des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf

Erscheinungsdatum: Juni 2008
ISSN: 1437-322X

Redaktion: Dr. Christine Bohnet (verantwortlich), Anja Bartho

Layout: WERKSTATT X . Michael Voigt
www.werkstatt-x.de

Druck: Druckerei Mißbach
www.missbach.de

Auflage: 3.000

Bildnachweis: FZD sowie Hochschule Zittau/Görlitz (S. 10 Mitte), Dr. Jennifer Rassuchine (S. 14 u.), Andreas Schanzenbach (S. 19)

Kontakt/Bestellung (kostenfrei):
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Christine Bohnet
Postfach 510119, 01314 Dresden
Tel.: 0351 260-2450
c.bohnet@fzd.de
www.fzd.de

FZD Journal erscheint zweimal pro Jahr.

Inhalt

TITEL
Alles strömt

04 Wirbelsturm im Becherglas
05 TOPFLOW – Wasser, Dampf und Reaktorsicherheit
08 Weltrekord der schnellen Tomographie
10 Fasern in der Leitung
11 Den kosmischen Magnetismus ins Labor geholt
12 Junge Strömungsexperten

FORSCHUNG

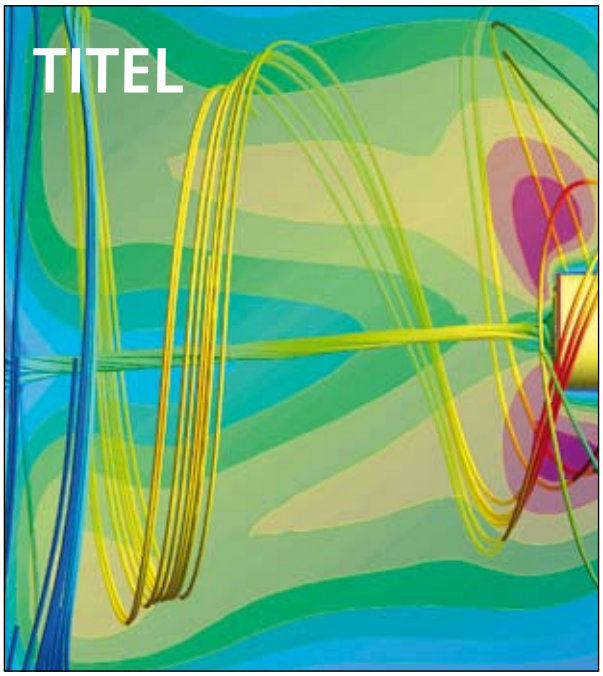
14 Mikrokegel als Elektronenfalle für besseres Röntgenlicht
15 Kupfer spürt Tumore auf
16 Schmelzen im Nanometer-Bereich
17 Elektronenströme und Spins

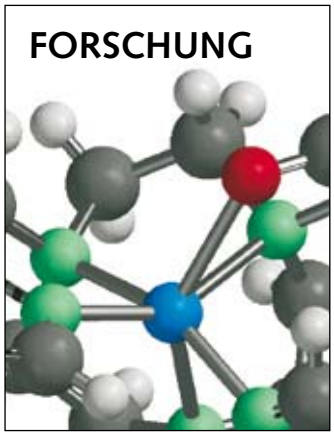
PORTRÄT

18 Ionen und Fußball
18 Pro Beruf und Familie
19 Auf der Suche nach dem Heiligen Gral für die Strahlentherapie

WISSENSWERT

20 Einer der stärksten Laser Deutschlands steht am FZD
21 Hochfeld-News
21 Physiktalente an sächsischen Schulen gesucht
22 Tag des offenen Labors ist Besuchermagnet
23 FZD beim Parlamentarischen Abend der Leibniz-Gemeinschaft
23 Bundesbildungsministerin besucht „OncoRay“
23 Ehrenprofessur für Kaufmännischen Direktor des FZD
23 Konferenzen & Workshops









Wirbelsturm im Becherglas

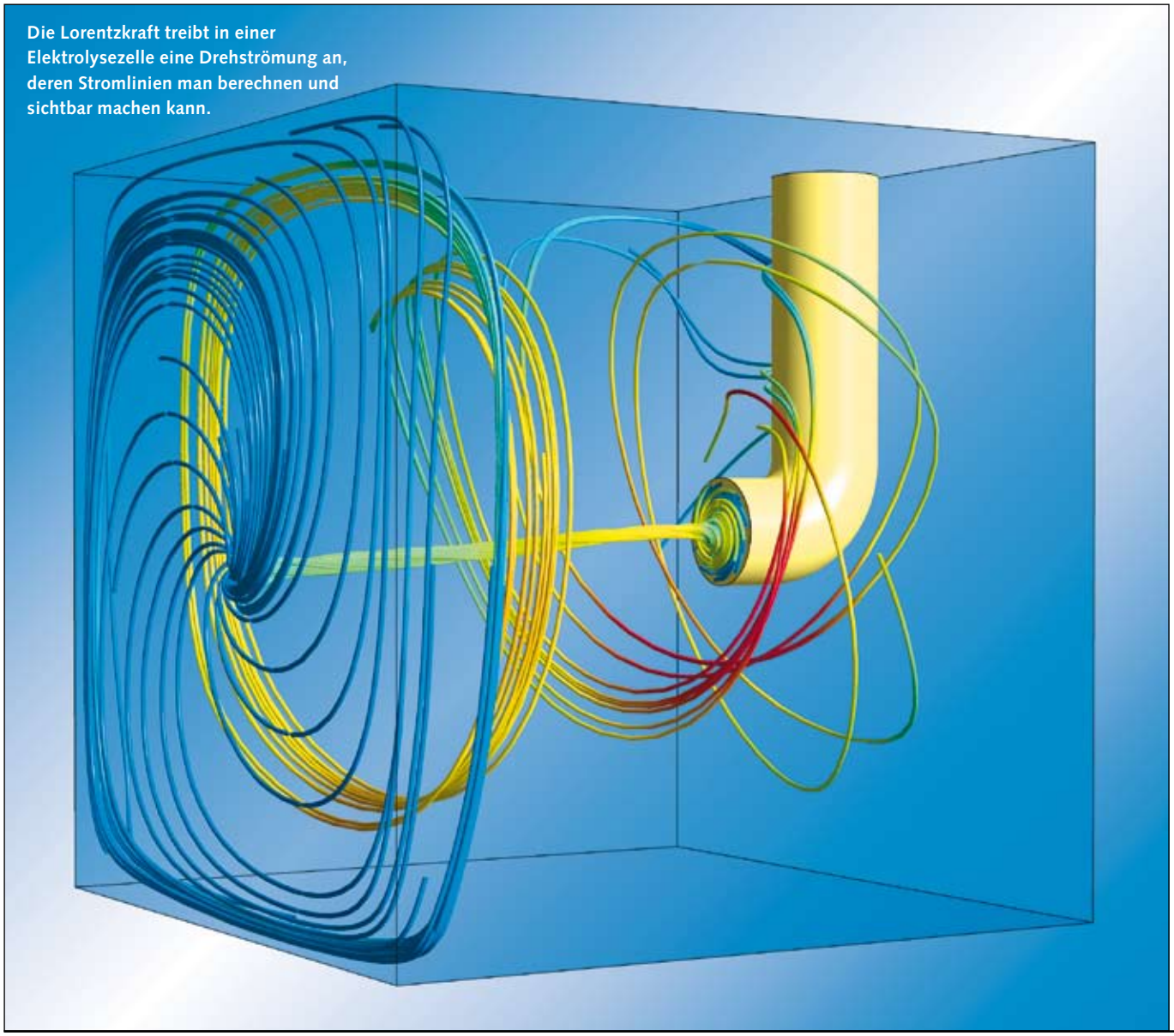
Drehströmungen kommen im Alltag häufig vor. Dass sie für elektrochemische Reaktionen, die man mit Magnetfeldern beeinflusst, eine größere Rolle spielen als bisher vermutet, haben Wissenschaftler des FZD und der TU Dresden jetzt nachgewiesen.

_TEXT . Anja Bartho

Vom Strudel in der Badewanne bis zum Hurrikan kommen Drehströmungen in allen Größen vor. Was sie bewirken, sieht man zum Beispiel, wenn man in einer Schale mit Tee rührt: Die Teeblätter sammeln sich dann in der Mitte an. Dafür ist ein komplexes Zusammenspiel aus Kräften und Strömungen verantwortlich. Wissenschaftler eines Sonderforschungsbereiches (SFB) an der Technischen Universität Dresden, an dem auch das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf beteiligt ist, haben jetzt nachgewiesen, dass dieses Zusammenspiel auch bei elektrochemischen Reaktionen eine große Rolle spielt.
Elektrochemische Reaktionen werden durch elektrischen Strom hervorgerufen. Zwei Elektroden werden dabei in eine Elektrolyt-Lösung, also in eine Flüssigkeit mit freien Ladungsträgern, getaucht. Legt man dabei ein Magnetfeld von außen an, wirkt – da gleichzeitig Strom fließt – die Lorentzkraft. Sie entsteht, wenn ein elektrisches und ein magnetisches Feld nicht parallel zueinander stehen, und setzt die Elektrolyt-Lösung in Bewegung. Die entstehende Strömung sorgt dafür, dass die Ladungsträger schneller zu den Elektroden gelangen und dort reagieren können. Dichteunterschiede treiben die Reaktionsprodukte dann aufwärts – die entstehende natürliche Strömung führt so zu einer raschen Erneuerung der Elektrolyt-Lösung in der Nähe der Elektroden. In jüngerer Zeit wurden jedoch Effekte gefunden, die nicht in dieses gewohnte Bild passten.

Paradoxe Ansammlung

Man beobachtete, dass sich an zwei kreisförmigen Elektroden, deren Achse parallel zum angelegten Magnetfeld verlief, Reaktionsprodukte sammelten. Scheinbar wurden die Reaktionsprodukte von einer Kraft daran gehindert, die Elektroden zu verlassen. Die Lorentzkraft schloss man als Ursache →



Die Lorentzkraft treibt in einer Elektrolysezelle eine Drehströmung an, deren Stromlinien man berechnen und sichtbar machen kann.

aus, da die elektrischen und magnetischen Felder vermeintlich parallel zueinander lagen. Stattdessen schrieb man den Effekt allein der Wirkung des Magnetfeldes zu. Eine Erklärung für das Phänomen bot eine Spielart der Kelvinkraft, die als Folge der magnetischen Stoffeigenschaften auftritt: Danach erzeugen die Reaktionen an den Elektroden paramagnetische, also schwach magnetische, Ionen, die vom Magnetfeld an der Elektrode gehalten werden wie Büroklammern von einem Permanentmagneten. Die Ionen verlassen aber das elektrodennahe Gebiet, wenn der Strom ausgeschaltet wird. Die Kelvinkraft hängt jedoch gar nicht vom Stromfluss ab.

Lorentzkraft rührt um

Die Wissenschaftler des Sonderforschungsbereiches 609 vermuteten schnell, dass die bisherigen Erklärungen zu einfach waren. Erst die Zusammenarbeit von Physikern, Elektrochemikern und Strömungsmechanikern konnte das Phänomen erklären. Die Forscher sahen sich die elektrischen und magnetischen Felder genauer an, maßen Geschwindigkeit und Konzentration und stellten numerische Berechnungen an. Besonders am Rand der kreisförmigen Elektroden breitet sich das elektrische Feld strahlenförmig aus. Dadurch steht es am Rand der Elektrode senkrecht zum magnetischen Feld und bewirkt so um die Elektrode herum eine Lorentzkraft. Sie versetzt die ganze Elektrolyt-Lösung in eine rotierende Bewegung. Diese Drehströmung wird noch von einer zweiten Strömung überlagert, die zu einem Staupunkt auf der Elektrode führt. Das Gebiet unmittelbar um den Staupunkt ist, wie das Auge eines Hurrikans, praktisch in Ruhe. Die Reaktionsprodukte können sich deshalb dort sammeln, ähnlich Teeblättern, die sich in der Mitte der Schale formieren, wenn man im Tee rührt. Noch sind die neuen Erkenntnisse nur für die Grundlagenforschung wichtig. Später könnten sie zur Optimierung elektrochemischer Prozesse, z.B. in der chemischen Industrie, beitragen. ⊣

INFO

SFB 609 (Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie)

_Förderung: seit 2002
_Sprecher: Prof. Stefan Odenbach (TU Dresden), 2. Sprecher: Dr. Gunter Gerbeth (FZD)
_Partner: TU Dresden, FZD, Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden, TU Bergakademie Freiberg
_Thema: Untersuchung der Wechselwirkungen elektrisch leitfähiger Flüssigkeiten (z.B. Elektrolyte, Metalle) mit Magnetfeldern für die Grundlagen- und angewandte Forschung

KONTAKT

_Institut für Sicherheitsforschung
Dr. Tom Weier
t.weier@fzd.de

TOPFLOW – Wasser, Dampf und Reaktorsicherheit

Die Sicherheit von Kernkraftwerken hängt unter anderem von Strömungen im Kühlkreislauf des Reaktors ab. Im FZD entwickelte dreidimensionale Computersimulationen helfen bei der Sicherheitsbewertung von Störfallszenarien und bei der sicheren Auslegung von Kernkraftwerken.

_TEXT . Dr. Dirk Lucas

TOPFLOW – „Transient twO-Phase FLOW" – ist eine der großen Versuchsanlagen am FZD und dient der experimentellen Untersuchung von Mehrphasen-Strömungen. Beispiele für solche Strömungen sind Feststoffpartikel, die mit Pressluft transportiert werden, Öl-Wasserströmungen in Pipelines oder Wasserdampf-Wasserströmungen in Wärmetauschern. Mehrphasen-Strömungen haben somit zahlreiche Anwendungen in der Chemie-, Öl- und Energiewirtschaft.

Die TOPFLOW-Anlage in Rossendorf ist speziell zur Untersuchung von Dampf-Wasser- und Luft-Wasser-Strömungen konzipiert. Ein elektrischer Dampferzeuger mit einer Leistung von 4 Megawatt erlaubt die Erzeugung von bis zu 1,5 kg Dampf pro Sekunde bei 7 Megapascal, d.h. dem 70-fachen des normalen Luftdrucks. Wasser siedet bei diesen Bedingungen erst bei einer Temperatur von 286 °C. Diese Parameter kommen denen, wie sie z. B. im Kühlkreislauf von Kernreaktoren auftreten, nahe. Damit sind die Experimente an der TOPFLOW-Anlage aufwendig und entsprechend teuer, aber sie führen zum besseren Verständnis von Strömungen in Reaktoren und zu verbesserten Berechnungsverfahren dafür. Diese Berechnungsverfahren können am Ende für die Erhöhung der Sicherheit und Effektivität vielfältiger technischer Prozesse genutzt werden.

Dampf aus Kernenergie

Besonders wichtig ist die Kenntnis der Strömungseigenschaften von Wasser-Wasserdampf-Gemischen in Kernreaktoren. In einem Druckwasserreaktor fließt im ersten Kreislauf normalerweise nur Wasser unter hohem Druck und bei Temperaturen knapp unter 300 °C. Die Energie dieses heißen Wassers wird im Dampferzeuger genutzt, um in einem zweiten Kreislauf die Turbinen mit Dampf zu versorgen.

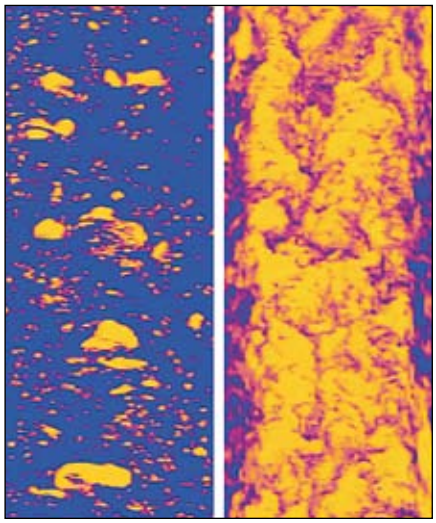
Lecks können in so großen technischen Anlagen niemals ausgeschlossen werden, jedoch muss auch dann die sichere Kühlung des Reaktorkerns gewährleistet werden. Das wird durch umfangreiche Sicherheitsanalysen nachgewiesen. Die dabei benutzten Rechenmodelle müssen die zu erwartenden Strömungen mit hoher Zuverlässigkeit vorhersagen. Wenn der Druck durch ein Leck abfällt, sind diese Strömungen oft zweiphasig, d.h. Wasser und Wasserdampf treten auch im ersten Kreislauf gleichzeitig auf. Bisher erfolgen solche Sicherheitsanalysen auf der Basis von Verfahren, die komponentenspezifische Modelle enthalten und damit in der Regel nicht auf andere Anlagen mit unterschiedlicher Geometrie oder Größe (Skalierung) übertragbar sind. →

Die Strömungen in der TOPFLOW-Anlage kommen der Realität eines Primärkreislaufs in einem Kernkraftwerk sehr nahe.

