

entdeckt

DAS FORSCHUNGSMAGAZIN AUS DEM HZDR

// AUSGABE 02.2012

hzdr.de



Resultate

SOMMER IM LABOR

Das erste internationale Sommerstudenten-Programm im HZDR

ERFOLGSSTORY EXZELLENZINITIATIVE

Die TU Dresden gehört zu den elf Exzellenz-Universitäten

ENERGIEEFFIZIENZ IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

Markus Schubert erhält „Starting Grant“ des Europäischen Forschungsrats

HZDR

 **HELMHOLTZ
ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF**

TITELBILD: Wenn flüssiger Stahl in eine Gussform strömt, kommt es häufig zu Verwirbelungen und Turbulenzen in der Strömung, die auch Auswirkungen auf die Qualität des Endprodukts haben. Wissenschaftler im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf erforschen, wie von außen angelegte Magnetfelder die Effizienz und Qualität im Stahlguss verbessern können. Schema: AIFilm



LIEBE LESERINNEN UND LESER,

heute halten Sie die erste Ausgabe unseres Forschungsmagazins „entdeckt“ in der Hand, für den es einen englischen Doppelgänger gibt. „Discovered“ wird ab sofort einmal jährlich über Resultate aus der Forschung berichten.

„Resultate“, so lautet auch der kurze und plakative Titel für dieses Heft. Resultate sind das, was Gesellschaft, Wirtschaft und Politik von einer Forschungseinrichtung wie dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf erwarten, auch, weil Sie als Steuerzahler wissen wollen, was mit Ihren in die Forschung fließenden Steuergeldern geschieht.

Welche wichtigen Ergebnisse hat die Krebsforschung in Dresden in den letzten Jahren erzielt? Lassen sich damit die Heilungschancen bei Krebserkrankungen verbessern? Mit welchen Methoden gelangen Forscher zu neuen Erkenntnissen in der Materialforschung, etwa beim vielversprechenden Material Graphen, und warum müssen die dafür benötigten Forschungsanlagen so groß sein? Welche Beiträge kann die Industrie zur Energiewende in Deutschland leisten? Einige Prozesse in

Branchen, die als besonders große Energieverbraucher gelten wie beispielsweise die metallverarbeitende oder die chemische Industrie, haben HZDR-Forscher unter die Lupe genommen. Welche Resultate können sie hier vorweisen? Wie sehen neue Sicherheitskonzepte für die Kernkraftwerke aus, die in ganz Europa immer noch am Netz sind? Wie funktioniert die Zusammenarbeit auf internationaler Ebene? Könnten hochgiftige und langlebige Substanzen, die bei der Kernenergie-Erzeugung über Jahre als radioaktiver Abfall anfielen, von einem potentiellen Endlager-Standort aus in die Umwelt gelangen?

Diesen konkreten Fragen gehen wir in unserer aktuellen „entdeckt“-Ausgabe nach. Es sind Fragen, auf deren Beantwortung die Gesellschaft ein Recht hat – und das in verständlicher Art und Weise. Weil unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das genau so sehen, haben sie das Redaktionsteam bei der Erstellung dieses Magazins großartig unterstützt. Herausgekommen sind acht Titelgeschichten aus den drei Forschungsbereichen Materie, Gesundheit und Energie, in denen das HZDR forscht.

Eine weitere Rubrik in „entdeckt“ widmet sich vier besonders erfolgreichen Kooperationen. So sind wir sehr stolz darauf, dass unser wichtigster Kooperationspartner, die Technische Universität Dresden, in den Rang einer deutschen Eliteuniversität erhoben wurde. Hierzu gratuliert das gesamte HZDR nochmals sehr herzlich! Unter „Porträts“ stellen wir Ihnen zwei erfolgreiche Wissenschaftler aus dem Helmholtz-Zentrum vor und die kurzen Artikel in WISSEnswert sollen das Magazin am Ende abrunden.

Unser Forschungsmagazin „entdeckt“ wird weiterhin zwei Mal jährlich auf Deutsch erscheinen – damit Sie auch in Zukunft erfahren, welche Resultate aus dem Dresdner Helmholtz-Zentrum unser aller Leben beeinflussen werden. Wie immer, wünsche ich dem Magazin viele interessierte Leserinnen und Leser und freue mich auf Ihre Rückmeldungen, die jederzeit herzlichst willkommen sind.

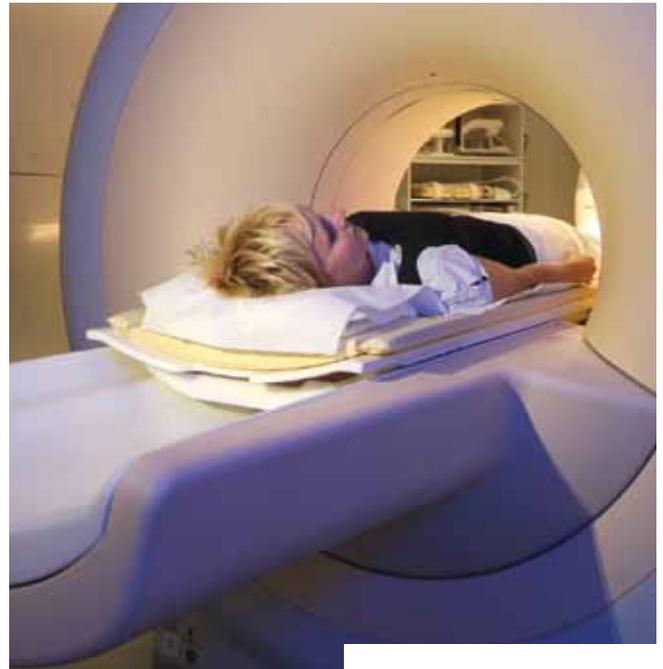
Christine Bohnet
Abteilung Kommunikation und Medien im HZDR