Physik von Strömungen simulieren

Daher ist man bestrebt, die Physik der Strömungen in Simulationen genauer zu berücksichtigen. Eine Möglichkeit dafür bieten „Computational Fluid Dynamics (CFD) Codes“, die zur dreidimensionalen Strömungssimulation dienen. Im Fall einphasiger Strömungen finden sie bereits breiten Einsatz in der Industrie, z. B. wenn es um die Frage des Luftwiderstands im Fahrzeug- und Flugzeugbau geht. Für Mehrphasen-Strömungen werden sie bisher nur für einzelne, sehr spezielle Probleme erfolgreich eingesetzt. Die Simulation von Mehrphasenströmungen ist deshalb so schwierig, weil beispielsweise Gasblasen ganz unterschiedlicher Größe oder Oberflächen mit unterschiedlich ausgeprägten Wellen auftreten können, die wiederum Gasblasen unter die Wasseroberfläche mitreißen.

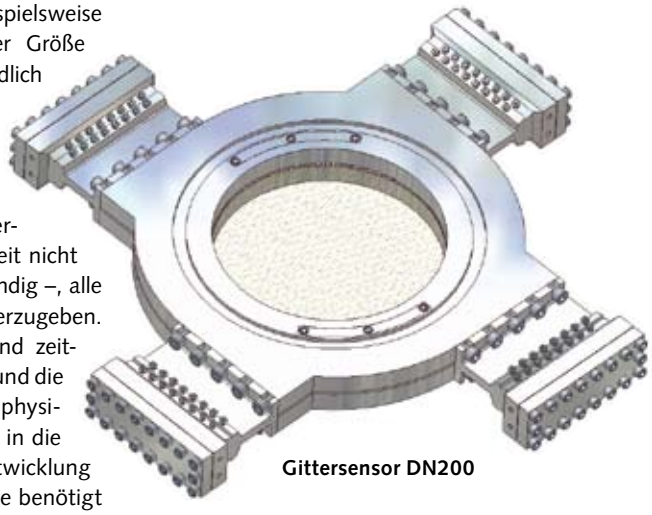
Visualisierungen von Zweiphasenströmungen, links: Blasenströmung, rechts: Ringströmung. Luft bzw. Dampf (gelb) heben sich deutlich vom Wasser (blau) ab. Wenn sich zuviel Dampf an der Kanalwand ansammelt, funktioniert die Kühlung der Wand nicht mehr.



Selbst bei steigenden Rechnerleistungen ist es in absehbarer Zeit nicht möglich – aber auch nicht notwendig –, alle Details in den Simulationen wiederzugeben. Stattdessen werden räumliche und zeitliche Mittelungen vorgenommen und die wichtigsten Informationen über physikalische und skalierbare Modelle in die Simulation eingebracht. Zur Entwicklung und Überprüfung solcher Modelle benötigt man aber experimentelle Daten und zwar in hoher Orts- und Zeitauflösung.

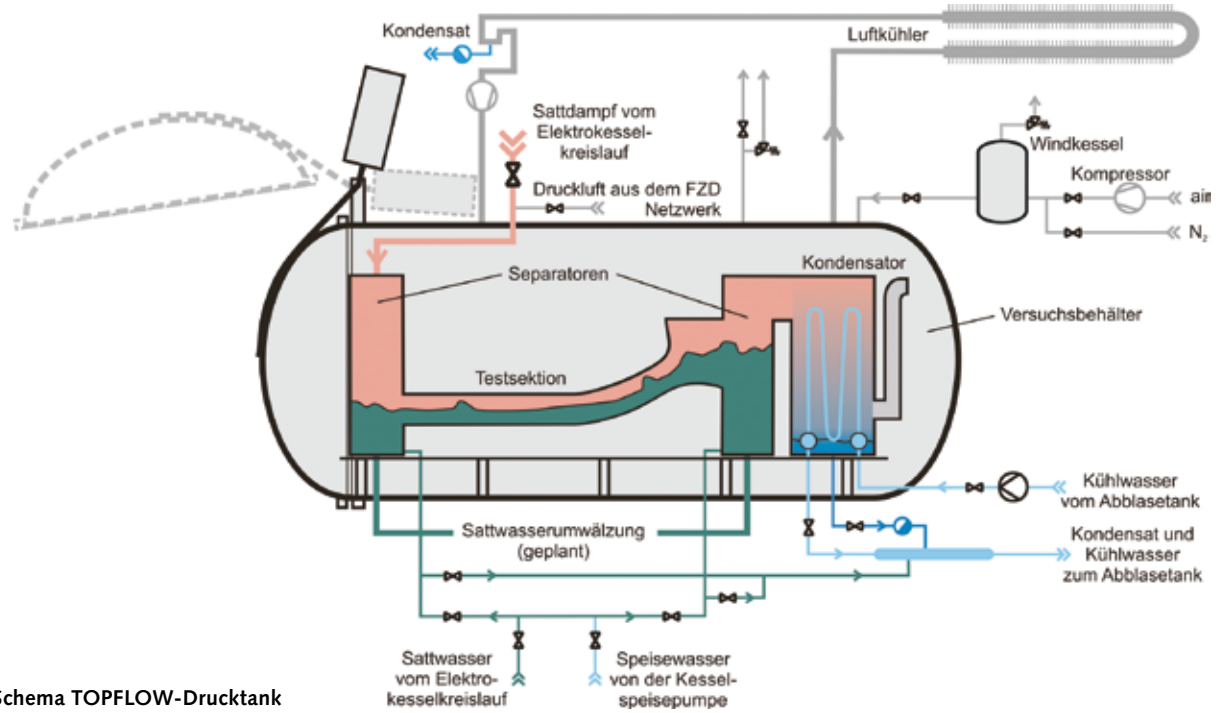
Versuche an TOPFLOW

Solche Daten werden an der TOPFLOW-Anlage gewonnen. Dafür sind die Versuchsaufbauten mit innovativer Messtechnik ausgestattet. Diese umfasst auch tomographische Methoden, die detaillierte Informationen über die Verteilung der Phasen im Strömungsgebiet liefern. Beispiele sind die am FZD entwickelten Gittersensoren (Ortsauflösung bis ca. 2 mm, Messfrequenz bis 10.000 Bilder pro Sekunde) oder die Schnelle Röntgentomographie (s. Artikel „Weltrekord der schnellen Tomographie“ auf S. 8-9). Diese Messverfahren werden u. a. an den vertikalen Teststrecken der TOPFLOW-Anlage eingesetzt.



Gittersensor DN200

In den Teststrecken strömen Luft oder Dampf zusammen mit Wasser in vertikalen Rohren, wobei sich sehr definierte Randbedingungen einstellen lassen. Bei kleinen Luftdurchsätzen findet man kleine Blasen, bei sehr großen Durchsätzen hingegen kann sich eine Ringströmung ausbilden, bei der das Gas mit hoher Geschwindigkeit in der Rohrmitte fließt, während das Wasser an die Rohrwand gedrängt wird. Dazwischen gibt es zahlreiche weitere Strömungsformungen. Schon bei den Blasenströmungen werden interessante Effekte beobachtet, die sich durch den Impulsaustausch erklären lassen. So kommt es z. B. zu einer Trennung großer →



Schema TOPFLOW-Drucktank

und kleiner Blasen, d. h. die kleinen Blasen sammeln sich in der Nähe der Rohrwand, während große Blasen bevorzugt in der Mitte des Rohrs zu finden sind. Dies alles sind Phänomene, die mit einer so hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung zuvor noch nie beobachtet wurden.

In einem weiteren Versuchsaufbau werden bei hohen Drücken und Temperaturen Dampf-Wasser-Experimente durchgeführt und durch eine Hochgeschwindigkeits-Videokamera beobachtet. Normalerweise erfordern hohe Drücke und Temperaturen dickwandige Behälter, die eine optische Beobachtung von außen verhindern. Hier jedoch befindet sich die eigentliche Teststrecke im Druckgleichgewicht mit der unmittelbaren Umgebung. Möglich wird das dadurch, dass sich der komplette Versuchsaufbau in einem Drucktank befindet. Das Druckgleichgewicht lässt den Einsatz großer Glasscheiben auch für Dampf-Wasser-Strömungen bei hohen Drücken und Temperaturen zu. Weltweit erstmalig wurden in den vergangenen Wochen komplexe Dampf-Wasser-Strömungen bei einem Druck bis zu 5 Megapascal großflächig (ca. 1 m auf 1 m) mit einer Hochgeschwindigkeits-Videokamera beobachtet. In diesem Experiment wurden Strömungen in horizontalen Komponenten untersucht, bei denen Dampf und Wasser in entgegengesetzte Richtungen strömen und sich dabei gegenseitig behindern. Der Dampfstrom begrenzt hier den maximal möglichen Wasserstrom (s. Artikel „Junge Strömungsexperten“ auf S. 12-13).

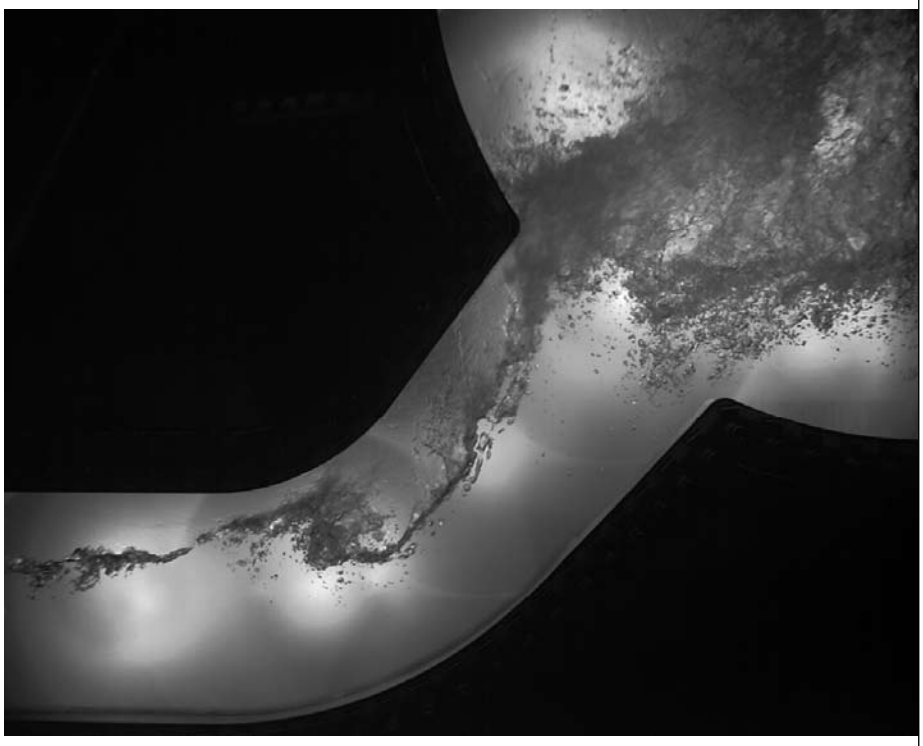
Die Arbeiten an der TOPFLOW-Anlage werden sowohl durch öffentliche Projekte (die Finanzierung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie beläuft sich auf gut fünf Millionen Euro) als auch durch Mittel aus der Industrie (z. B. Electricité de France, AREVA NP) unterstützt.

Die an der TOPFLOW-Anlage gewonnenen Daten werden inzwischen von zahlreichen Forschergruppen in aller Welt für die Entwicklung und Validierung von CFD-Modellen genutzt.

Die an der TOPFLOW-Anlage gewonnenen Daten werden inzwischen von zahlreichen Forschergruppen in aller Welt für die Entwicklung und Validierung von CFD-Modellen genutzt. Eine strategische Partnerschaft mit dem Code-Entwickler ANSYS sichert die Übernahme der im TOPFLOW-Projekt erzielten Ergebnisse in CFX, einem der weltweit führenden CFD-Codes. ⊣

KONTAKT

_Institut für Sicherheitsforschung
Dr. Dirk Lucas
d.lucas@fzd.de



Dampf-Wasser-Strömung bei 5 MPa (50-facher Normaldruck) und 264° C

Rückblick

Kerntechnische Fragen am FZD beraten

Das FZD ist ein wichtiger Standort für nukleare Sicherheitsforschung, einem der drei Forschungsschwerpunkte am FZD. Das zeigen die Treffen renommierter deutscher Gremien im Bereich Kerntechnik am FZD. So tagten die Reaktorsicherheitskommission (RSK) des Bundesumweltministeriums und zwei ihrer Ausschüsse („Druckführende Komponenten und Werkstoffe“; „Anlagen und Systemtechnik“) am 9. und 10. April im Institut für Sicherheitsforschung. Mitarbeiter des Institutes gehören der Hauptkommission und den genannten Ausschüssen an. Am Tag darauf traf sich der nationale Kompetenzverbund Kerntechnik hier in Rossendorf, in den neben dem FZD u. a. auch die Forschungszentren Jülich und Karlsruhe eingebunden sind.



Die Reaktorsicherheitskommission des Bundesumweltministeriums tagte am 10. April 2008 im FZD.

Die Mitglieder der RSK nutzten die Gelegenheit, um sich über die Arbeiten des FZD auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheitsforschung eingehend zu informieren und zeigten sich insbesondere von den experimentellen Möglichkeiten beeindruckt. Der nationale Kompetenzverbund Kerntechnik beriet u. a. über den Stand der kerntechnischen Ausbildung in Deutschland und den Aufbau eines zwischen den deutschen Hochschulen abgestimmten Masterstudienganges Kerntechnik.

_Prof. Frank-Peter Weiß

Vorschau

Jahrestagung Kerntechnik 2009 in Dresden

Vom 12. bis 14. Mai 2009 veranstalten das Deutsche Atomforum e. V. und die Kerntechnische Gesellschaft e. V. im Internationalen Kongresszentrum Dresden die Jahrestagung Kerntechnik 2009. Mit regelmäßig 1.000 Teilnehmern aus dem In- und Ausland ist sie die größte Kernenergie-Konferenz in Europa.

Weltrekord der schnellen Tomographie

Mit Elektronen können Bilder von komplexen Strömungsvorgängen in undurchsichtigen Rohren und Bauteilen erzeugt werden. Den Weltrekord der schnellen Elektronenstrahl-Tomographie hält seit kurzem das FZD.

_TEXT . Dr. Uwe Hampel, Frank Fischer

Ein Schwerpunkt des Programms „Nukleare Sicherheitsforschung“ im FZD ist die Erforschung komplexer Strömungen, wie sie etwa in Kühlkreisläufen von Kernkraftwerken zu finden sind. Dabei geht es um Strömungsgemische aus Wasser und Dampf, die es zu vermessen und zu visualisieren gilt.

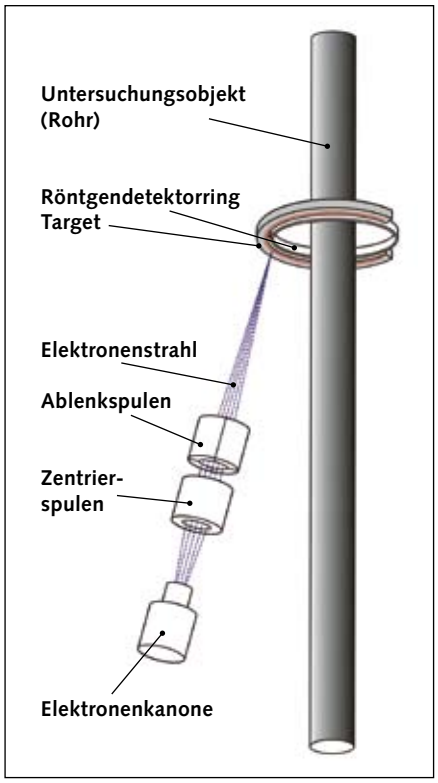
Solche Gemische nennt man Mehrphasen-Strömungen. Man findet sie auch in anderen technischen Prozessen und Anlagen, beispielsweise in der chemischen Verfahrenstechnik, in Bioreaktoren, in Förder- und Transportsystemen für Flüssigkeiten und Schüttgut, in Hydraulik-Systemen, Wärmetauschern oder in Anlagen der Erdölverarbeitung. Aufgrund ihrer Bedeutung für die Sicherheit und Effizienz vieler Prozesse besteht ein großes Interesse, solche Strömungen zu untersuchen und zu modellieren (s. Artikel „Junge Strömungsexperten“ auf S. 12-13).

Derzeit gibt es für die Beobachtung und Vermessung von Mehrphasen-Strömungen kaum ausreichend schnelle und genaue Messverfahren. Diese sind aber eine notwendige Voraussetzung dafür, die komplexe Physik des Impuls-, Stoff- und Wärmeaustauschs in solchen Strömungen zu verstehen und zu modellieren.

Die Computertomographie (CT) auf der Basis von Röntgen- und Gammastrahlung stellt eine geeignete Methode zur Untersuchung von Mehrphasen-Strömungen dar. Die Messung erfolgt dabei berührungslos und hat somit keine Rückwirkung auf die Strömung. Die Strahlung ermöglicht einen Blick in undurchsichtige Gefäße und durchdringt trübe oder intransparente Fluide, Supensionen, Emulsionen und Feststoff-Schichten. Da die Strahlungsausbreitung geradlinig erfolgt, sind scharfe Abbildungen verborgener Strukturen möglich. Bisher wird die Computertomographie hauptsächlich in der Medizin und in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung eingesetzt.

Prinzip der Röntgentomographie

In einem medizinischen Computertomographen (CT-Scanner) erfolgt die Bildgewinnung durch ein um den Patienten rotierendes Aufnahmesystem, welches aus einer Röntgenröhre und einem Röntgendetektor-Bogen besteht. Während der Rotation werden aus vielen Blickwinkeln Durchstrahlungsprojektionen des Objektes aufgezeichnet, üblicherweise bis zu 1.000 pro Umdrehung. Nach einer vollen Umdrehung errechnet ein Computer mit einem mathematischen Algorithmus daraus ein Schnittbild. Dieses gibt dann die zweidimensionale Verteilung des Materials im Untersuchungsquerschnitt wieder. Aufgrund der mechanischen Trägheit der Scannerkomponenten sind Aufnahmeraten von höchstens zwei Bildern pro Sekunde möglich.



Prinzip der ultraschnellen Elektronenstrahl-Tomographie

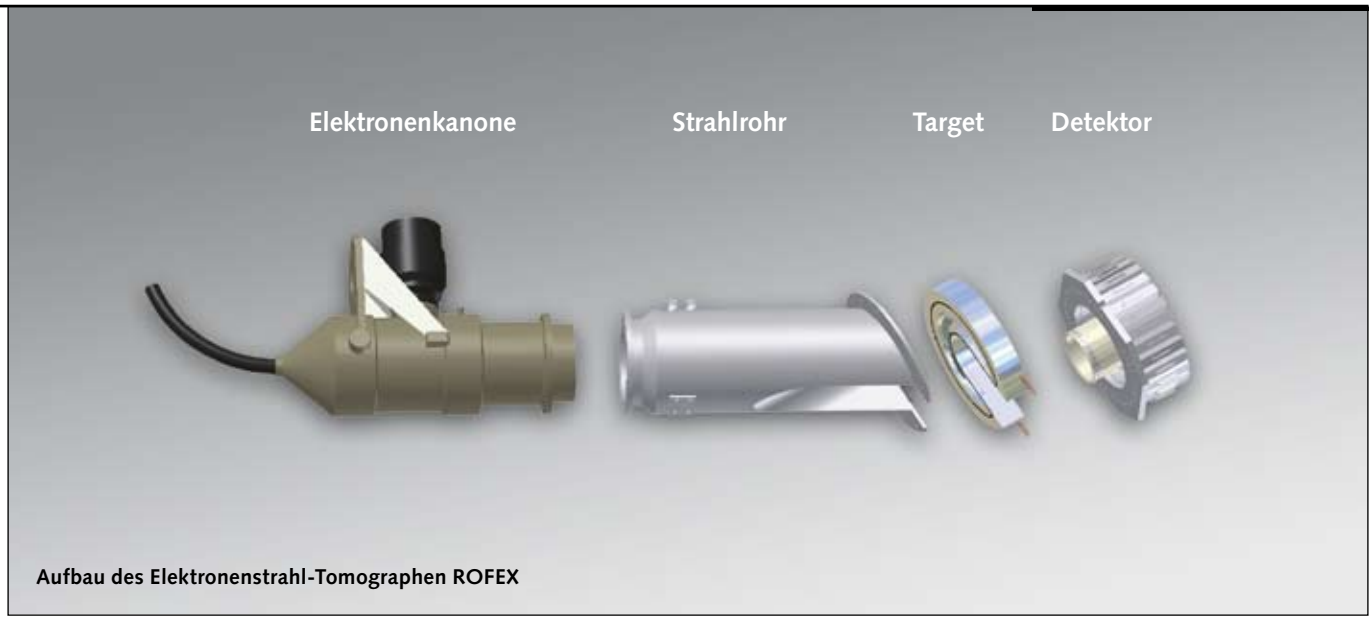
Zur Abbildung dynamischer Prozesse, zum Beispiel des schlagenden Herzens, wurde in den 1980er Jahren die Elektronenstrahl-Tomographie entwickelt. Das Grundprinzip dieser Technik besteht darin, einen gebündelten Elektronenstrahl in einem evakuierten Strahlrohr mit Hilfe einer elektromagnetischen Ablenkvorrichtung schnell über einen großen, ringförmigen Metallkörper (das „Target“) zu führen, welcher das Untersuchungsobjekt umgibt. Beim Abbremsen der Elektronen auf der Target-Oberfläche wird Röntgenstrahlung erzeugt. Auf diese Weise lässt sich der mechanisch rotierende Verbund von Röntgenquelle und Detektor bei der CT durch einen rotierenden Röntgenbrennfleck bei feststehendem Target und Detektorring ersetzen. Diese Technik ermöglicht Aufnahmen mit bis zu 20 Bildern pro Sekunde.

Bis zu 7.000 Bilder pro Sekunde

Das Prinzip der Elektronenstrahl-Tomographie eignet sich auch für die Untersuchung sehr schneller Strömungsvorgänge. Dabei ist es allerdings erforderlich, die Bildrate eines derartigen Scanners auf mindestens 1.000 Bilder pro Sekunde zu steigern. Vor kurzem wurde am Institut für Sicherheitsforschung der weltweit schnellste Elektronenstrahl-Tomograph ROFEX entwickelt und in Betrieb genommen. Das Gerät besteht aus einer Elektronenkanone mit Elektronenoptik und schnellem Ablenksystem, einem Strahlrohr, einem Target und einem schnellen Röntgendetektor.

Die Elektronenkanone liefert einen Elektronenstrahl mit max. 150 kV Beschleunigungsspannung und 10 kW Leistung. Damit liegt die Strahlerleistung etwa im Bereich typischer medizinischer Röntgenstrahler. Mit Hilfe der Elektronenoptik wird der Strahl auf ein ca. 1 m entferntes teilkreisförmiges Target in einen ca. 1 mm großen Brennfleck gebündelt und mit Hilfe des Ablenksystems mit hoher Geschwindigkeit über das Target geführt. Das Target selbst ist ein Materialverbund aus Kupfer und Wolfram, der hohen thermischen Belastungen standhalten muss.

Der Röntgendetektor ist eine Spezialentwicklung. Er ermöglicht räumliche Auflösungen im Millimeterbereich und wird von einer schnellen Datenerfassungs-Elektronik ausgelesen. Für die Berechnung von Schnittbildern kommt eine am FZD entwickelte Tomographie-Software zum Einsatz. Prinzipiell kann aus den während einer vollen Elektronenstrahl-Rotation aufgezeichneten Daten jeweils ein Schnittbild rekonstruiert werden. Damit erlaubt der Scanner die Aufzeichnung von bis zu 7.000 Bildern pro Sekunde, eine Bilderfassungsrate, die für ein tomographisches Messsystem einmalig ist. Solche Bildaufnahmeraten sind erforderlich, um in komplexe Strömungen in Zeitlupe hineinschauen zu können. →



Aufbau des Elektronenstrahl-Tomographen ROFEX

Strömungen in Zeitlupe beobachten

Ein typisches Anwendungsbeispiel stammt aus der Chemieverfahrenstechnik. Dort kommen häufig Blasensäulen als Chemiereaktoren zum Einsatz. Gas wird in eine mit Flüssigkeit gefüllte Säule eingeperlt, um dieses mit der Flüssigkeit zur Reaktion zu bringen. Die Gasverteilung in der Flüssigkeit bestimmt die Effizienz des Reaktionsgeschehens. Erwünscht sind feindisperse Gasverteilungen mit einer hohen Phasengrenzflächendichte. Große Gaspfropfen sind dagegen unerwünscht.

Die Form der Strömung stellt sich in Abhängigkeit verschiedener geometrischer Parameter und Stoffwerte von selbst ein und ist schwer vorhersagbar. Die ultraschnelle Elektronenstrahl-Tomographie erlaubt es nunmehr, die Gasverteilung in einem solchen Gefäß mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu beobachten. Bei niedrigen Gasgehalten wäre dies auch mit einer Videokamera möglich. Interessant sind aber gerade hohe Gasgehalte, bei denen das Zusammenwachsen von Gasblasen schnell zu einem abrupten Umschlagen der Strömung in eine Pfropfenströmung führt.

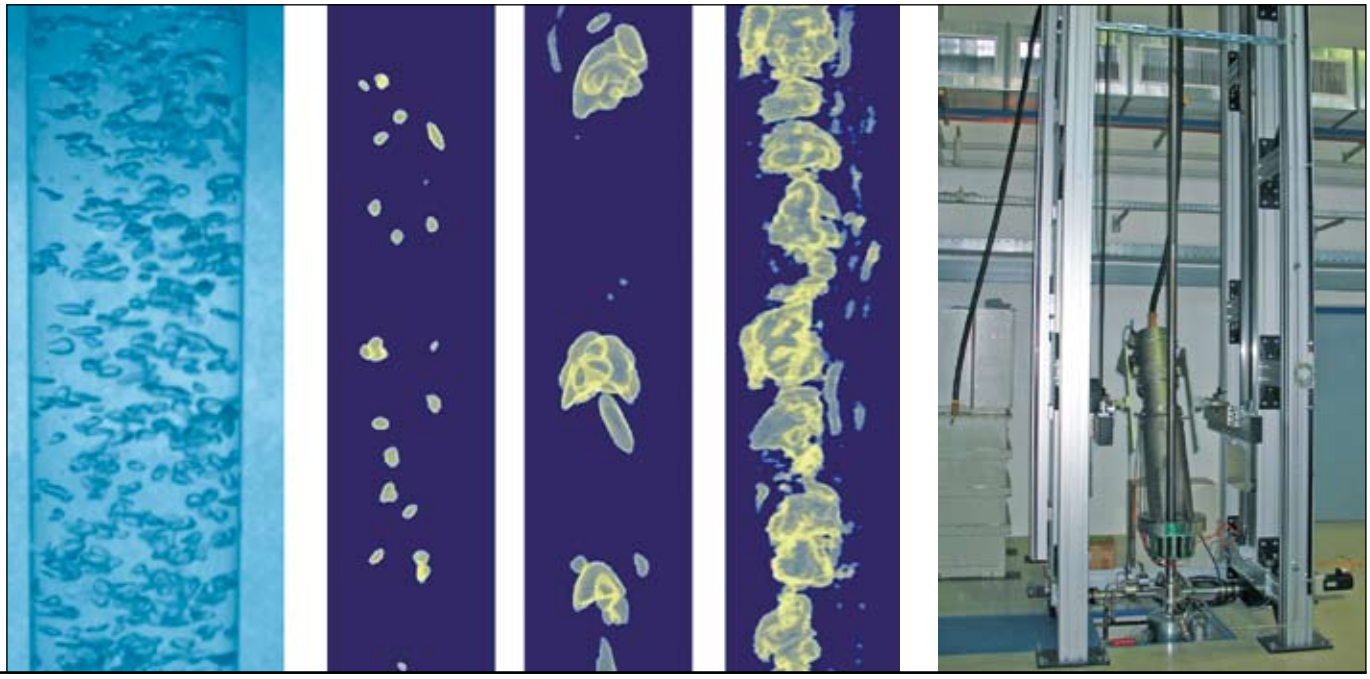
Der am FZD entwickelte und aufgebaute ultraschnelle Elektronenstrahl-Tomograph ist ein universelles Messinstrument zur Untersuchung von Mehrphasen-Strömungen und bezüglich seiner räumlichen und zeitlichen Auflösung einzigartig. In naher Zukunft kommt dieser Scanner an der Thermohydraulik-Versuchsanlage TOPFLOW zum Einsatz. Ziel ist die Visualisierung und Vermessung von Dampf-Wasser-Strömungen bei hohen Drücken und Temperaturen. Diese Arbeiten sind eingebettet in das Forschungsvorhaben TOPFLOW-II zur Entwicklung von Methoden der „Computational Fluid Dynamics" für Fragen der Sicherheit von Kernreaktoren.

KONTAKT

_Institut für Sicherheitsforschung
Dr. Uwe Hampel
u.hampel@fzd.de

Frank Fischer
f.fischer@fzd.de

Typisches Anwendungsbeispiel: Aufnahmen an einer Blasensäule, links mit Hochgeschwindigkeits-Videokamera, die Mitte zeigt dreidimensionale Bilder mit der ultraschnellen Elektronenstrahl-Tomographie.
Rechts: Elektronenstrahl-Tomograph ROFEX an der Testsektion der Thermohydraulik-Versuchsanlage TOPFLOW



Fasern in der Leitung

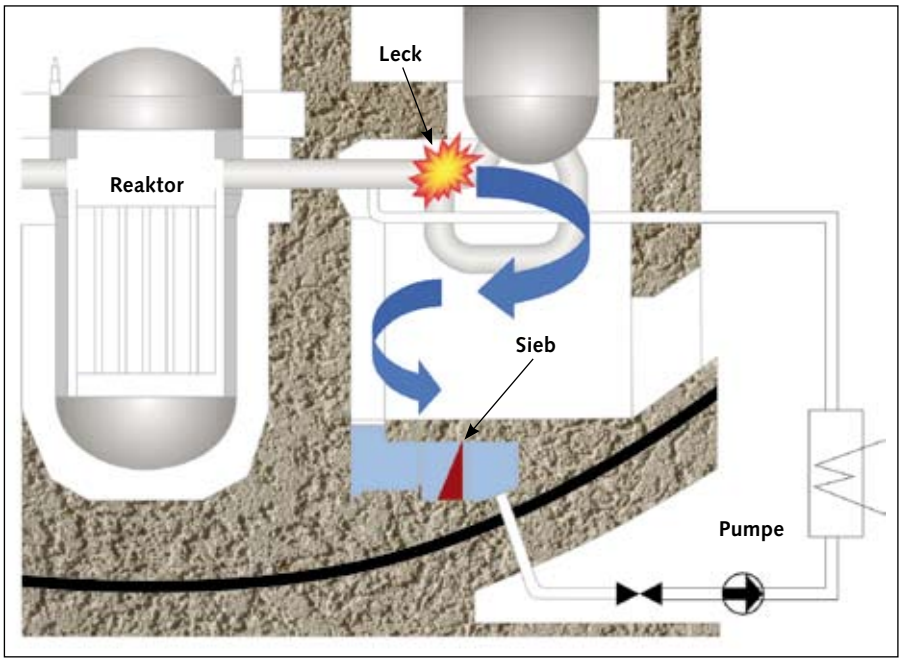
Im unwahrscheinlichen Fall eines Lecks im Primärkreislauf eines wassergekühlten Kernreaktors darf abgerissenes Isoliermaterial die Arbeit der Notkühlsysteme nicht beeinträchtigen. Deshalb braucht man genaue Kenntnisse darüber, wie das Isoliermaterial im Sicherheitsbehälter und im Notkühlsystem transportiert wird.

_TEXT . Dr. Eckhard Krepper

Der Betrieb von Kernkraftwerken unterliegt extrem hohen Sicherheitsanforderungen. So ist nachzuweisen, dass für den Fall eines Lecks im Kühlkreislauf die im abgeschalteten Kern immer noch freigesetzte Wärme jederzeit sicher abgeführt werden kann. Dafür ist ein gestaffeltes System von Notkühl-Einrichtungen vorgesehen. Vor allem in späteren Phasen des Störfalls kommt eine über sehr lange Zeit arbeitsfähige Kühlung zum Einsatz, bei der Wasser aus den unteren Räumen des Sicherheitsbehälters, dem so genannten Sumpf, in den Reaktor befördert wird.

Bei einem solchen Leck können sich Teile des Isoliermaterials ablösen und in den Sumpf gespült werden. Dort filtern Siebe zwar zunächst die Fasern des Isoliermaterials heraus, bei großen Mengen an Isoliermaterial könnten sich die Siebe aber auch zusetzen. Das könnte die Wirkung der Langzeitkühlung gefährden. Deshalb muss dafür gesorgt werden, dass der Reaktorkern auch in derartigen Fällen sicher gekühlt werden kann. Hierbei spielen die Auswahl des geeigneten Isoliermaterials sowie die Konstruktion der Sumpf-Siebe eine entscheidende Rolle.

Mitarbeiter im FZD entwickeln physikalische Modelle und Computerprogramme zur dreidimensionalen Beschreibung, wie Fasern sich in einer Strömung verhalten. Diese Modelle sollen später in Programmsysteme zur Sicherheitsbewertung von Kernkraftwerken eingebaut werden. Die Modelle wiederum stützen sich auf Experimente, die an der Hochschule Zittau-Görlitz durchgeführt werden.



Problemstellung: der Reaktor und der Primärkreislauf befinden sich im Sicherheitsbehälter aus Beton, das Sieb ist dort im Sumpf angebracht.