INHALT

TITEL

Resultate

- 04 Energiewende in Deutschland – Energiesparen beim Stahlguss
- 09 Wenn Elektronenpaare Händchen halten und Störenfriede in der Ecke stehen
- 13 Mini-Transporter für heilende Strahlung
- 18 Laser-Heizung in neuem Licht – Elektronen auf mehrere Milliarden Grad geheizt
- 22 Wasser versus Dampf – Ungleiches Kräftemessen in industriellen Anlagen
- 26 Das merkwürdige Leben der Elektronen
- 30 Wenn Behälter rosten



KOOPERATION

- 34 Erfolgsstory Exzellenzinitiative
- 37 Stresstest für Reaktorwände
- 41 Halbzeit für das Ausbau-Programm an der ESRF
- 44 Gewinnbringende Kooperation in der Gesundheitsforschung



PORTRÄT

- 46 Erster europäischer „Starting Grant“ am HZDR
- 47 Internationaler Preis für Shengqiang Zhou



WISSENSWERT

- 48 „Green Campus“ Rossendorf
- 49 Ein Sommer im Labor
- 50 Internationaler Mineralogen-Wettstreit
- 50 Indische Delegation
- 51 Impressum



// Der Metallguss ist eine grundlegende Technologie, die besonders viel Energie verbraucht. So gehört die Stahlproduktion zu den energieintensivsten industriellen Prozessen überhaupt. Das neue Institut für Fluidynamik im HZDR will mit seinen Forschungen helfen, die Energiebilanz zu verbessern.



STAHLWERK: Die metallverarbeitende Industrie gehört zu den großen Energieverbrauchern Deutschlands. Foto: © LE image – Fotolia.com

ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND – ENERGIESPAREN BEIM STAHLGUSS

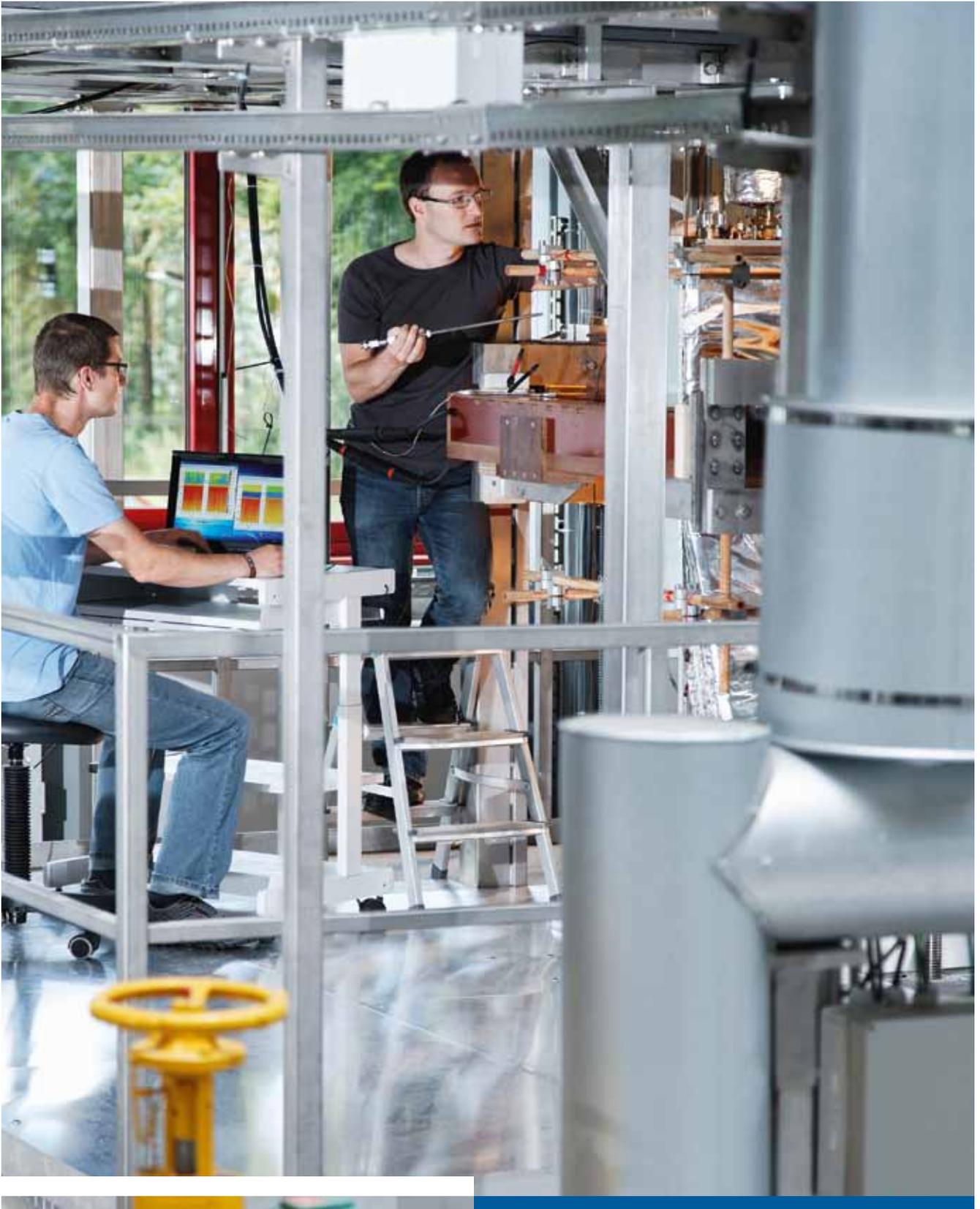
_TEXT . Christine Bohnet

Mit der im Jahr 2011 eingeläuteten Energiewende der Bundesregierung verzichtet Deutschland in Zukunft auf Strom aus Kernkraftwerken und setzt voll auf erneuerbare Energien. Auch Energiesparen ist nun angesagter denn je. Die privaten Haushalte haben durchaus ungenutzte Potenziale, Energie einzusparen, etwa indem alte Häuser eine neue Wärmedämmung erhalten oder Heizungsanlagen mit neuer Technologie effizienter gemacht werden. In weitaus größerem Maßstab

kann allerdings die Industrie dazu beitragen, neue Technologien für Ressourcen- und Energieeffizienz zu entwickeln und einzusetzen.

Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf hat in seinem neuen Energie-Schwerpunkt vor allem rohstoff- und energieintensive Produktionsprozesse im Blick, wie etwa den Stahl- und Aluminiumguss oder die Kristallzüchtung. Auch bei der →

STAHLGUSS IM LABOR: Die Physiker Klaus Timmel (rechts) und Michael Röder bei den Vorbereitungen für eine Messung. Die LIMMCAST-Anlage bietet einzigartige Möglichkeiten, mit einer dem Stahl in vielen Eigenschaften ähnlichen Legierung realitätsnahe Experimente durchzuführen. Foto: Rainer Weisflog



→

04

05

Herstellung chemischer Grundstoffe – die chemische Industrie ist neben der Automobil-, der Maschinen- und Elektroindustrie einer der großen Arbeitgeber in Deutschland – lassen sich Energie und Rohstoffe in einer Größenordnung einsparen, an die private Haushalte auch mit vielerlei Anstrengungen kaum je heranreichen werden. Dennoch: jeder Beitrag zählt, um wirkungsvolle Schritte zu einer nicht nur deutschlandweiten Energie- und Verteilungsgerechtigkeit zu gehen.

Alte Technologien mit Forscheraugen betrachtet

Die Anforderungen an Stahlwerke sind hoch: das produzierte Metall darf heute nicht einmal kleinste Materialfehler aufweisen, muss es sich doch zu immer größeren und zugleich dünneren und leichteren Teilen verarbeiten lassen. Energieeinsparen lässt sich hier, wenn der Stahl gleich beim ersten Guss perfekt wird und nicht wieder eingeschmolzen werden muss. Zudem kann man beträchtlich Energie – und damit immer auch Kosten – einsparen, wenn der Gießprozess

erzeugt. Ein Magnetfeld erzeugt aber nach den Faradayschen Gesetzen auch einen Strom in einem elektrisch leitfähigen Leiter, wenn diese sich relativ zueinander bewegen. Lenz (1804 - 1865) erkannte als erster, dass die Wechselwirkung zwischen induziertem Strom und angelegtem Magnetfeld eine Kraft hervorruft, die der ursprünglichen Bewegung entgegenwirkt. Diese induktive Kraft heißt Lorentzkraft. Sie ist das „Arbeitspferd“ für HZDR-Experten auf dem spannenden Gebiet der Magnetohydrodynamik (MHD).

Strömungen in der Stahlschmelze wirken sich in der Regel auch auf die Eigenschaften des Endprodukts aus. Nur wenn die Strömung ruhig und gleichmäßig ist, kann hochwertiger Stahl entstehen, ist sie dagegen aufgewühlt oder turbulent, kommt es des Öfteren zu Problemen hinsichtlich der Materialqualität oder gar zum Ausschuss, der teuer wieder eingeschmolzen werden muss. Die Idee der seit rund fünfzehn Jahren im Einsatz befindlichen Magnetbremsen ist nun, dass von außen angelegte Magnetfelder die Strömungen beruhigen und unerwünschte Verwirbelungen unterdrücken sollen. Funktio-

Von außen angelegte Magnetfelder beruhigen die Strömungen in der Stahlschmelze und garantieren hochwertigen Stahl.

selbst beschleunigt wird. Das geschmolzene Metall unterliegt allerdings den Gesetzen der Thermofluidynamik: Schnellere Prozesse beim Guss können zu unerwünschten Turbulenzen und Verwirbelungen führen und das wiederum treibt die Ausschussrate in die Höhe.

Weltweit wird Stahl zu rund 90 Prozent im Strangguss-Verfahren hergestellt, was eine hohe Gießgeschwindigkeit und Produktivität bedeutet. Es beruht darauf, dass das flüssige, rund 1.500 Grad heiße Metall in eine nach unten offene und mit Wasser gekühlte Form aus Kupfer – Kokille genannt – gegossen wird. Dort erkalte der äußere Teil der Schmelze und kann in einem Strang nach unten herausgezogen werden. Der Kern des Strangs ist dabei zwar noch flüssig, erkalte aber nach und nach an der Luft. Heutige Kokillen können sehr unterschiedlich aussehen, abhängig von den jeweiligen Anforderungen. Moderne Werke zum Beispiel produzieren sehr dünne Metalle, die in nachgeschalteten Walzwerken direkt zu Formen etwa für Automobilkarosserien verarbeitet werden. Es ist leicht vorstellbar, dass eine solche Kombination mit dramatischen Kosten- und Energieersparnissen einhergeht.

Was hat der Metallguss mit Magnetfeldern zu tun?

Da heiße Metallschmelzen praktisch immer elektrisch leitfähig sind, kann man Magnetfelder als elektromagnetische Bremsen zur Kontrolle der Strömungen in diesen Schmelzen einsetzen. Den Bremsen liegt ein Gesetz zugrunde, das viele noch aus der Schule kennen: die Lenzsche Regel. Allgemein bekannt ist, dass ein elektrischer Strom ein Magnetfeld

nieren die Magnetbremsen im Stahlwerk gut, so kann die Gießgeschwindigkeit weiter erhöht und Qualität, Produktivität wie Effizienz entsprechend gesteigert werden. Man sollte meinen, dass der Strangguss von Stahl, eine immerhin 70 Jahre alte Technologie, hier schon lange über optimale Ansätze verfügt. Dem ist aber nicht so. Das hat mehrere Gründe: Zum einen kann man mit heute üblichen Messmethoden nicht direkt in Stahlschmelzen und deren Strömungen hineinschauen, zum anderen wurde die Wirkungsweise der Magnetbremsen bisher nur auf der Grundlage von Rechnungen und Wassereperimenten konzipiert und überprüft. Wasser verhält sich jedoch völlig anders als eine Metallschmelze.

Magnetbremsen bremsen nicht

Die experimentellen Arbeiten an der LIMMCAST-Anlage im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf liefern nun erstmalig überhaupt realitätsnahe Daten zu Strömungen in Stahlschmelzen. Kaum veröffentlicht, stoßen diese Ergebnisse auf ein großes Echo in der Wissenschaftswelt und in der Stahlindustrie, korrigieren sie doch viele Annahmen, die lange Jahre als Grundlage für den Einsatz von Magnetbremsen galten. Das überraschende Ergebnis der Experimente: Magnetfelder im Stahlguss wirken bei weitem nicht immer als reine Bremsen, sondern können bei entsprechenden Bedingungen sogar die Strömung instabil werden lassen und den Turbulenzgrad erhöhen. Kein Wunder also, dass die Resultate der Rossendorfer Wissenschaftler auf einschlägigen internationalen Konferenzen große Resonanz hervorriefen. Das Erfreuliche: auch die Industrie zeigt ernsthaftes Interesse. Als LIMMCAST vor rund →

fünf Jahren aufgebaut wurde, gab es durchaus kritische Stimmen – erinnert sich Gunter Gerbeth, Direktor des Instituts für Fluidodynamik im HZDR. Mittlerweile sind diese verstummt. Heute findet ein Austausch auf Augenhöhe statt, wo zuvor die wissenschaftlichen Anstrengungen als zu weit weg von der harten Industriewelt belächelt wurden. Neben den Stahlwerken hat sich auch der ein oder andere Hersteller von Magnetbremsen an der LIMMCAST-Anlage eingefunden und die ersten Industrieprojekte sind bereits angelaufen.

Die LIMMCAST-Anlage bietet einzigartige Möglichkeiten, mit einer dem Stahl in vielen thermophysikalischen Eigenschaften ähnlichen Legierung grundlegende Experimente durchzuführen. Dabei sind die Experimente nahe an den realen Prozessen in der Stahlindustrie angelehnt, auch wenn das Modellmetall nur rund 200 Grad Celsius heiß wird. Wie im echten Betrieb gibt es eine Verteilerpfanne, aus der die flüssige Legierung – durch einen Stopfen geregelt – erst in das sogenannte Tauchrohr und von dort in die Kokille gegossen wird. Mit dem Stopfen wird der Durchsatz reguliert und Gas eingespeist. Schießt das Metall nun zu schnell oder unkon-

trolliert aus dem Tauchrohr in die Kokille, reißt die turbulente Strömung Fremdstoffe wie Schlacken oder Oxide, die sich auf der Schmelze in der oben offenen Kokille befinden, in die Schmelze hinein. Das führt zu internen Materialfehlern im fertigen Stahl. Oberflächenfehler können entstehen, wenn unerwünschte Wechselwirkungen zwischen der Schmelze und dem Gießpulver stattfinden, und schließlich kann es zum „worst case“, dem Durchbruch des Strangs und dem Ausfließen der Schmelze, kommen, wenn die erstarrte Randschale des Strangs durch das unkontrollierte Auftreffen heißer Schmelze wieder schmilzt.

Strömungen direkt in der Stahlschmelze messen

„Uns werden die Ideen für Experimente an LIMMCAST die nächsten zehn Jahre nicht ausgehen“, sagt Sven Eckert, Leiter der Magneto hydrodynamik-Abteilung im HZDR. „Nachdem wir im Experiment herausgefunden haben, welche physikalische Größe bei den bisherigen Annahmen für Magnetbremsen immer vernachlässigt wurde, haben wir nun auch eigene

Flüssige Metalle gemeinsam erforschen

Flüssige Metalle sind das Thema der neuen Helmholtz-Allianz LIMTECH – die Abkürzung steht für „Liquid Metal Technologies“. Das HZDR und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) bündeln darin ihre Kompetenzen mit weiteren Helmholtz-Zentren und Universitäten im In- und Ausland.

Flüssige Metalle können Energie in großen Mengen speichern oder Wärme effektiv abführen. Deshalb kommen sie in vielen Branchen zum Einsatz – beispielsweise beim Metallguss – und werden für Zukunftstechnologien immer wichtiger. Hier sind neue Flüssigmetall-Batterien zur Energiespeicherung ebenso zu nennen wie die CO₂-freie Wasserstoffproduktion oder die Herstellung von Solarzellen. Da flüssige Metalle sich gut eignen, um hochenergetische Prozesse zu kühlen, tragen sie auch zu mehr Energie- und Ressourceneffizienz bei. Das liegt daran, dass der Wirkungsgrad thermodynamischer Prozesse steigt, je höher die Temperaturen sind. Zwei Teilprojekte der Allianz widmen sich deshalb auch dem Einsatz von Flüssigmetallen in Solarkraftwerken.

LIMTECH hat das Ziel, Flüssigmetall-Technologien für ein breites Spektrum an Anwendungen zu erforschen, weiterzuentwickeln und anwendbar zu machen. Dafür stehen 20 Mio. Euro zur Verfügung. Die Mittel kommen jeweils zur Hälfte aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft einerseits und den beteiligten Helmholtz-Zentren und Partnern andererseits. Im Rahmen der Allianz soll auch ein Doktorandenprogramm aufgebaut werden. Ein weiterer Schwerpunkt ist die enge Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie, um die Ergebnisse technologisch zügig umzusetzen.

Beteiligte Helmholtz-Zentren:

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungszentrum Jülich (FZJ), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Externe Partner:

Technische Universität Dresden, Technische Universität Ilmenau, Leibniz Universität Hannover, TU Bergakademie Freiberg, Universität Potsdam, Georg-August-Universität Göttingen, RWTH Aachen, Institute of Physics Riga (Lettland), Coventry University (UK)



Gunter Gerbeth vom HZDR koordiniert die neue Helmholtz-Allianz LIMTECH.