Experiment und Simulation

Proben von im Kernkraftwerk verwendeten Isoliermaterial werden in Zittau einem Dampfstrahl ausgesetzt und dadurch zerfasert – wie es auch bei einem möglichen Leckstörfall passieren könnte. In durchsichtigen Plexiglassäulen wird das Strömungsverhalten der Fasern dann genau beobachtet. Die Experimente zeigen, wie sich die Fasern in einer Wasserströmung bewegen und wann bzw. wie sie sich auf dem Sumpfboden ablagern. An das komplexe Verhalten von Fasern in Strömungen haben sich in diesem Zusammenhang bisher weltweit nur wenige Forscher gewagt. Die Rossendorfer Theoretiker modellieren die Faserverteilung in der Strömung realitätsnah und vergleichen sie mit den Zittauer Experimenten. Die Simulation im Bild unten zeigt, wie ein Wasserstrahl mit Mineralwoll-Fasern im Sumpf eintrifft und wie sich die Fasern auf dem Sumpfboden ablagern. Das gemeinschaftliche Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

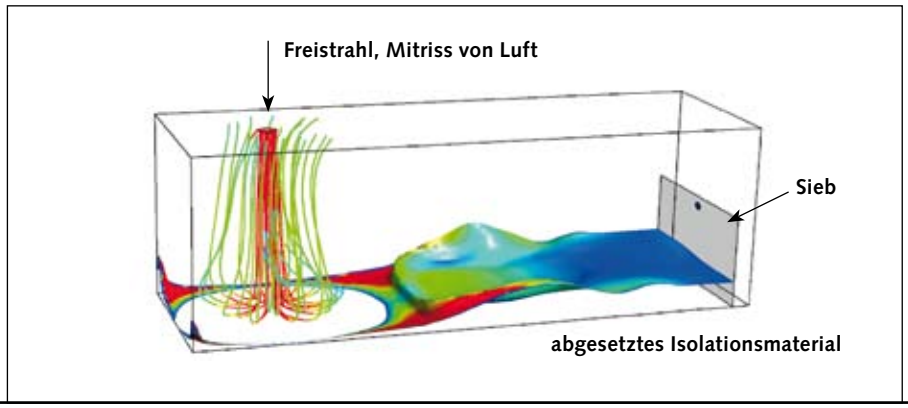


Fasern in einer Plexiglassäule an der Hochschule Zittau-Görlitz

KONTAKT

_Institut für Sicherheitsforschung
Dr. Eckhard Krepper
e.krepper@fzd.de

Simulation der Wasserströmung, des Luftmitrisses und der Faserverteilung



Den kosmischen Magnetismus ins Labor geholt

Akkretionsscheiben sind Gasscheiben, aus denen junge Sterne und Schwarze Löcher gefüttert werden. Wie das konkret geschieht, haben Wissenschaftler am FZD mit einem Experiment nachgewiesen.

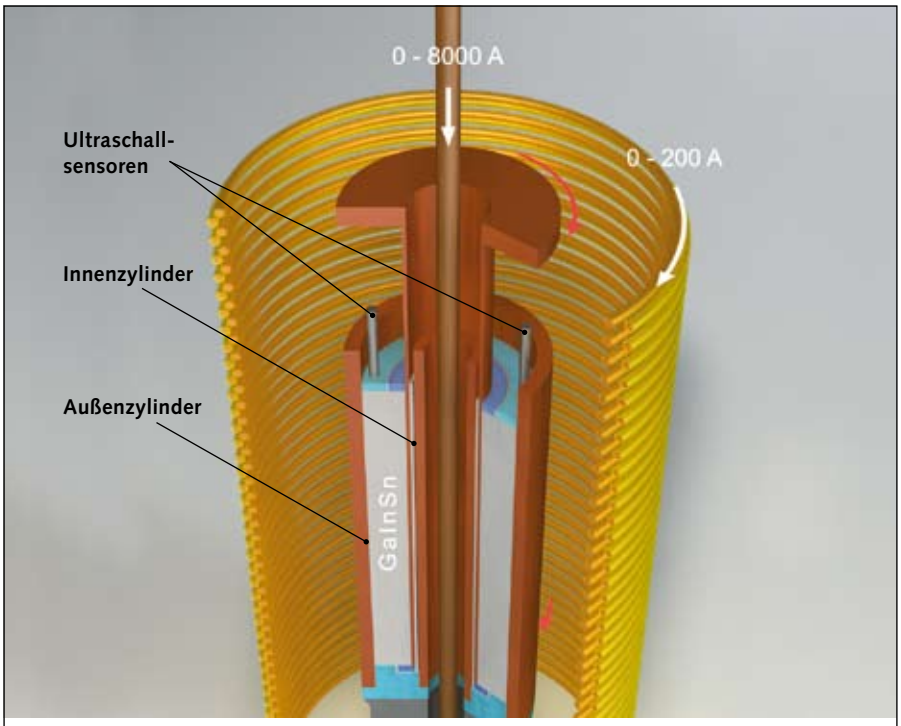
_TEXT . Dr. Frank Stefani, Thomas Gundrum, Dr. Gunter Gerbeth

Verglichen mit der Schwerkraft, die für die Bildung der meisten Strukturen im Kosmos verantwortlich ist, scheinen magnetische Kräfte nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Und doch sind sie für das Funktionieren der Akkretionsscheiben von enormer Bedeutung. Die Rede ist von der Magnetorotations-Instabilität (MRI), die bereits 1959 theoretisch vorhergesagt, in ihrer Bedeutung für die Astrophysik aber erst 1991 erkannt wurde. Sie bewirkt, dass hydrodynamisch stabile Rotationsströmungen durch Magnetfelder destabilisiert und dadurch turbulent werden. Erst durch diese Instabilität wird es möglich, dass die Akkretionsscheibe ihren Drehimpuls nach außen abgibt und sich in ihrem Zentrum Materie als Stern und Schwarzes Loch sammelt.

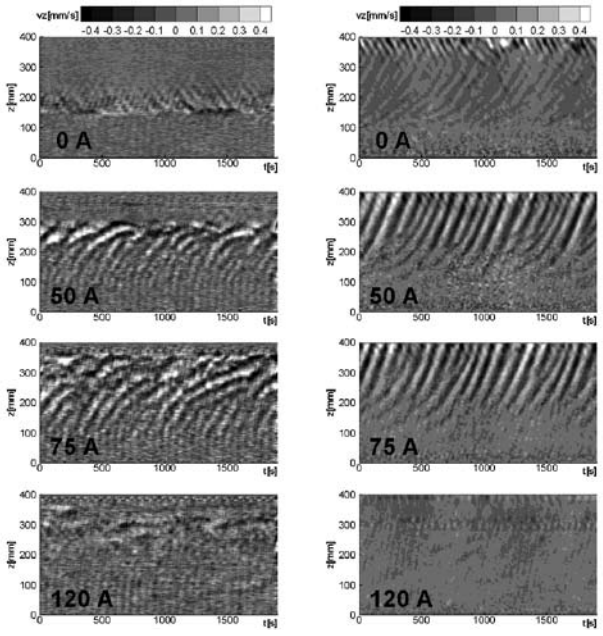
Aufgrund der enormen Bedeutung der MRI bemühen sich Wissenschaftler weltweit intensiv, diese auch im Labor zu untersuchen. Allerdings ist dies nur mit einem großen experimentellen Aufwand möglich, sofern man ein rein senkrecht angelegtes Magnetfeld zugrunde legt. Vor drei Jahren entdeckten Rainer Hollerbach und Günther Rüdiger, dass man diesen Aufwand drastisch reduzieren kann: Statt von einem senkrechten Magnetfeld auszugehen, schlugen sie vor, im Labor ein schraubenförmiges (helikales) Magnetfeld zu erzeugen. Seit 2006 wird die „helikale MRI“ im FZD im Rahmen des PROMISE-Experiments (**P**otsdam **Ro**ssendorf **M**agnetic **I**n**S**tability **E**xperiment) untersucht.

Das PROMISE-Experiment besteht aus zwei um eine gemeinsame Achse rotierenden Kupferzylindern, zwischen denen sich eine flüssige Metalllegierung (Gallium-Indium-Zinn) befindet. Wenn man ein durch Ströme in einer äußeren Spule und in einem vertikalen Kupferrohr erzeugtes, helikales Magnetfeld anlegt, setzt die erste Instabilität in Form einer nach unten oder oben wandernden Welle des Geschwindigkeitsfeldes ein. Sie kann mit Hilfe von zwei Ultraschall-Geschwindigkeitssensoren ausgemessen werden. In der neuesten Version des Experiments (PROMISE 2) wurden die axialen Randbedingungen der Strömung verbessert: die äußeren Endringe rotieren nun mit dem äußeren Kupferzylinder und die inneren Endringe mit dem inneren Kupferzylinder mit. Dadurch laufen die Wellen durch das gesamte Fluidvolumen hindurch.

→



So funktioniert das PROMISE-2-Experiment: Die flüssige Gallium-Indium-Zinn-Legierung strömt zwischen zwei rotierenden Kupferzylindern und wird durch ein angelegtes schraubenförmiges Magnetfeld destabilisiert. Die Instabilität in Form einer wandernden Welle des Geschwindigkeitsfeldes wird mit Hilfe zweier Ultraschallsensoren ausgemessen.



Gemessene Axialgeschwindigkeit in Abhängigkeit des angelegten Spulenstromes, der die Stärke des zweiten, senkrechten Magnetfeldes bestimmt. Die Magnetorotations-Instabilität tritt nur in einem bestimmten Bereich des Spulenstromes auf. Im verbesserten zweiten Experiment (rechts) läuft die Welle bis zum oberen Rand der Zylinder, während sie im ersten Experiment vorher erlischt.

Es ist typisch für die MRI, dass sie nur bei mittleren Spulenströmen (zwischen 50 und 75 Ampere) auftritt, während sie sowohl bei geringen (0 – 30 Ampere) als auch bei großen (ab 120 Ampere) Spulenströmen verschwindet. Das neue Experiment zeigt eine deutlich verbesserte Übereinstimmung mit den theoretischen Vorhersagen.

Der Erfolg der PROMISE-Experimente hat eine intensive Debatte über die Rolle der „helikalen MRI" für die astrophysikalische Forschung ausgelöst. Insbesondere wird diskutiert, ob sie auch in solchen Gebieten funktioniert, in denen die „Standard-MRI" mit einem rein vertikalen Magnetfeld nicht arbeitet. Dabei geht es z. B. um die sogenannten „dead zones" im Zentrum protoplanetarer Scheiben, also Gasscheiben, aus denen ein Sonnensystem entsteht, sowie um die äußeren Gebiete von Akkretionsscheiben um Schwarze Löcher. ⊣

INFO

PROMISE

2006 gelang es Wissenschaftlern des Astrophysikalischen Instituts Potsdam (AIP) und des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf erstmals, die Magnetorotations-Instabilität im Labor nachzuweisen. Idee und theoretische Grundlagen für das Experiment stammten von Günther Rüdiger (AIP) und Rainer Hollerbach (Universität Leeds).

Experten für Flüssigmetallexperimente aus der Abteilung Magnetohydrodynamik unter Leitung von Gunter Gerbeth am FZD setzten das Experiment um (PROMISE 1). Inzwischen haben die FZD-Forscher das Experiment für einen noch deutlicheren Nachweis der Magnetorotations-Instabilität weiterentwickelt (PROMISE 2).

KONTAKT

_Institut für Sicherheitsforschung

Frank Stefani
f.stefani@fzd.de

Thomas Gundrum
th.gundrum@fzd.de

Gunter Gerbeth
g.gerbeth@fzd.de

Wer es genauer wissen möchte:
Rüdiger u.a: The Astrophysical Journal Letters **649** (2006), L145- L147; *Stefani u.a:* Physical Review Letters **97** (2006) 184502; *Stefani u.a:* New Journal of Physics **9** (2007) 295

Junge Strömungsexperten

Unwahrscheinliche und komplexe Störfälle in Kernkraftwerken zu simulieren, hat sich eine Nachwuchsgruppe zum Ziel gesetzt. Ihre Arbeit trägt zur Sicherheit der Kraftwerke bei.

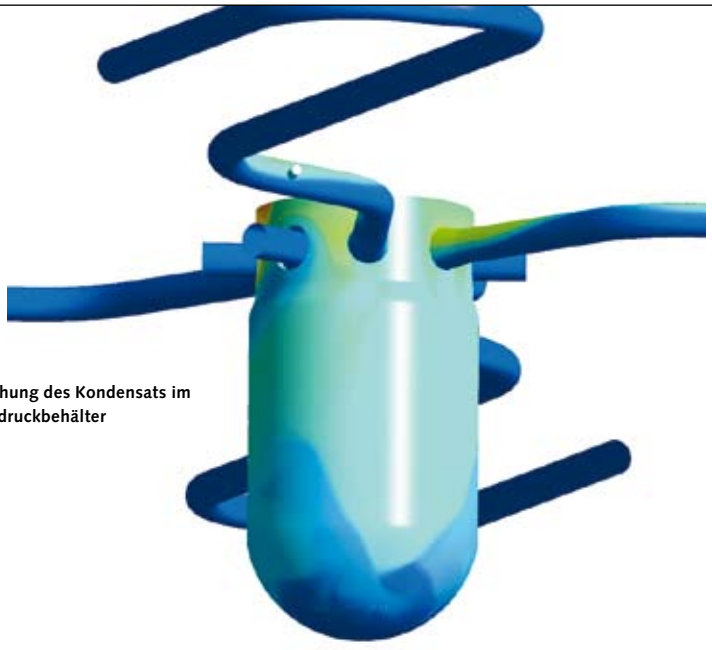
_TEXT . Dr. Thomas Höhne

Die Nachwuchsgruppe „CFD-Entwicklung" (CFD = Computational Fluid Dynamics) am FZD ist gut drei Jahre alt und beschäftigt sich mit numerischen Strömungssimulationen. Diese haben sich aufgrund stetig wachsender Rechnerleistung in den vergangenen Jahren zu einem wichtigen Forschungs- und Entwicklungsinstrument entwickelt. Gerade im Vergleich zu aufwändigen experimentellen Untersuchungen gewinnen sie zunehmend an Attraktivität. Dies gilt nicht nur für die Kerntechnik, sondern beispielsweise auch für die Verfahrenstechnik und den Fahrzeugbau.

Leiter des internationalen Strömungsnachwuchses ist Dr. Thomas Höhne. Die Gruppe arbeitet experimentell und theoretisch. So entsteht eine enge Verbindung zwischen Experiment und Messtechnik auf der einen und theoretischen Entwicklungen auf der anderen Seite. Ein wichtiges Thema der CFD-Nachwuchsgruppe ist die einphasige numerische Simulation der Kühlmittelvermischung in Druckwasserreaktoren. So sollen Störfälle im Primärkreislauf eines Kernkraftwerks berechnet und die Anlagensicherheit bewertet werden. Mit der Vermischungsanlage ROCOM, einem im Maßstab 1:5 skalierten Modell eines deutschen Druckwasserreaktors, steht eine einzigartige Anlage zur Überprüfung von CFD-Rechnungen zur Simulation von turbulenten Strömungen zur Verfügung.

Störfälle per Experiment und Simulation

Ein Beispiel für ein angenommenes Störfallszenario ist ein Kühlmittelverlust mit einem kleinen Leck im kalten Strang (bevor das Kühlmittel in den Reaktor eintritt) bei gleichzeitigem Ausfall der Hochdruck-Notkühlung. Als Kühlmittel wird Wasser eingesetzt, das mit Bor vermischt ist, wobei dem Bor die Rolle zukommt, die Kettenreaktion im Reaktor zu kontrollieren. Nun hat jedes Leck im Primärkreislauf zur Folge, dass der Druck dort abfällt. Deshalb beginnt das fast 300 °C heiße Wasser zu sieden und es entsteht Dampf. Der Dampf kondensiert in den Dampferzeuger-Rohren und es bildet sich Kondenswasser, welches sich unterhalb des Dampferzeugers sammeln kann. Beim Wiederanlaufen der Kühlmittelzirkulation vermischt sich dieses borfreie Kondensat mit kühlerem (borhaltigen) Kühlmittel und wird in den Kern transportiert. Für die Sicherheitsbewertung ist entscheidend, wie gut →



Vermischung des Kondensats im Reaktordruckbehälter

Ergebnisse der CFD-Simulation zur dichtegetriebenen Vermischung in der ROCOM-Anlage (hellblau bis grün – schwereres, borhaltiges Kühlmittel)



Gruppenbild an der ROCOM-Versuchsanlage: Yixiang Liao, Suleiman Al Issa, Dr. Thomas Höhne, Dr. Gregory Cartland-Glover, Christophe Vallée, Dr. Martin Schmidtke, Dr. Alexander Grahn, Dr. Hristo Hristov

sich das Kondensat mit dem umgebenden Kühlmittel vermischt, da die Kettenreaktion unerwünscht angefacht würde, wenn die Konzentration des Neutronenabsorbers Bor im Kern zu niedrig wird.

Für alle realistischen Szenarien konnten die Rossendorfer Untersuchungen belegen, dass die Borkonzentration nie so weit abfällt, dass der Reaktor kritisch werden könnte. Aufgrund der führenden Stellung in der Analyse der Kühlmittelvermischung wurde der Leiter der Nachwuchsgruppe zum federführenden Experten in einem TACIS[1]-Projekt zur Kühlmittelvermischung für russische Druckwasserreaktoren berufen.

Das wichtigste Ziel für die CFD-Nachwuchsgruppe ist jedoch, Modelle für Mehrphasen- bzw. Mehrkomponentenströmungen zu entwickeln. Ein Beispiel sind die sogenannten Heißstrang-Experimente an der TOPFLOW-Versuchsanlage. Bei diesen Experimenten geht es um Störfälle, bei denen heißer Dampf vom Reaktor zum Dampferzeuger strömt, während Kühlmittel im Gegenstrom zum Reaktor zurückströmt. Für die sichere Nachwärmeabfuhr im Fall solcher Störfallszenarien ist das Strömungsregime im Heißstrang von entscheidender Bedeutung. Vor allem muss man ausschließen können, dass der Dampf den Rückstrom des Kühlmittels unterbindet (Gegenstrombegrenzung). In diesem Fall würde kein Kondensat mehr in den Reaktorkern gelangen und könnte dann dort auch nicht mehr zur Kühlung beitragen. Um diese und andere komplexe Strömungsvorgänge zu simulieren, werden derzeit neue Modelle für Zweiphasen-Anwendungen weiterentwickelt und wiederum im Experiment getestet.

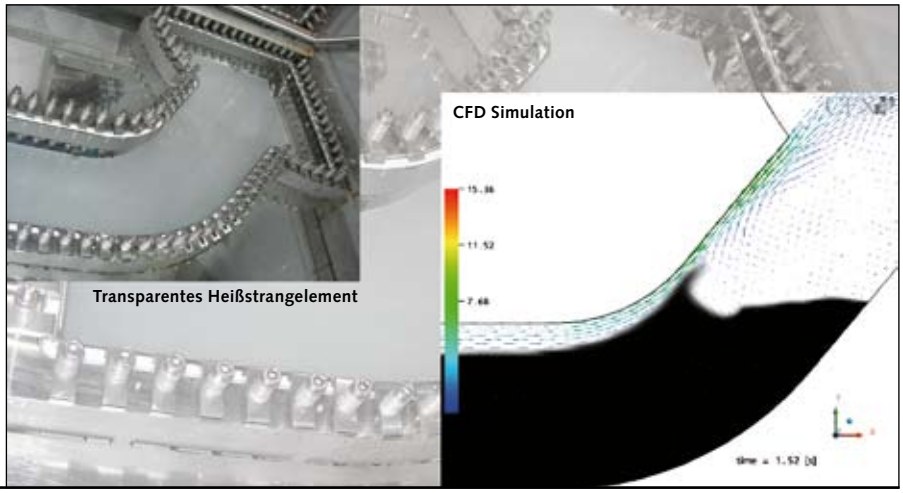
Die Nachwuchsgruppe pflegt den fachlichen Kontakt mit dem kommerziellen Programmentwickler ANSYS CFX, um die entwickelten Modelle effizient in ein fortschrittliches und weit verbreitetes Programmpaket einzubauen und für die Auslegung und Sicherheitsbewertung kerntechnischer Apparate nutzbar zu machen. ⊣

[1] TACIS: **Technical Aid to the Commonwealth of Independent States** = Technische Hilfe für die GUS Staaten

KONTAKT

_Institut für Sicherheitsforschung
Dr. Thomas Höhne
t.hoehne@fzd.de

Schema des Heißstrang-Kanals in einem Kernkraftwerk und Ergebnisse einer CFD-Simulation zur Herausbildung einer Dampf/Wasser-Schwallströmung im Kanal, die den Rücklauf von Kondensat in den Reaktor behindert und so zu Problemen bei der Nachwärmeabfuhr führen kann.



Mikrokegel als Elektronenfalle für besseres Röntgenlicht

Intensives Laserlicht, das auf dünne Folien fokussiert wird, ist auch eine Quelle für Röntgenstrahlung. Speziell strukturierte Oberflächen können die Qualität der Strahlung verbessern.

_TEXT . Anja Bartho



Dr. Jennifer Rassuchine

Seitdem Wilhelm Conrad Röntgen vor über einhundert Jahren die nach ihm benannte Strahlung entdeckte, wurden immer bessere und intensivere Röntgenquellen entwickelt. Um Röntgenstrahlung zu erzeugen, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten – eine davon sind heiße Plasmen, die beim Auftreffen von intensivem Laserlicht auf Materie entstehen. Das Plasma ist der im Weltall vorherrschende Materiezustand, bei dem die Elektronen von den Atomkernen getrennt sind.

Derzeit wird in Europa intensiv an der Entwicklung von Hochleistungs-Lasern gearbeitet – damit verbindet sich auch der Wunsch nach einer neuen, intensiven Quelle für Röntgenstrahlung. Röntgenstrahlen haben sehr geringe Wellenlängen zwischen 10 und 0,01 Nanometern. Sie eignen sich für hochaufgelöste medizinische Bildgebung oder auch, um atomare Prozesse in Echtzeit zu beobachten. Bei der Erzeugung von Röntgenstrahlung durch Laserlicht entscheidet aber nicht nur die Leistung des Lasers über die Qualität der Strahlung. Ob und inwiefern man durch spezielle Targets – Zieloberflächen – bessere und intensivere Röntgenstrahlung erzeugen kann, untersuchte Dr. Jennifer Rassuchine in ihrer Dissertation. Sie wurde von Prof. Thomas Cowan, Direktor des Instituts für Strahlenphysik am FZD, betreut.

Dass man durch kegelförmige Mikrotargets die Intensität von Röntgenstrahlung erhöhen könne, war bereits vorhergesagt worden. Dr. Rassuchine sowie weitere internationale Wissenschaftler konnten bei gemeinsamen Experimenten an einem Terawatt-Laser am „Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses" (LULI) in Paris – einem Forschungszentrum für Laserplasmaphysik und ihre Anwendungen – nun erstmals eine erhebliche Steigerung der Röntgenstrahlung erzielen. „Wir konnten 50 % mehr Strahlung generieren", sagt Dr. Rassuchine.

Kegelwand als Spiegel

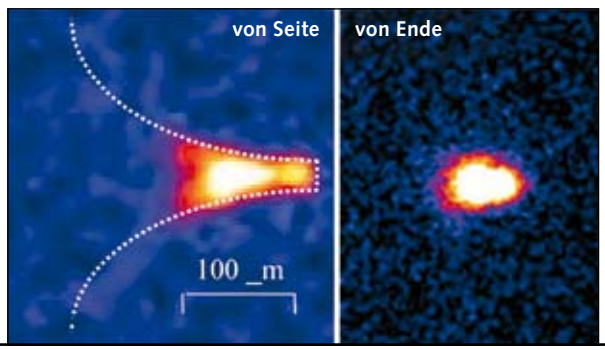
Als Targets benutzten die Forscher nanotechnologisch veränderte Oberflächen, aus denen winzige kegelartige Strukturen herausstülpen. Anders als bei einer glatten Oberfläche trifft der Strahl des Hochleistungs-Lasers in einem bestimmten Winkel auf die Innenseite des Kegels, die dabei ionisiert wird, d. h. Elektronen werden von den Atomkernen abgetrennt. Durch das entstehende Plasma bilden sich im Kegel ein elektrisches Feld sowie ein magnetisches Feld, das die energiereichen Elektronen im Inneren des Kegels gefangen hält. Erst an der Spitze des Kegels wird die intensive Röntgenstrahlung abgegeben.

Dr. Rassuchine und ihre Partner untersuchten unterschiedliche Kegelformen, z. B. Kegel mit einer scharfen Spitze und Kegel mit einer stumpfen Spitze. Doch nur mit den Kegeln, die eine trichterförmige Spitze besaßen, konnten sie die höchsten Strahlungsintensitäten erzielen.

Mögliche neue Röntgenquellen könnten im medizinischen Bereich vielfältig angewendet werden: als Systeme zur Bestrahlung von Tumoren und gleichzeitigen Kontrolle der Position des Patienten oder für eine bessere Qualität bei der medizinischen Bildgebung. Durch die enorme Leistung gepulster Laser könnte bei derartigen Röntgenquellen die Bestrahlungsdosis gesenkt werden. Damit würde man gleichzeitig das Risiko, gesundes Gewebe zu schädigen – eine gefürchtete Nebenwirkung bei der Strahlentherapie – senken.

KONTAKT

_Institut für Strahlenphysik
Prof. Thomas Cowan
t.cowan@fzd.de



In der Kegelspitze wird Röntgenstrahlung emittiert

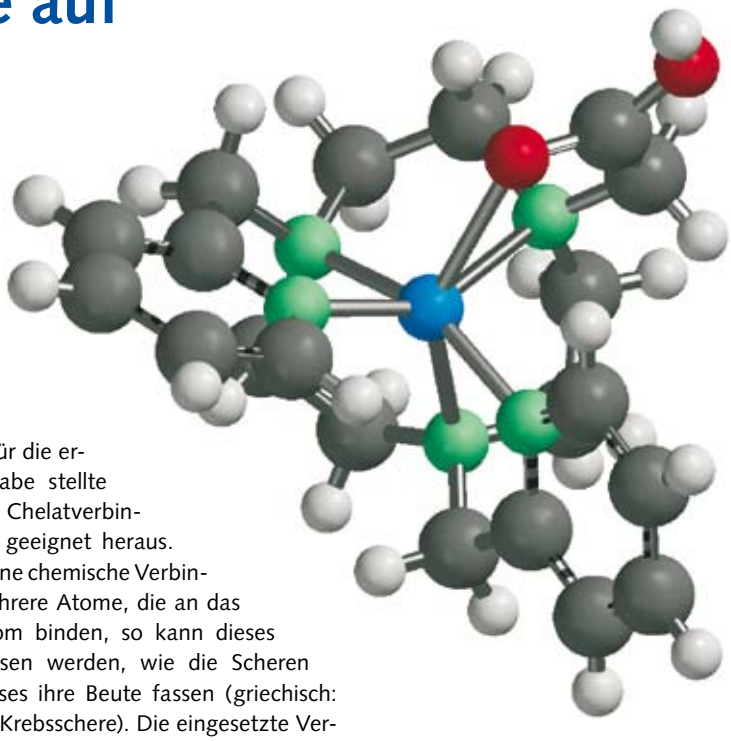
Kupfer spürt Tumore auf

_TEXT . Dr. Christine Bohnet

Das Metall Kupfer kennt jeder. Instabile und damit radioaktive Varianten sind die Kupferisotope Kupfer-64 und Kupfer-67, die sich für die Bildgebung bzw. die Tumortherapie in der Nuklearmedizin sehr gut eignen und damit prinzipiell zum Aufspüren und Vernichten von Tumoren eingesetzt werden können. Dafür ist es jedoch notwenig, das radioaktive Kupfer so mit einem Molekül zu verbinden, dass dieses im lebenden Organismus zu den Krebszellen wandert. So könnten Tumore und Metastasen lokalisiert werden, um dann eine wirkungsvolle Zerstörung einzuleiten.

Eine der größten Herausforderungen für die Medizin im 21. Jahrhundert besteht in der Entwicklung neuer, effektiver Krebstherapien. Derzeit sind ionisierende Strahlen neben dem Messer des Chirurgen und der Chemotherapie eine erfolgreiche und häufig eingesetzte Waffe gegen den Krebs. Damit Strahlung einen Tumor vollständig zerstört, muss die wirksame Strahlendosis alle krankhaften Zellen treffen. Wenn sich allerdings irgendwo im Körper kleine Metastasen gebildet haben, dann sind diese meist gar nicht aufzufinden. Deshalb hat sich die Krebsforschung im FZD zum Ziel gesetzt, radioaktive Arzneimittel zu entwickeln, die direkt im Körper zum Tumor und zu den Metastasen transportiert werden, um diese frühzeitig zu erkennen und effektiv zu behandeln. Dazu kann die freiwerdende Strahlungsenergie von geeigneten Radionukliden wie die des Kupfers-67 zum Absterben der Tumorzellen genutzt werden. Diese Methode, die interne Radionuklidtherapie oder auch Endoradionuklidtherapie genannt wird, ist heute erst für wenige Anwendungsfälle erfolgreich im Einsatz.

Eines der beiden Kupferisotope, das radioaktive Kupfer-64, kann mit Hilfe des institutseigenen Kreisbeschleunigers hergestellt werden. Damit das radioaktive Metall im Körper sicher zu den Krebszellen transportiert wird, mussten die Radiochemiker im FZD zusammen mit ihren Kooperationspartnern von der Monash-Universität in Australien zwei knifflige Aufgaben lösen. Zum einen müssen die radioaktiven Kupferatome eine feste Verbindung (Komplex) mit anderen Atomen eingehen, damit sie im Körper stabil bleiben und nicht lebenswichtige Organe wie etwa Leber und Niere schädigen. Zum anderen muss ein zielsuchendes Molekül an diese feste Verbindung angekuppelt werden, das die Aufgabe hat, ganz gezielt die Tumorzellen im Körper zu finden. Für die erste Aufgabe stellte sich eine Chelatverbindung als geeignet heraus. Enthält eine chemische Verbindung mehrere Atome, die an das Metallatom binden, so kann dieses umschlossen werden, wie die Scheren des Krebses ihre Beute fassen (griechisch: Chelat = Krebsschere). Die eingesetzte Verbindung enthält sechs Atome (5 Stickstoffatome und 1 Sauerstoffatom), die so um das Kupferatom angeordnet sind, dass der entstandene Komplex insgesamt eine sehr hohe Stabilität erhält. Gleichzeitig gestattet die Struktur das unkomplizierte Andocken eines Biomoleküls. Als zielsuchendes Molekül wählten die Forscher das spezifische Peptid Bombesin (Peptide sind kurze Eiweißketten). Von Bombesin ist bekannt, dass es an einen Rezeptor bindet, der in der Bauchspeicheldrüse vorkommt. Zugleich hat dieser Rezeptor eine große Bedeutung bei Prostata- und Brustkrebs.



Kupfer, eingefangen in einem Chelatkomplex: Kupfer (blau) mit 5 Stickstoffatomen (grün) und 1 Sauerstoffatom (rot)

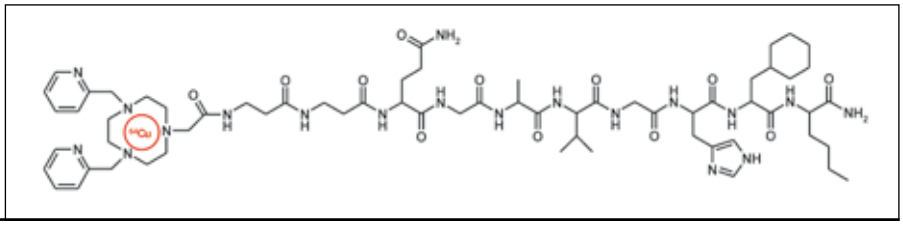
Das FZD verfügt neben dem Zyklotron zur Herstellung u. a. von radioaktiven Metallen über die nötigen radiochemischen Labors zur Synthese, Komplexierung und Reinigung von radioaktiven Molekülen bis hin zu einem tierexperimentellen Zentrum für die molekulare Bildgebung. So konnte für die zusammen mit den australischen Kollegen hergestellte radioaktive Kupferverbindung die Bioverteilung in einem kleinen Versuchstier untersucht werden. Dabei stellte sich heraus, dass die neue Verbindung den Erwartungen voll und ganz entsprach: sie ist ausreichend stabil und reichert sich zudem sehr gut im Zielorgan, der Bauchspeicheldrüse, an.

Die Forscher aus Dresden und Australien waren somit die ersten, die Kupfer-64 in das neue Chelatsystem einbinden, dieses dann an das Peptid Bombesin ankuppeln und schließlich erfolgreich im Tierversuch demonstrieren konnten, dass sich der neue Komplex wie gewünscht verhält. Auch für die Therapie könnte sich Kupfer als erfolgreich erweisen, allerdings wird dafür das Kupfer-67 benötigt. Da die Chemie der beiden Kupferisotope fast identisch ist, hoffen die Forscher, dass der Ersatz von Kupfer-64 durch Kupfer-67 relativ einfach sein wird.

Zunächst jedoch gelang ihnen ein wichtiger Schritt auf dem langen Weg von der Idee bis hin zur Zulassung eines radioaktiven Arzneimittels für eine verbesserte Krebsdiagnose. Für die neue Kupferverbindung stehen die Aussichten nicht schlecht, in Zukunft für die Diagnose des Prostatakrebses eingesetzt zu werden. ⊣

KONTAKT

_Institut für Radiopharmazie
Dr. Holger Stephan
h.stephan@fzd.de



Das neue Molekül, bestehend aus dem radioaktiven Isotop Kupfer-64 (rot), der Chelatverbindung (links) und dem Biomolekül Bombesin (rechts).