→

Berechnungen angestellt. Unsere Ergebnisse berücksichtigen erstmals die Leitfähigkeit der Kokillen-Wand als Einflussgröße für die strömende Schmelze.“ Die Gruppe um Sven Eckert plant weitere Experimente zur Wirkung von Magnetbremsen, beispielsweise mit unterschiedlichen Kokillenvolumen und -formen. Aber sie hat auch neuartige Magnetrührer im Sinn. Während die heutigen Magnetbremsen die Strömung der Stahlschmelze am Eintritt in die Kokille kontrollieren sollen, könnten im unteren Teil des Strangs zukünftig Magnetrührer zum Einsatz gelangen. Durch elektromagnetisches Rühren in der Erstarrungszone können die Kornstruktur des Metalls günstig beeinflusst und Materialinhomogenitäten vermieden werden.

Doch zurück zu den elektromagnetischen Bremsen, die ja selbst auch wieder Energie verbrauchen. Sven Eckert träumt davon, dass eines Tages die Bremsen immer nur dann zugeschaltet werden, wenn sie wirklich benötigt werden. Dazu müsste man aber in Echtzeit in die Stahlschmelze hineinschauen und Strömungen messen können, doch bei 1.500 Grad Celsius versagt jegliches Material, das direkt mit der Schmelze in Berührung kommt. Deshalb stehen auch innovative Messtechniken auf der Forschungs- und Entwicklungsagenda. Bereits patentiert ist eine neue magnetische Methode, die berührungslos von außen funktioniert. Magnetfelder können die Strömung von leitfähigen Flüssigkeiten beeinflussen, aber auch der umgekehrte Prozess ist möglich, denn die Strömung verzerrt ein Magnetfeld in spezifischer Weise. Die strömungsbedingte Verzerrung kann außerhalb der Stahl-

schmelze gemessen werden. So gelang es dem MHD-Team, namentlich Frank Stefani und Thomas Wondrak, den ersten Tomographen überhaupt zu entwickeln, der aus externen Magnetfeld-Signalen die Strömung der Flüssigkeit errechnen und sichtbar machen kann. Die Technik heißt CIFT (Contactless Inductive Flow Tomography) oder auf Deutsch: kontaktlose induktive Strömungstomographie.

Die ersten Industrieprojekte mit der CIFT-Technik verliefen äußerst vielversprechend, so dass jetzt daran gearbeitet wird, einen Sensor auf CIFT-Basis für Stahlschmelzen zu entwickeln. In Zukunft soll solch ein Sensor immer nur dann die Magnetbremsen zuschalten, wenn die bis dahin ruhige Strömung im flüssigen Metall turbulent zu werden droht. Und die allerneueste Idee sieht ein Sensor-Aktuatorsystem vor, also magnetischer Sensor und Magnetbremse vereint in einem System, das im realen Gussprozess die Stahlschmelze jederzeit überwachen und, wo nötig, kontrolliert eingreifen kann.

Die Metallerzeugung und -bearbeitung nimmt den Spitzenplatz ein, wenn es um den Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe geht. Dies ist ebenso im sechsten Energieforschungsprogramm der Bundesregierung vom Juli 2011 nachzulesen wie das Ziel, mit innovativen Entwicklungen den Energiehunger in der metallerzeugenden Industrie Deutschlands deutlich zu bremsen. Die Arbeitsgruppe um Sven Eckert will den Einsatz von Magnetfeldern im Metallguss weiter erforschen, um einen wichtigen Beitrag zur Energiewende zu leisten. ─

MULTIMAG: An dieser Anlage sind Modellexperimente für optimierte Prozesse in der Kristallzucht möglich. Das Gesicht des Wissenschaftlers spiegelt sich an der freien Oberfläche des mit einer Legierung gefüllten Tiegels. Foto: Rainer Weisflog

PUBLIKATION:

K. Timmel, S. Eckert, G. Gerbeth: “Experimental investigation of the flow in a continuous-casting mold under the influence of a transverse, direct current magnetic field”, in Metallurgical and Materials Transactions B, Bd. 42B (2012), S. 68 - 80 (DOI 10.1007/s11663-010-9458-1)



KONTAKT

_ Institut für Fluidodynamik im HZDR
Dr. Gunter Gerbeth
g.gerbeth@hzdr.de



TANZBODEN: Eine von fünf Magnetzellen im Hochfeld-Magnetlabor Dresden des HZDR. Hier werden Experimente zur Supraleitung durchgeführt. Foto: Uwe Tölle

WENN ELEKTRONENPAARE HÄNDCHEN HALTEN UND STÖRENFRIEDE IN DER ECKE STEHEN

_TEXT . Roland Knauer

// Starke Magnetfelder zeigen einen bereits 1964 vorhergesagten Effekt in Supraleitern.

Joachim Wosniza vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf und der Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Physik komplexer Systeme (MPIPKS) in Dresden Peter Fulde teilen mit vielen Physikern in der Grundlagenforschung ein Problem: Der angewandte Physiker vom HZDR-Hochfeld-Magnetlabor versteht sich mit dem MPIPKS-Theoretiker zwar hervorragend, Nichtphysiker aber verstehen bei den Gesprächen der beiden Forscher meist bestenfalls „Bahnhof“. Als Joachim Wosniza und seine Kollegen daher gerade eben

mit einem raffinierten Experiment klare Hinweise auf einen Effekt fanden, den Peter Fulde bereits 1964 vorhergesagt hatte, waren beide Wissenschaftler und ihre Fachkollegen hellauf begeistert. In die Schlagzeilen schaffte es der Durchbruch in der Sachsen-Metropole aber nicht, weil diese Forschung sehr kompliziert ist. Dabei geht es um ein Thema, das in Zeiten der Energiewende durchaus eine breite Öffentlichkeit interessieren sollte: Wie leitet man elektrischen Strom ohne Verlust weiter? →



HOCHFELD-MAGNETLABOR: Höchste Magnetfelder, wie sie im HZDR zur Verfügung stehen, brachten entscheidende Hinweise auf die Existenz des schon 1964 vorhergesagten Fulde-Effekts.

Wie geht Supraleitung kaputt?

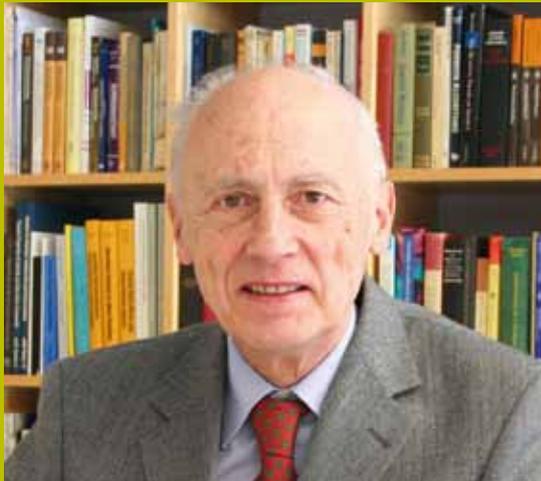
„Supraleiter“ nennen Physiker Substanzen, die Elektrizität keinen Widerstand entgegensetzen. Im Alltag eines Elektro-Ingenieurs aber gibt es bei dieser verlustfreien Stromleitung gleich zwei entscheidende Schwachstellen: Sie funktioniert normalerweise nur bei sehr niedrigen Temperaturen und reagiert empfindlich auf stärkere Magnetfelder. Obwohl bereits 1911 die erste Supraleitung beobachtet wurde, wird sie daher bis heute nur in speziellen Fällen angewendet.

Umgehen lassen sich diese Hindernisse vermutlich nur, wenn man versteht, was dabei vor sich geht. „Wir untersuchen daher, wie Supraleitung entsteht und wie sie kaputt geht“, umschreibt Joachim Wosnitza dann auch die Experimente im HZDR-Hochfeld-Magnetlabor. Theoretiker erklären das verlustfreie Weiterleiten von Strom mit Hilfe sogenannter „Cooper-Paare“, die aus zwei Elektronen bestehen. Elektronen wiederum sind elektrisch negativ geladene Elementarteilchen, die nicht nur entscheidende Bauteilchen jeder Materie, sondern auch die Träger des elektrischen Stroms sind. Obendrein haben Elektronen wie viele andere Elementarteilchen auch eine Eigenschaft, die Physiker als „Spin“ bezeichnen. Dieser Spin kann bei Elektronen entweder minus oder plus $\frac{1}{2}$ sein.

Der Tanz der Elektronen

Vereinigen sich nun zwei Elektronen mit entgegengesetztem Spin zu einem Cooper-Paar, wird nicht nur der jetzt gemeinsame Spin Null, sondern ändert sich auch der quantenmechanische Zustand des Paares entscheidend, beschreibt Joachim Wosnitza mit einem Vergleich: „Die in einem Supraleiter entstandenen Cooper-Paare reichen sich sozusagen alle die Hände und beginnen wie Tänzer im gleichen Takt zu schwingen.“ Während in einem normalen Metall bereits ein kleiner Einfluss ein Elektron ablenken kann und so die Stromleitung ein wenig stört, lassen sich die gemeinsam schwingenden Cooper-Paare nur mit erheblich höherem Energieaufwand aus dem Takt bringen. Weil das bei tiefen Temperaturen aber praktisch nicht passiert, leiten solche Supraleiter den elektrischen Strom ohne Widerstand und damit auch ohne Verlust weiter.

Diese Situation ändert sich aber, sobald ein Magnetfeld auf den Supraleiter wirkt. „Die Elektronen wollen sich nun nach dem Magnetfeld ausrichten und müssten dazu aber die Cooper-Paare aufbrechen“, erklärt Joachim Wosnitza weiter. Da einzelne Paare aber nicht aus der Reihe tanzen können, muss das Magnetfeld schon relativ stark sein und viel Energie →



Professor Peter Fulde

Der Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Physik komplexer Systeme (MPIPKS) hält sich derzeit gern und häufig in Südkorea auf, denn als Berater ist er dort sehr gefragt – und als emeritierter Direktor besitzt er auch die nötige Zeit dafür. Im Korea Basic Science Institute hat er seit diesem Jahr einen Sitz im Wissenschaftlichen Aufsichtsrat inne und ist zudem Vorsitzender des zentralen Auswahl- und Evaluierungskomitees des Instituts. Seit dem Jahr 2007 ist er zudem Professor an der Pohang Universität für Wissenschaft und Technologie (POSTECH) und Präsident des ebenfalls im koreanischen Pohang beheimateten Asien-Pazifik-Zentrums für Theoretische Physik (Asia Pacific Center for Theoretical Physics).

investieren, um die Tänzer aus dem Takt zu bringen und die Supraleitung kaputt zu machen. Diese Mindestenergie nennen Festkörperforscher „kritische Zeeman-Energie“.

Nanoflecken: Ein Buch mit sieben Siegeln

Gemeinsam mit Richard Ferrell aber hat Peter Fulde bereits 1964 theoretisch gezeigt, dass es auch jenseits dieser Zeeman-Energie noch Supraleitfähigkeit geben sollte, die allerdings eine Art Zwitter darstellt: Winzige, normal leitende Bereiche wechseln sich dort mit „Supraleiter-Nano-Flecken“ ab. „Genau genommen sind das keine Flecken, sondern es läuft eine Welle mit Supraleitfähigkeit und normaler Stromleitung durch das Material“, beschreibt HZDR-Forscher Joachim Wosnitza diesen Effekt. Weil zwei weitere Forscher diese Supraleitfähigkeit jenseits der Zeeman-Energie etwa zeitgleich beschrieben haben, heißt das Ganze heute „Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov-Effekt“.

Für Nicht-Physiker aber bleibt dieser kurz als „FFLO“ bezeichnete Effekt ein Buch mit sieben Siegeln. Um auch Laien diese Vorgänge zu erklären, greift Peter Fulde zu einem anschaulichen Vergleich, der allerdings das Geschehen sehr vereinfacht: Stellt man sich Elektronen mit einem Spin von minus $\frac{1}{2}$ als Männer vor, könnten Frauen den Spin plus $\frac{1}{2}$ darstellen. In menschlichen Gesellschaften aber schließen sich Frauen und Männer anscheinend ähnlich gern zu Paaren zusammen wie Elektronen die für die Supraleitfähigkeit wichtigen Cooper-Paare bilden.