Schmelzen im Nanometer-Bereich

Forscher aus Wien und Dresden erzeugten Schmelzpunkte in der Oberfläche eines Kristalls, die nur wenige Nanometer groß waren (ein Nanometer entspricht dem millionsten Teil eines Millimeters).

_TEXT . Dr. Christine Bohnet

Hierzu setzten die Forscher hochgeladene Ionen ein, also Atome, denen ein Großteil ihrer Elektronen entzogen wurde. Diese Ionen besitzen eine hohe interne Energie, die sie beim Auftreffen auf den Kristall in sehr kurzer Zeit abgeben und damit ein lokales Schmelzen der Oberfläche hervorrufen. Die Schmelze erstarrt und es entstehen hügelartige Erhebungen im Nanometer-Bereich.

Das Xenon-Atom besitzt 54 Elektronen. Gelingt es, einen Großteil der Elektronen zu entfernen, so ist das zurückbleibende Rumpf-Atom sehr stark ionisiert. Bei dem Ionisationsprozess wird dem Ion jedoch Energie zugeführt. Diese interne Energie, so konnten Physiker der TU Wien und des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf (FZD) nun zweifelsfrei in gemeinsamen Experimenten belegen, ist für das neuartige Zerstörungsmuster auf der Oberfläche des behandelten Kristalls verantwortlich.

Das Besondere an der Rossendorfer Anlage zur Erzeugung hochgeladener Ionen ist, dass diese vor der Materialprobe gezielt abgebremst werden können. Die Xenon-Ionen treffen mit einer Energie von nur 150 Elektronenvolt auf die Materialoberfläche (ein Elektronenvolt entspricht der Energie, die ein Elektron erhält, wenn es durch eine Spannung von einem Volt beschleunigt wird). Im Vergleich zu den 150 Elektronenvolt besitzt jedes einzelne hochgeladene Ion aber eine interne (potentielle) Energie von bis zu 38.000 Elektronenvolt. Wenn solch ein langsames Ionen-Projektil auf eine Materialoberfläche trifft, wird die hohe interne Energie in Sekundenbruchteilen auf einer sehr kleinen Fläche abgegeben. Viel Energie in sehr kurzer Zeit (einige 10 Femto-Sekunden) auf sehr kleinem Raum (wenige Nanometer) bedeutet eine hohe Leistungsdichte – nur so ist Nano-Schmelzen überhaupt möglich. Man kann dies ansonsten nur mit gepulsten Hochleistungs-Lasern oder mit sehr schnell beschleunigten Ionen mit Energien von einigen Megaelektronenvolt erreichen, was jeweils sehr aufwendige Anlagen und Experimente verlangt.

Nur einige Tausend Atome werden jeweils an einem Schmelzpunkt flüssig und erstarren kurz darauf als Nano-Hügel.

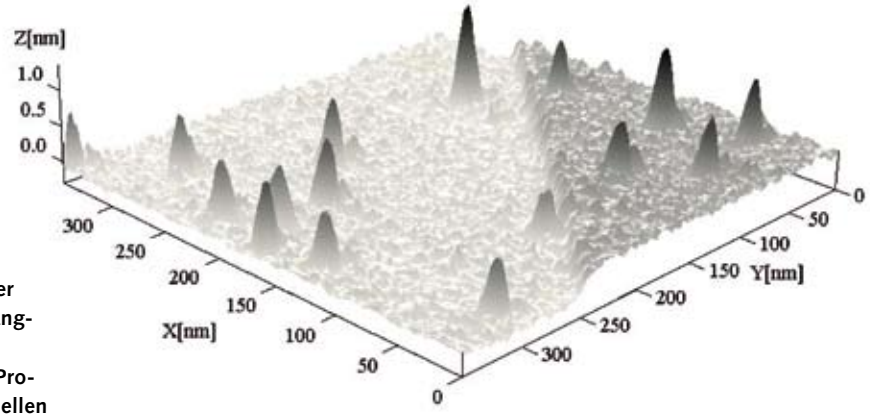
Das Verfahren, mit einzelnen hochgeladenen Ionen Nano-Schmelzpunkte auf einer Materialoberfläche zu erzeugen, kam bisher nur in Heidelberg und in Dresden zum Einsatz. Wichtig ist hierfür die Wahl des richtigen Materials. Die Physiker aus Wien wählten für die Dresdner Experimente einen nicht-leitfähigen Kristall. Dieser Isolator ist besonders gut in der Lage, die interne Energie der Ionen in Wärme umzuwandeln. Beim Auftreffen des Ions auf die Kristalloberfläche wird das Kristallgitter in unmittelbarer Umgebung sehr heiß und schmilzt. Da es sich jeweils nur um einen Bereich von wenigen Nanometern handelt, erstarrt die Schmelze schnell und an der Oberfläche stülpen sich kleine Nano-Hügel heraus. Die Physiker entdeckten zudem einen neuen Grenzwert bei niedrigen Projektilgeschwindigkeiten: jedes Xenon-Ion muss mindestens 27-fach geladen sein, um zu einem Schmelz-Projektil zu werden. Je höher der Ladungszustand eines Ions ist, desto größer ist der freiwerdende Energiebetrag an der Kristalloberfläche, der zum lokalen Schmelzen führt. Die Größe der Schmelzpunkte, und damit auch die Größe der entstehenden Nano-Hügel (zwei bis sechs Nanometer), lässt sich direkt über den Ladungszustand der Projektil-Ionen kontrollieren.

Bei den in Dresden-Rossendorf durchgeführten Experimenten, die der Wechselwirkung von langsamen hochgeladenen Ionen mit Festkörperoberflächen galten, konnten neue interessante Effekte und Nano-Strukturen studiert werden. Die kreierten Nano-Hügel ragen ca. einen Nanometer aus der Kristalloberfläche heraus und messen zwischen 20 und 50 Nanometer im Durchmesser. Derzeit werden weitere Experimente mit einem anderen Festkörper durchgeführt, in dem die hochgeladenen Ionen permanente Löcher auf der Kristalloberfläche erzeugen sollen.

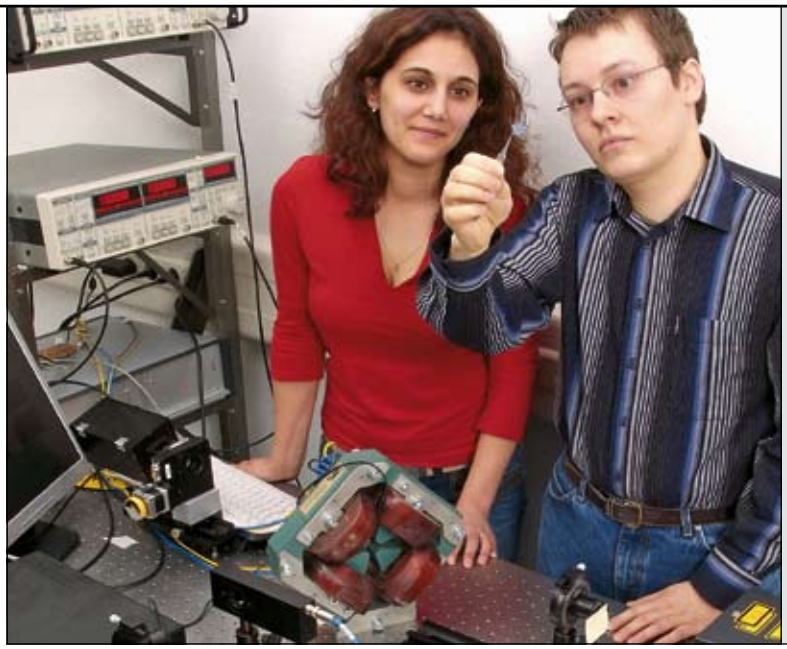
KONTAKT

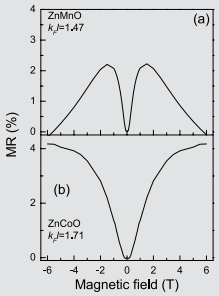
_ Institut für Ionenstrahlphysik
und Materialforschung
Dr. Stefan Facsko
s.facsko@fzd.de

_ Technische Universität Wien
Institut für Allgemeine Physik
Prof. Dr. F. Aumayr
aumayr@iap.tuwien.ac.at



Rasterkraft-Mikroskop-Aufnahme einer CaF_2-Oberfläche nach Beschuss mit langsamen, hochgeladenen Xenon-Ionen. Jeder Einschlag eines hochgeladenen Projektils führt zur Bildung eines individuellen Nano-Hügels.





Abhängigkeit des Magnetowiderstandes in einem externen Magnetfeld von der Spezies der eingebauten magnetischen Ionen in Zinkoxid-Dünnfilmen. (a) zeigt den Dünnfilm mit implantierten Mangan-Ionen, (b) mit Kobalt-Ionen. Die beiden magnetischen Zinkoxid-Dünnfilme besitzen dieselbe Konzentration freier Elektronen und unterscheiden sich nur hinsichtlich der Spezies der magnetischen Ionen.

Elektronenströme und Spins

Wie man Spins für neue technologische Anwendungen nutzbar machen kann, wird von der Nachwuchsgruppe „Nano-Spintronik“ im FZD untersucht.

_TEXT . Dr. Heidemarie Schmidt

Wenn sich Elektronen bewegen, fließt elektrischer Strom. Elektronenströme spielen in Bauteilen in der Halbleiterindustrie eine wichtige Rolle – über die Elektronenstrom-Dichte werden etwa Transistoren auf einem Chip geschaltet. Für Bauelemente aus Metall wird eine zusätzliche Eigenschaft von Elektronen genutzt: der Spin. Der Elektronenspin ist anders als die Elektronenmasse und die elektrische Ladung eine quantenmechanische Größe. Er verleiht dem Elektron ein magnetisches Moment, das durch ein äußeres Magnetfeld manipuliert werden kann.

Lange Zeit wurden die dynamischen Eigenschaften von Elektronen (z. B. Elektronenströme) und ihre statischen Eigenschaften (z. B. Elektronenspins) in getrennten Forschungsgebieten untersucht und genutzt. 1988 entdeckten Albert Fert und Peter Grünberg den Riesenmagneto-Widerstand und erhielten hierfür 2007 den Nobelpreis für Physik. Der Effekt wird heute in jedem Computer beim Auslesen der Informationen von der Festplatte genutzt. Für den Riesenmagneto-Widerstand werden Schichtstapel, bestehend aus wenigen Nanometer dicken magnetischen und unmagnetischen Metallschichten, verwendet. Diese Mehrschicht-Systeme ändern ihren Widerstand selbst bei geringen Änderungen eines von außen angelegten Magnetfeldes extrem. Fert und Grünberg erklärten dies mit der Wechselwirkung zwischen den „dynamischen elektrischen“ und den „statischen magnetischen“ Eigenschaften von nanostrukturierten Materialien. Heute hat sich die Erforschung der magnetischen und dynamischen Eigenschaften von Ladungsträgern in der Spinelektronik etabliert. In diesem jungen Gebiet werden beispielsweise hochdichte, magnetische Speicher aus metallischen Mehrschicht-Systemen entwickelt.

Elektronenspins als Informationsspeicher

Mit dem Spin können Informationen gespeichert, abgerufen und transportiert werden. Dies ist möglich, weil der Elektronenspin nur genau zwei Zustände annehmen kann. Die Halbleiter-Spinelektronik untersucht die Spineigenschaften von Ladungsträgern in magnetischen Halbleitern, etwa die Lebensdauer von Spins, und entwickelt neue technologische Anwendungen dafür. Sie macht sich zwei Vorteile von magnetischen Halbleitern zunutze: magnetische Halbleiter haben eine lange Spin-Lebensdauer und ihre magnetischen Eigenschaften lassen sich über die Ladungsträger-Dichte genau einstellen. Ziel der Halbleiter-Spintronik ist es, einzelne Spins in Halbleitern mit elektrischen und optischen Methoden zu schreiben und zu lesen.

Ein erster Schritt in dieser Richtung sind kompakte magnetoresistive Halbleiter-Sensoren zur Vermessung magnetischer Felder. Die Nachwuchsgruppe „Nano-Spintronik“ im FZD interessiert sich insbesondere für die Substanz Zinkoxid, die in vielen Produkten des täglichen Lebens zu finden ist, z. B. in Zahnpasta oder Sonnenschutzcreme. Die Forscher untersuchten die Magnetowiderstands-Effekte in magnetischen und unmagnetischen ultradünnen Schichten aus Zinkoxid. Dazu stellten sie Schichten aus Zinkoxid her, in denen Kobalt- oder Mangan-Ionen gleichmäßig im Kristallgitter verteilt sind. Beim Elektronentransport durch einen magnetischen Halbleiter koppeln die Spins der freibeweglichen Elektronen an die Spins der auf den Gitterplätzen eingebauten magnetischen Ionen. Dies ist ein Beweis dafür, dass der Spin eine Quanteneigenschaft ist, die über Elektronenströme transportiert wird. Die Kopplung hängt sensitiv von dem äußeren Magnetfeld ab und beeinflusst direkt den magnetfeldabhängigen Widerstand in den Zinkoxid-Dünnfilmen. Die Forscher konnten so zeigen, dass der Magnetowiderstand in dünnen Zinkoxid-Schichten einerseits von der Spezies der eingebauten magnetischen Ionen und andererseits von der Konzentration der Elektronen abhängt und dass er sich über diese beiden Materialparameter kontrolliert einstellen lässt. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von magnetoresistiven Halbleiter-Sensoren auf der Basis neuer Substanzen. ⊣

KONTAKT

_ Institut für Ionenstrahlphysik
und Materialforschung
Dr. Heidemarie Schmidt
Heidemarie.schmidt@fzd.de

Ionen und Fußball

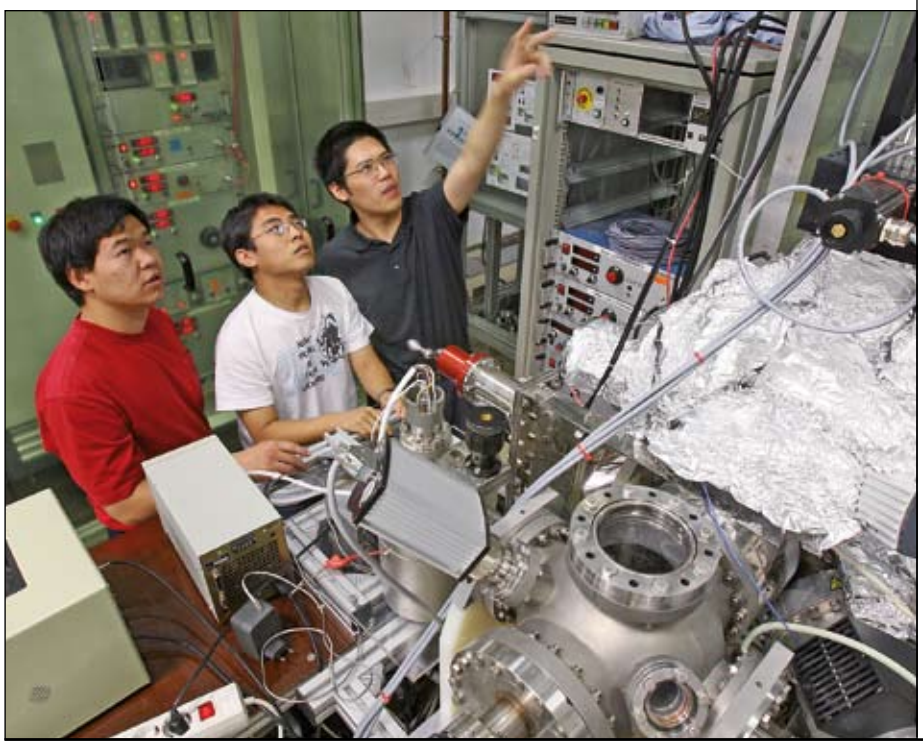
Mit einem groß angelegten Programm fördert die Regierung Chinas chinesische Studenten und Nachwuchswissenschaftler im Ausland. Jing Zhou, Rui Cheng und Haibo Peng forschen am FZD.

_TEXT . Anja Bartho

„Wenn wir jetzt in China wären, müssten wir nachts aufstehen, um die Fußball-Europameisterschaft im Fernsehen mitzuverfolgen." Doch Jing Zhou, Rui Cheng und Haibo Peng müssen sich dafür nicht die Nacht um die Ohren schlagen, sie schauen sich die Spiele an ihrem derzeitigen Wohnort, dem Gästehaus des FZD, gemeinsam an. Seit letztem Jahr arbeiten sie am FZD an ihren Doktorarbeiten. Alle drei haben an ihren chinesischen Heimatuniversitäten Physik studiert und sich bei einem Auslandsprogramm der chinesischen Regierung beworben. Das Programm gab es auch schon früher, wurde letztes Jahr aber erheblich ausgebaut: Nun schickt die Regierung jährlich 5.000 Studenten, vor allem aus den Naturwissenschaften, zu mehrjährigen Studien- und Forschungsaufenthalten ins Ausland. „Das Ziel des Programms ist es, mit dem im Ausland erworbenen Wissen die Entwicklung von Forschung und Technologie in China zu fördern. Wir wollen von wissenschaftlich weit entwickelten Ländern wie Deutschland und den USA lernen."