Wenn es zu viele Männer gibt

Gibt es nun aus irgendwelchen Gründen mehr Männer als Frauen, kommt in einer Gesellschaft bald Unruhe auf: „Die überschüssigen Männer wollen ja auch eine Frau“, erläutert der Theoretiker. Suchen nur wenige Männer eine Partnerin, passiert noch wenig, weil die gut miteinander verbundenen Paare sich durch die wenigen Störenfriede nicht aus der Ruhe bringen lassen. Wächst der Männerüberschuss aber zu stark an, bricht das System rasch zusammen und die Paare →

Aber auch Sachsen hat Peter Fulde sehr viel zu verdanken. Nicht nur, dass er im Jahr 1993 nach seiner Zeit als Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart das Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme in Dresden gründete und bis in das Jahr 2007 leitete. Darüber hinaus war er hier wie andernorts über viele Jahre in unterschiedlichsten Instituten und Gremien als geschätzter Berater tätig. So hat Peter Fulde auch die Entwicklung des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf maßgeblich beeinflusst, wofür ihm im Jahr 2009 der Status des Ehrenmitglieds verliehen wurde. In seine Zeit als Mitglied im Kuratorium des Zentrums von 2000 bis 2008 fielen weitere ehrenamtliche Tätigkeiten wie Mitgliedschaften im Kuratorium der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt und im Kuratorium des Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) oder der Vorsitz der Chemisch-Physikalisch-Technischen Sektion der Max-Planck-Gesellschaft. Um nur noch einige nationale wie internationale Ämter und Stationen zu nennen: Mitglied des Sächsischen Forschungsbeirats sowie des Wissenschaftsrates der Bundesrepublik Deutschland, Kurator der Deutsch-Israelischen Stiftung, Gründungsmitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Mitglied der Leopoldina in Halle sowie der Deutschen Akademie für Technikwissenschaften (acatech).

Die Liste ließe sich für den im Jahr 1936 in Breslau gebürtigen Ausnahmephysiker fast beliebig fortsetzen. Zwar hat Peter Fulde bereits vielfältige Preise und Ehrungen erhalten, die Entdeckung des nach ihm benannten Fulde-Effekts, so ist die entdeckte-Redaktion überzeugt, wäre aber durchaus noch einen wissenschaftlichen Preis wert.

lösen sich voneinander. Ähnlich erzeugt in einem Supraleiter ein schwaches Magnetfeld einen kleineren Überschuss von Elektronen mit einem bestimmten Spin, der die Cooper-Paare noch nicht weiter stört. Wird aber die kritische Zeeman-Energie überschritten, wächst der Überschuss zu stark und die Supraleitung bricht zusammen.

„Aber auch in dieser Situation kann man den Einfluss der Störenfriede eine Weile reduzieren, indem man den Überschuss in eine Ecke drängt“, erklärt der Dresdner Physiker weiter. Aus dieser Ecke aber stören sie die Paare viel weniger - unabhängig davon, ob es sich um Menschen oder Elektronen handelt. Da die Paare versuchen, sich von der Ecke mit den Isolierten fernzuhalten, drängen sie sich an bestimmten Stellen, was man auf einer Tanzfläche manchmal ganz gut beobachten kann. Bei einem Supraleiter passiert das Gleiche, die Dichte der Cooper-Paare variiert von Ort zu Ort.

Theoretiker brauchen viel Geduld

Allerdings geschieht diese „räumliche Modulation“ nicht auf dem Tanzboden, sondern unter den Gesetzen der Quantenmechanik. Die „Ecke“ ist also nicht im „Ortsraum“, sondern im „Impulsraum“. Beides ist für Nichtphysiker kaum und für Physiker nur ein wenig besser vorstellbar. „Aber das macht nichts, die Grundidee bleibt jedenfalls die gleiche“, fasst Peter Fulde zusammen.

Auch mit dieser anschaulichen Erklärung war der FFLO-Effekt bei starken Magnetfeldern immer noch nur eine Theorie. Zwar gab es immer wieder Versuche, das Ganze im Laborexperiment zu untermauern. „Dazu braucht man aber sehr gute Supraleiter, die am besten als sehr dünne Schichten vorliegen“, erklärt Joachim Wosnitza. Und natürlich eine hervorragende Magnetfeldtechnik wie sie das HZDR bietet. In keinem der früheren Experimente aber kamen alle diese Eigenschaften zusammen und Peter Fulde musste beinahe ein halbes Jahrhundert warten, bis ausgerechnet sein häufiger Gesprächspartner Joachim Wosnitza im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf den entscheidenden Hinweis brachte, dass der nach ihm benannte FFLO-Effekt auch in der Praxis existiert.

Starke Magnetfelder und dünne Schichten

„Wir haben das Ganze an organischen Supraleitern untersucht, deren Schichten mit 1,8 Nanometern nur wenig dicker als ein Millionstel Millimeter sind“, berichtet Joachim Wosnitza. Das Kopfhair eines Menschen ist im Vergleich mehr als zwanzigtausendmal dicker. Diese organischen Supraleiter bestehen aus vielen Tausenden etwa einen Nanometer dicken organischen Schichten und ähnlich dünnen Lagen aus isolierenden Molekülen.

Als die HZDR-Forscher diese organischen Supraleiter absolut parallel zu einem Magnetfeld mit einer Stärke von rund elf Tesla brachten, war die Zeeman-Energie zwar deutlich überschritten. Trotzdem aber war das Material nach wie vor supraleitend. Sollte damit der lange gesuchte FFLO-Effekt in der

Praxis nachgewiesen sein? Sollte das Magnetfeld tatsächlich die Störenfriede für die Cooper-Paare in bestimmten Ecken isoliert haben?