Die drei Promotionsstudenten wurden durch die Forschungsmöglichkeiten am Ionenstrahlzentrum im FZD angelockt. „Wir haben hier sehr gute Möglichkeiten, Experimente selbst durchzuführen, und sind sehr glücklich darüber. In China gibt es keine so guten Ionenbeschleuniger." Die jungen Wissenschaftler beschäftigen sich mit unterschiedlichen Aspekten bei der Bestrahlung von Festkörperoberflächen mit niederenergetischen bzw. hochgeladenen Ionen. Damit erzeugen Wissenschaftler am Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung Nanostrukturen aus Silizium, die eine neue Eigenschaft zeigen: Sie leuchten. „Das könnte in Zukunft als elektro-optisches Instrument zur Datenübertragung genutzt werden", sagt Jing Zhou. Er und die anderen beiden Stipendiaten sind beeindruckt von der guten Betreuung. „Außerdem sind die Kollegen hier sehr freundlich", sagt Haibo Peng. Ein wichtiger Aspekt sei aber auch die rege Kommunikation mit internationalen wissenschaftlichen Gruppen. „Viele Gruppen, die auf unseren Forschungsgebieten arbeiten, kommen eben aus Europa", erklärt Rui Cheng. Nach zwei Jahren gehen alle drei wieder nach China zurück, um ihre Promotionen dort abzuschließen. Danach wollen sie weiter an einer wissenschaftlichen Einrichtung arbeiten. Und haben einen großen Traum: ein Ionenstrahlzentrum in China mit aufzubauen. ⊣

Haibo Peng, Rui Cheng und Jing Zhou an der Anlage für hochgeladene Ionen im Ionenstrahlzentrum des FZD.



Pro Beruf und Familie

_TEXT . Anja Bartho

Die Personalpolitik des FZD ist familienfreundlich. Das bekam das FZD jetzt mit dem Zertifikat der berufundfamilie gGmbH, einem Tochterunternehmen der gemeinnützigen Hertie-Stiftung, anerkannt. Zuvor hatte sich das FZD erfolgreich einem Auditierungsverfahren unterzogen. Am 30. Juni 2008 wurde die Zertifikatsurkunde u. a. durch Bundesfamilienministerin Dr. Ursula von der Leyen in Berlin übergeben. Unternehmen, Institutionen und Hochschulen aus ganz Deutschland erhielten Zertifikate für ihre Familienfreundlichkeit.

Andrea Runow, Leiterin der Zentralabteilung Verwaltung im FZD, freut sich ganz besonders. Sie hatte die Teilnahme des FZD an der Auditierung angeregt. „Ich freue mich zunächst sehr darüber, dass mein Vorschlag zur Auditierung vom Vorstand des FZD so vorbehaltlos aufgenommen wurde." Die Vereinbarkeit von Beruf und Familie zeige sich schon bei Kleinigkeiten. „Bei der Festsetzung von Abteilungsberatungen, Kolloquien usw. muss daran gedacht werden, dass wir Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auch Familienpflichten haben", so Frau Runow. Die Auditierung erfasst den aktuellen Stand der bereits angebotenen Maßnahmen zur besseren Balance von Berufstätigkeit und Familie und ermittelt anhand eines Leitfadens das institutsspezifische Entwicklungspotenzial. In drei Jahren hat das FZD Gelegenheit, über die Umsetzung weiterer Maßnahmen zu berichten, die von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern angeregt wurden.



Andrea Runow

KONTAKT

_Zentralabteilung Verwaltung
Andrea Runow
a.runow@fzd.de

↗ www.beruf-und-familie.de

Auf der Suche nach dem Heiligen Gral für die Strahlentherapie

Das Institut für Strahlenphysik hat einen neuen Direktor: Prof. Thomas Cowan. Bis vor kurzem lehrte der international renommierte Laserphysiker an der Universität Nevada in Reno, USA.



Prof. Thomas Cowan

Herr Prof. Cowan, seit Februar wohnen Sie nun in Dresden. Wie gefällt es Ihnen hier?

Meine Frau und ich haben eine Wohnung ganz in der Nähe des Blauen Wunders. Wir finden Dresden sehr schön, die Lebensqualität hier ist sehr hoch. Inzwischen habe ich auch die Mitarbeiter an meinem Institut besser kennengelernt. Sie sind sehr motiviert, fleißig und offen für Neues. Die Forschungen am Teilchenbeschleuniger ELBE, auf dem Gebiet der Transmutation, in der Hadronenphysik und der medizinischen Strahlenforschung sind bereits sehr erfolgreich. In Zukunft möchten wir auch neue wissenschaftliche Möglichkeiten zusammen mit der Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung und dem neuen Laser erschließen (s. Artikel „Einer der stärksten Laser steht am FZD“ auf S. 20-21).

Von 1982 bis 1987 haben Sie schon einmal in Deutschland gelebt, als Sie als Promotionsstudent an der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt arbeiteten. Welche Erinnerungen haben Sie an diese Zeit?

Sehr schöne. Ich habe meinen Studenten immer erzählt, dass die Doktorandenzeit die beste ist. Man hat die Möglichkeit, sich auf ein Thema voll und ganz zu konzentrieren. Außerdem hat mir die Zeit in Deutschland sehr viel Spaß gemacht, es war auch wie ein Abenteuer. Man lernt eine andere Kultur kennen, andere Arbeitsweisen, andere Standpunkte. In Deutschland ist Zusammenarbeit viel wichtiger als in den USA, das habe ich zu schätzen gelernt. In den USA arbeiten die Menschen individueller, es gibt mehr Wettbewerb. Aber gerade je älter man wird, desto wichtiger wird es, zusammenzuarbeiten und gemeinsam Ziele zu erreichen.

Auf welchen Gebieten haben Sie in den USA zuletzt geforscht?

An der Universität Nevada habe ich auf dem Gebiet der Plasmaphysik gearbeitet. Im Mittelpunkt standen Experimente an einer Z-pinch-Anlage, einer Hochstromanlage, mit einem Laser. Mit Hilfe des Lasers haben ich und meine Mitarbeiter die von der Anlage produzierte Röntgenstrahlung untersucht. Ein weiteres wichtiges Arbeitsgebiet war die Laser-Ionenbeschleunigung. Terawattlaser wie hier am FZD, nur mit längeren Pulsen, gibt es am Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses (LULI) und am Los Alamos National Laboratory in New Mexico. Dort haben wir Experimente durchgeführt.

Was hat Sie an das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf gelockt?

Dass hier am FZD ein moderner Hochleistungslaser sowie in unmittelbarer Nähe dazu ein Teilchenbeschleuniger zur Verfügung stehen, war ein großer Anreiz für mich. Außerdem ist der Beschleuniger mit dem Hochfeld-Magnetlabor verbunden. Die Wissenschaftler hier verstehen es, verschiedene Technologien miteinander zu kombinieren, das ist für mich immer wichtig gewesen. Damit schafft man Möglichkeiten, die sonst nicht existieren.

Ein weiterer wichtiger Punkt für mich war das Know-how am FZD in der Kern-, Detektor- und Strahlenphysik. Seit etwa zehn Jahren gibt es die Idee, moderne Strahlentherapie mit Protonen und schweren Ionen mit kompakten Laser-Teilchenbeschleunigern durchzuführen. Dazu muss man interdisziplinär kooperieren. Aber eine Zusammenarbeit wie hier gibt es sonst nirgendwo, die Kooperation des FZD mit Dresdner Krebsforschern bei OncoRay sowie in dem Projekt „onCOOPtics“ sind in dieser Hinsicht weltweit wirklich einzigartig. Dadurch könnte es tatsächlich gelingen, kompakte Geräte für eine modernste Strahlentherapie zu entwickeln, die man in normalen Krankenhäusern aufstellen kann. Das wäre so etwas wie der Heilige Gral. Ich glaube, dass interdisziplinäre Zusammenarbeit für die gesamte Gesellschaft enorm wichtig ist.

Welche Ziele haben Sie als neuer Direktor des Instituts für Strahlenphysik?

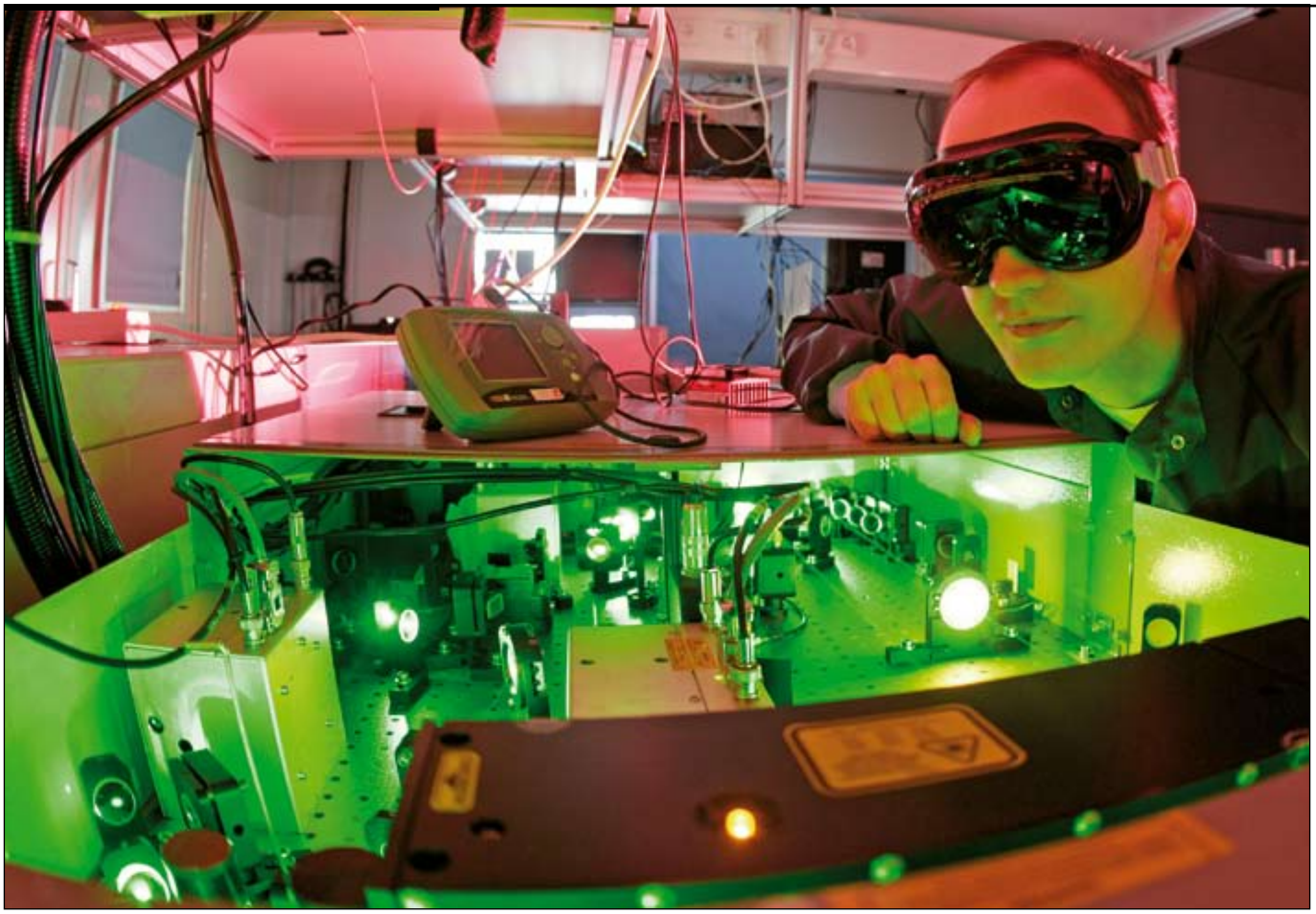
Die Forschungen am Institut, z. B. in der Kern- und Hadronenphysik, haben viel wissenschaftliches Know-how und Erfolge hervorgebracht. Gerade in jüngster Zeit hat es beispielsweise zahlreiche Veröffentlichungen in der Fachpresse gegeben. Das ist eine gute Basis, um die Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung am Institut erfolgreich weiterzuführen. Auch mit dem neuen Neutronenlabor zur Transmutationsforschung sowie dem Teilchenbeschleuniger ELBE, der sich als Nutzereinrichtung etabliert hat, ist das Institut gut aufgestellt für die Zukunft. Hier wollen wir weitermachen, gleichzeitig die Forschungen aber auch ausbauen.

Dabei wird der neue Hochintensitätslaser eine wichtige Rolle spielen. Ein Hauptziel wird es sein, die ELBE mit dem Laser zu koppeln und erfolgreich als Strahlungsquelle zu nutzen. Damit kann man neue Strahlungsarten erzeugen, z.B. brillante Röntgen- oder Gammastrahlung. Die Arbeit auf diesem Gebiet ist sowohl auf Grundlagen- als auch auf anwendungsorientierte Forschung hin gerichtet. Im Bereich der Kern- und Hadronenphysik stellt sich die Frage, ob der Laser zu neuen grundlegenden Erkenntnissen führen wird.

Der Laser eignet sich dafür, schnell ablaufende Vorgänge zeitaufgelöst darzustellen und damit besser zu verstehen. Dabei geht es z. B. um die Prozesse, die vor und während der Bestrahlung von Festkörpern an den Oberflächen bzw. in den Materialien selbst ablaufen. Davon können die Material- sowie die Sicherheitsforschung am FZD profitieren. Bereits begonnen hat eine Kooperation mit dem Hochfeld-Magnetlabor (HLD) am FZD. Es wird vermutet, dass Magnetfelder die Laser-Ionenbeschleunigung verbessern.

Vielen Dank für das Gespräch! ⊣

Das Interview führte Anja Bartho.



Stefan Bock, Mitarbeiter der Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung, am neuen Laser

Einer der stärksten Laser Deutschlands steht am FZD

Bei ultrakurz gepulsten Hochleistungs-Lasern spielt das FZD seit kurzem ganz vorn mit: Am 22. Mai 2008 nahm die sächsische Wissenschaftsministerin Dr. Eva-Maria Stange einen neuen Laser am FZD in Betrieb.

_**TEXT** . Anja Bartho

„Das FZD wird in den kommenden Jahren einen Hochintensitäts-Laser aufbauen." Das verlautete eine Pressemitteilung im November 2006. Nun hat die Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung am FZD den damals entworfenen Zeitplan selbst überholt. Der im Mai in Betrieb genommene neue Laser erzeugt Lichtpulse mit der enormen Leistung von 150 Terawatt und ist damit deutschlandweit der leistungsstärkste Ultrakurzpuls-Laser. Er liefert einhundert Mal mehr Energie als alle elektrischen Kraftwerke der Erde zusammen – allerdings in der ultrakurzen Zeit von einigen 10 Femtosekunden (100 Femtosekunden braucht Licht, um die Breite eines menschlichen Haares zu durchqueren).

Europaweit existieren in der Leistungsklasse des neuen Rossendorfer Lasers nur eine Handvoll vergleichbarer Systeme. Trotz der unvorstellbaren Pulsleistungen brauchen solche Laser nur wenig Platz. Im Puls ist das Licht sehr intensiv, sodass es beim Auftreffen auf Materie deren Bausteine, die Atome und Elektronen, trennt. Die Gesetze, die normalerweise bei der Wechselwirkung von Licht und Materie gelten, ändern sich dramatisch: Elektronen werden auf mikroskopischen Strecken in Richtung des Laserpulses auf Energien beschleunigt, die sonst nur mit großen Beschleunigeranlagen erreicht werden können.

Anders als mit der klassischen Beschleunigertechnologie könnten durch die Laser-Teilchenbeschleunigung kompakte Beschleunigeranlagen gebaut werden. Das käme vor allem der Medizin zugute: Kompaktere und folglich preiswertere Anlagen für modernste Strahlentherapie bei Krebs könnten dann in ganz normalen Krankenhäusern aufgestellt werden. Von der Entwicklung ultrakurz gepulster Laser erwartet man sich aber auch moderne Lichtquellen im Röntgenbereich.

Der neue Laser steht nur am Anfang der Entwicklung noch leistungsfähigerer Laser am FZD.

Erste Experimente zur Beschleunigung von Teilchen sind am FZD im Sommer dieses Jahres geplant. „Zunächst wollen wir den nächsten Meilenstein auf dem Weg dahin erreichen und die Fokussierbarkeit des Laserstrahls auf eine winzige Fläche von einigen Mikrometern Durchmesser demonstrieren", sagt Dr. Ulrich Schramm, Leiter der Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung. Dies ist eine Grundvoraussetzung für physikalische Anwendungen, da die Intensität →

des Laserstrahls umso größer ist, je kleiner die Fläche wird, auf die man ihn richtet.

Die FZD-Wissenschaftler wollen die Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Laser-Teilchenbeschleunigung vorantreiben. Der neue Laser steht nur am Anfang der Entwicklung noch leistungsfähigerer Laser am FZD. Mit dem Blick auf mögliche langfristige Anwendungen im medizinischen Bereich haben die Forscher das Ziel, die Beschleunigungsprozesse reproduzierbar zu beherrschen. „Mit unserem Laser befinden wir uns nicht nur in der höchsten Leistungsklasse in diesem Pulsbereich“, sagt Dr. Schramm, „sondern verfügen vor allem über die ausgezeichnete Reinheit der Pulse, die nötig ist, um hauchdünne Folien zu beschießen, bevor diese verdampfen“. Dazu werden z. B. mit Kunststoff beschichtete Metallfolien verwendet. Um beispielsweise Protonen, also Wasserstoffkerne, zu beschleunigen, fokussieren die Wissenschaftler das Laserlicht auf eine solche Folie. Das Licht drückt Elektronen auf der Rückseite heraus. Da sich unterschiedliche Ladungen anziehen, entsteht so ein senkrechtes Kraftfeld, das die positiv geladenen Protonen beschleunigt.

Der neue Hochintensitäts-Laser befindet sich in der ELBE-Halle im FZD in unmittelbarer Nähe des Elektronenbeschleunigers ELBE. Durch die Kopplung beider Geräte können in einem weiteren Schritt einmalige Experimente zur Laserbeschleunigung von Elektronen durchgeführt werden. Davon versprechen sich die Forscher hochenergetische Elektronenpulse hoher Qualität, wie sie zum Treiben von kompakten und dennoch brillanten Röntgenquellen eingesetzt werden könnten. ⊣



Die sächsische Wissenschaftsministerin Dr. Eva-Maria Stange nimmt den neuen Hochleistungs-Laser in Betrieb. Mit im Bild: Vorstand des FZD, Prof. Roland Sauerbrey und Dr. Peter Joehnk (v.l.n.r.)

KONTAKT

_Projektgruppe Laser-Teilchenbeschleunigung
Dr. Ulrich Schramm
u.schramm@fzd.de

Hochfeld-News

Terahertz-ESR-Spektroskopie in gepulsten Magnetfeldern

Elektronenspinresonanz (ESR)-Messungen in einem einmalig großen Frequenz- und Magnetfeldbereich sind jetzt am FZD möglich. Sie sind eine hervorragende Methode zur Untersuchung elementarer Anregungen in magnetischen Materialien. Dazu werden die Freie-Elektronen-Laser am Teilchenbeschleuniger ELBE, die in einem Frequenzbereich von 1,3 bis 70 THz arbeiten, mit dem Hochfeld-Magnetlabor am FZD gekoppelt und mit einem neuen ESR-Messaufbau verbunden. Er steht auch externen Nutzern zur Verfügung.

↗ www.fzd.de/user

Hoher Besuch



Prof. Joachim Wosnitza, Leiter des Hochfeld-Magnetlabors am FZD, mit Susan Seestrom, Kurt Schoenberg und Alex Lacerda (v.l.n.r.) vom Los Alamos National Laboratory.

Leitende Wissenschaftler des Los Alamos National Laboratory (LANL), einer Forschungseinrichtung der US-amerikanischen Regierung in Los Alamos, New Mexico, besuchten am 2. Juni das FZD. Sie ließen sich das Hochfeld-Magnetlabor und den Teilchenbeschleuniger ELBE zeigen. Unter den Gästen war auch Alex Lacerda, verantwortlich unter anderem auch für das Pulsfeldlabor am LANL, das mit 89 Tesla den derzeitigen Weltrekord bei (nicht destruktiv) gepulsten Magnetfeldern hält.

Nachrichten

Physiktalente an sächsischen Schulen gesucht

Unter dem neuen Namen „Qimonda Physikpreis 2008“ werden auch in diesem Jahr wieder junge Physiktalente an sächsischen Gymnasien gesucht. Dahinter verbirgt sich der Wettbewerb „Schülerpreise für die besten Besonderen Lernleistungen im Fach Physik“, der seit dem Jahr 2000 ausgetragen wird. Die Koordination liegt beim FZD, der Speicherchiphersteller Qimonda stiftet die Preise.

Die besten Arbeiten wurden am 1. Juli durch eine Jury aus Physikprofessoren der Universität Leipzig, der TU Dresden, der TU Chemnitz, der TU Bergakademie Freiberg und des FZD ausgewählt. Nicht nur die Gewinner werden belohnt, sondern alle für den Wettbewerb nominierten Schüler erhalten einen Sachpreis im gemeinsamen Förderprogramm „Physik für Schüler und Schülerinnen“ der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG). Die Preise werden voraussichtlich am 26. September bei Qimonda Dresden übergeben.

↗ www.fzd.de/BeLL

Ruf nach Kanada

Dr. Frank Wüst, Leiter der Abteilung Radiopharmazeutische Chemie am Institut für Radiopharmazie, hat das FZD verlassen und eine Stiftungsprofessur (The Dianne and Irving Kipnes Chair) am Radiopharmaceutical Sciences Cross Cancer Institute Edmonton in Alberta angetreten.

Dr. Wüst promovierte 1999 am FZD. Nach seiner Habilitation im Jahr 2006 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Uni Leipzig und danach am FZD tätig.

Tag des offenen Labors ist Besuchermagnet

Einen Blick in die Experimentierkammer des neuen Hochleistungs-Lasers werfen, mit flüssigem Stickstoff gekühltes Eis essen, in die Labore der Wissenschaft schauen – das und vieles mehr konnten die Besucher am 24. Mai 2008 zum Tag des offenen Labors auf dem Forschungsstandort Rossendorf.

_TEXT . Anja Bartho

Am späten Nachmittag waren mehr als 2.700 Besucher auf dem Standort gezählt, so viele wie noch nie. Hinter ihnen lag ein Tag mit spannenden Experimenten und hautnah erlebter Forschung, an dem viele Wissenschaftler und Mitarbeiter bereit standen, um den Besuchern Forschung und Technologie näherzubringen. Der diesjährige Tag des offenen Labors fand, neben vielen Interessierten aus Dresden und dem Umland, aber auch von weiter her Beachtung: Das Hochfeld-Magnetlabor im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) wurde als „Ausgewählter Ort im Land der Ideen" ausgezeichnet. Friedbert Damm, Vertreter der Deutschen Bank, übergab den Preis an den Vorstand des FZD. In dem von der Bundesregierung und dem Bundesverband der Deutschen Industrie gestarteten Wettbewerb ist seit 2006 jeden Tag ein neuer Ort hinzugekommen.

Schon in den ersten Stunden herrscht dichtes Gedränge im Hochfeld-Magnetlabor. „Wir hatten bestimmt 1.000 Besucher bei uns", resümiert später Prof. Joachim Wosnitza, Leiter des Labors. Eine Besuchergruppe nach der anderen wird zur Kondensatorbank und in den Experimentierbereich mit den Magnetspulen geführt. „Magnetkraft zieht an" ist das Motto an diesem Tag. Ob schwebende Bratpfanne oder magnetische Achterbahn – junge Mitarbeiter demonstrieren an Experimenten das Wirken magnetischer Kräfte. Familie Bauch aus Dresden besucht den Tag des offenen Labors zum ersten Mal. „Es gefällt uns hier sehr gut. Die Mitarbeiter geben sich viel Mühe, um die Wissenschaft zu erklären."

Im Gebäude nebenan, der ELBE-Halle mit dem Teilchenbeschleuniger, befindet sich auch das neue Laser-Labor. Familie Lange aus Weinböhla bestaunt die Magnetbahn. Das intensive Licht des neuen Lasers führt zu Explosionen in der Luft, die ein kleines Schiffchen aus magnetischem Graphit antreiben, es wird von der Magnetbahn abgestoßen und schwebt auf ihr entlang. Jörn Tobergte und Paul Plankenbichler, beide 12, haben die Magnetbahn schon gesehen. „Das war witzig." Sie halten weiße Schaumstoff-Flugzeuge in der Hand. „Wir kommen gerade von der Station 5b. Dort steht der Modellflugclub Rossendorf. Dann wollen wir uns noch die Computergrafik anschauen."

Damit meinen sie die Zentralabteilung Forschungstechnik. Dort ist heute auch die Azubi-Welt. Auf dem Weg kommen immer mehr weiße Flieger entgegen. Die Zentralabteilung informiert z.B. über die Ausbildung zum Technischen Zeichner für Maschinen- und Anlagentechnik. Und das nutzen die jugendlichen Besucher. 3D-CAD-Programme sind das wichtigste Hilfsmittel in der Abteilung, sie entwickelt mechanische Komponenten für Anlagen im FZD. Für den Tag des offenen Labors haben Auszubildende extra eine Computermaske erstellt. Es gilt, Punkte zu einem Gegenstand zu verbinden. „Jungen zeichnen lieber ein Auto, Mädchen lieber eine Blume", sagt Mitarbeiterin Annett Nitzsche. Weiter im Foyer der Bibliothek haben die Direktoren der FZD-Institute am Karriere-Stand offene Ohren für die Fragen junger Leute zu Aus- und Weiterbildung am Forschungszentrum.

Dort starten auch Rundgänge durch den Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik (VKTA), der zum letzten Mal Besichtigungen des ehemaligen Reaktors anbietet. Das nutzen sehr viele Besucher. Ganz in der Nähe, im Ionenstrahlzentrum, dreht sich wieder vieles um Magnetkraft. Zwei junge Mitarbeiter wollen gerade zeigen, wie man unmagnetische Stoffe magnetisieren kann, einen Effekt, den die Wissenschaftler nutzen, um Materialien mit neuen Eigenschaften zu entwickeln. Christine Baumgart schlägt mit einem Hammer auf eine ganz normale Schraube. „Dadurch wird die Anordnung der Atome im Gitter zerstört und die Schraube wird kurzzeitig magnetisch." Leider funktioniert das Experiment gerade nicht und die Schraube bleibt, wo sie ist, wird nicht angezogen noch abgestoßen. Die Besucher aber haben wieder etwas Neues gelernt, zumindest, dass man Wissenschaft an den alltäglichsten Dingen demonstrieren kann. ⊣



FZD beim Parlamentarischen Abend der Leibniz-Gemeinschaft



Wie die Forschungen am Institut für Radiochemie dazu beitragen, Uran-Altlasten zu beseitigen, erklärt Dr. Johannes Raff (r.) vom FZD Ministerialdirigent Jörg Geiger (l.) vom Sächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst

Unter dem Motto „Biodiversität – Die Vielfalt des Lebens erforschen, erhalten und nutzen“ veranstaltete die Leibniz-Gemeinschaft am 6. Mai 2008 ihren diesjährigen Parlamentarischen Abend. Im Berliner Naturkundemuseum informierten sich mehr als 200 Teilnehmer aus Politik, Ministerien, Medien und Wissenschaft über die vielfältige Forschung, die Leibniz-Einrichtungen auf dem Gebiet der Biodiversität leisten. Dr. Johannes Raff und Dr. Katrin Pollmann vom Institut für Radiochemie präsentierten dabei am FZD entwickelte Filtersysteme zur Entfernung oder Rückgewinnung von Metallen aus Wässern, die den Überlebensmechanismus von Bakterien nutzen.

Bundesbildungsministerin besucht „OncoRay“

Die Bundesbildungsministerin Dr. Annette Schavan war am 4. Juni 2008 gemeinsam mit dem sächsischen Ministerpräsidenten Stanislaw Tillich zu Gast im „Zentrum für Innovationskompetenz für Medizinische Strahlenforschung in der Onkologie – OncoRay, Dresden“, das von der Technischen Universität Dresden, dem Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden und dem Forschungszentrum Dresden-Rossendorf getragen wird.

Nach einem Pressegespräch zum Thema Exzellenz-Förderung in Ostdeutschland besichtigten die Bundesministerin, Sachsens Ministerpräsident, Forschungsministerin und Sozialministerin die moderne PET-CT-Kamera, mit der Stoffwechselprozesse im menschlichen Körper sichtbar gemacht werden, sowie die Hochpräzisions-Strahlentherapie.



Bundesministerin Dr. Annette Schavan (r.), Sachsens Forschungsministerin Dr. Eva-Maria Stange (M.), Prof. Roland Sauerbrey (l.), Wissenschaftlicher Direktor des FZD

Ehrenprofessur für Kaufmännischen Direktor

Seit mehr als sieben Jahren unterstützt Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk, Kaufmännischer Direktor des FZD, die Staatliche Technische Universität (STU) Izhevsk, Russland, bei der Modernisierung von Strukturen und beim Aufbau von Kooperationen mit Universitäten in Westeuropa. Für sein Engagement wurde er am 23. April 2008 zum Ehrenprofessor der STU Izhevsk ernannt. An der Universität im Westural studieren rund 20.000 Studenten in 83 Studiengängen.



Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk bei der Verleihung der Ehrenprofessur

Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk lernte die STU Izhevsk als Experte in einem gemeinsamen Projekt der Bundesregierung und der russischen Regierung kennen, das der Modernisierung der russischen Wissenschaftslandschaft gewidmet war. Dort konnte er seine breiten Erfahrungen, die er nach der Wende beim Umbau von Forschungseinrichtungen und beim Aufbau von Wissenschaftsstrukturen in den Neuen Bundesländern gesammelt hatte, einfließen lassen. Ein wichtiges Anliegen ist ihm der Austausch junger Wissenschaftler zwischen Russland und Deutschland.

Konferenzen & Workshops

Von Hawaii nach Rossendorf

Letztes Jahr auf Hawaii, dieses Jahr in Dresden: Vom 19. bis 25. Oktober 2008 richtet die Nuclear & Plasma Sciences Society (NPSS), eine Gesellschaft innerhalb der IEEE, dem größten technischen Berufsverband der Welt, im Internationalen Kongresszentrum Dresden zwei große Konferenzen unter einem Dach aus: das „Nuclear Science Symposium“ und die „Medical Imaging Conference“. Partner vor Ort dafür ist das FZD.

Beide Tagungen gehören zu einer Bandbreite von Fachkonferenzen, die die IEEE unterstützt. Die Dresdner Konferenz verspricht zu einem Großereignis zu werden: Über 2.000 Anträge auf mündliche bzw. Poster-Präsentationen wurden eingereicht. Parallel zur Konferenz finden ein Workshop zu Halbleiterröntgen- und Gammastrahlungs-Detektoren, mehrere Begleitkurse und weitere Workshops sowie eine Industrieausstellung statt. Das FZD bietet unter Federführung von Prof. Jörg van den Hoff einen zweieinhalbtägigen Kurs auf dem Gebiet der medizinischen Bildgebung an.

↗ www.nss-mic.org/2008

Die Materialforschung mit Ionenstrahlen lebt!



Vom 31. August bis 5. September 2008 findet im Hörsaalzentrum der TU Dresden die „16th International Conference on Ion Beam Modification of Materials“ (IBMM) statt. Sie wird gemeinsam vom FZD (Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung), dem Leibniz-Institut für Oberflächenmodifikation in Leipzig und dem Institut für Materialforschung der Experimentellen Physik II an der Universität Leipzig ausgerichtet. Die IBMM ist das wichtigste internationale Forum für Materialforschung mit Ionen.

↗ www.ibmm2008.org

Strömungssimulation

Am 25. September 2008 findet im großen Hörsaal des FZD der Workshop „Strömungssimulation“ statt. Dazu laden das Institut für Strömungsmechanik der TU Dresden und das FZD ein. Besondere Attraktion ist die Besichtigung der Strömungssimulations-Anlage TOPFLOW am FZD. Anmeldungen sind bis 15. September 2008 ausschließlich per E-Mail möglich an: d.lucas@fzd.de.

↗ www.fzd.de unter Aktuelles/Workshops

IEEE Dresden 2008

GERMANY







2008 NSS-MIC Dresden

19-25 October 2008

Nuclear Science Symposium

Medical Imaging Conference

16th International Workshop on Room-Temperature Semiconductor X-ray and Gamma-ray Detectors

Radiation Detectors & Instrumentation and their Applications in Physics, Biology, Space, Materials Science, Medical Physics, Homeland Security

Plenary Sessions · Oral Sessions · Poster Sessions · Short Courses
Workshops · Industrial Exhibits · Companion Program

Pre- and Post-Conference Satellite Workshops
at DESY Hamburg and Forschungszentrum Jülich

www.nss-mic.org/2008 · email: nssmic2008@fzd.de

Abstract Submission Deadline: 9 May 2008

General Chair: Uwe Bratzler, CERN and TMU, Physics Division, 1211 Geneva 23, Switzerland

Maritim Hotel &
International Congress Center Dresden

IEEE

NUCLEAR & PLASMA SCIENCES SOCIETY

Forschungszentrum Dresden Rossendorf