Wenn die Paare aus dem Takt geraten

Falls ja, müsste der Effekt verschwinden, wenn die Forscher den Supraleiter im Magnetfeld ein wenig kippen. Dann dringt das Magnetfeld durch die supraleitenden Schichten und stört die gemeinsam schwingenden Cooper-Paare, die jetzt aus dem Takt geraten können - die Störenfriede lassen sich nicht mehr in eine Ecke drängen. Schwenkten die Forscher den Supraleiter um 0,1 Grad zum Magnetfeld, blieb die Supraleitfähigkeit erst einmal erhalten. Auch bei Verdrehen um 0,2 oder 0,4 Grad änderte sich daran nichts. Wurde die Probe dagegen um ein halbes Grad gedreht, verschwand die Supraleitfähigkeit völlig. Die Störenfriede hatten die Oberhand gewonnen, genau wie es der FFLO-Effekt erwarten ließ. Nach beinahe einem halben Jahrhundert war die Theorie endlich in der Praxis bestätigt.

Für die Grundlagenphysik aber hat dieses Experiment eine enorme Bedeutung. Denn der FFLO-Effekt zeigt sich nicht nur bei menschlichen Paaren und Elektronen. Ähnliche Paare bilden sich ja auch bei anderen Elementarteilchen wie den Quarks, aber auch bei den Neutronen und Protonen, aus denen sich Atomkerne aufbauen, und auch bei bestimmten ultrakalten Atomgasen. Tatsächlich wurde der FFLO-Zustand inzwischen auch bei ultrakalten Lithium-Atomen gefunden. „Als Bauelement in supraleitender Elektronik hat ein ähnlicher Zustand auch eine ganz praktische Bedeutung“, weist Peter Fulde auf eine erste Anwendung hin. Die beiden Dresdener Physiker Joachim Wosnitza und Peter Fulde haben so ein Stück Physikgeschichte geschrieben, auf dem andere Forscher nun aufbauen können. —

PUBLIKATION:

R. Beyer, B. Bergk u.a.: „Angle-dependent evolution of the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov state in an organic superconductor“, in *Physical Review Letters*, Bd. 109 (2012), S. 027003 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.027003)

KONTAKT

— Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden im HZDR
Prof. Joachim Wosnitza
j.wosnitza@hzdr.de

— Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme
Prof. Peter Fulde
Über: Anett Pacholik
ap@pks.mpg.de

➤ www.pks.mpg.de

// Krebspatienten könnten in Zukunft davon profitieren, dass radioaktive Substanzen die bösartigen Zellen direkt im Tumor oder in der Metastase vernichten. Wissenschaftler im HZDR arbeiten an den Grundlagen dieser inneren Bestrahlung, mit der die herkömmliche Bestrahlung von außen ergänzt werden soll. Gemeinsam mit Kollegen im OncoRay-Zentrum verweisen sie auf erste Erfolge im Tiermodell.

MINI-TRANSPORTER FÜR HEILENDE STRAHLUNG

_TEXT . Christine Bohnet



INTERNE BESTRAHLUNG: Silke Fähnemann (rechts) und Manja Kubeil arbeiten vor zehn Zentimeter dicken Bleiglasscheiben an radioaktiven Substanzen, mit denen man in Zukunft Krebszellen „von innen“ bestrahlen kann. Foto: Frank Bierstedt

Chirurgie, äußere Bestrahlung und Chemotherapie sind die drei Säulen der Krebsbehandlung. Damit können heute bereits rund 50 Prozent der Krebserkrankungen geheilt werden. Die Heilungschancen sinken jedoch, wenn der Tumorherd bereits Krebszellen gestreut hat und sich eine oder mehrere Metastasen im Körper an einer anderen Stelle angesiedelt haben. In diesen Fällen steht derzeit lediglich die Chemotherapie

zur Verfügung, die als systemische Therapie jedoch nur sehr kleine Metastasen mit relativ wenigen Krebszellen – Onkologen sprechen hier von Mikrometastasen – zuverlässig zu zerstören in der Lage ist. Deshalb sind neue und effizientere Ansätze für die Therapie gerade von metastasierenden Krebserkrankungen dringend erforderlich. →

Auch die Krebsforscher im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf verfolgen das Ziel, Krebstumore und deren Metastasen wirksamer zu bekämpfen. Dazu arbeiten die Wissenschaftler im Institut für Radiopharmazie des HZDR an der Erforschung neuer radioaktiver Substanzen. Sie wollen damit sowohl die Diagnose als auch die Therapie von primären Krebsherden und deren Metastasen verbessern. Die hier entwickelten radioaktiven Marker und Substanzen sollen Tumorzellen hochspezifisch im Körper auffinden, um sie mit bildgebenden Verfahren noch gezielter darstellen oder direkt vor Ort erfolgreich abtöten zu können. Auch die Entwicklung und Verbesserung der bildgebenden Technologien selbst – wie die noch sehr junge Kombinationsmethode von Positronen-Emissions- und Magnet-Resonanz-Tomographie (PET/MRT) – stehen auf dem Forschungsprogramm. Die medizinische Umsetzung der erzielten Ergebnisse geschieht in enger Kooperation mit den Partnern Technische Universität und Universitätsklinikum Dresden im gemeinsamen OncoRay-Zentrum.

Mikrometastasen

Mikroskopisch kleine Metastasen bzw. Anhäufungen von nur einigen wenigen Krebszellen können auch mit ausgefeilten Diagnosemethoden meist nicht aufgespürt werden und sind deshalb einer Diagnose nicht zugänglich – dieser Zustand wird als vorklinische Erkrankung bezeichnet. Selbst modernste Bildgebung, wie sie im HZDR vorhanden ist und die fast gleichzeitig PET- und MRT-Bilder vom ganzen Körper in sehr guter Auflösung erzeugt, kann nur Metastasen sichtbar machen, die einen Durchmesser von wenigstens einigen Millimetern haben. Bleiben sie jedoch unentdeckt, können die Ärzte auch nicht die notwendigen systemischen Therapien verschreiben – da sie ja fälschlicherweise davon ausgehen müssen, dass der Tumor sich noch nicht in andere Körperregionen ausgebreitet hat. Wenn Ärzte stattdessen allein aufgrund ihrer Erfahrung eine systemische Behandlung für jeden Patienten verordnen, der statistisch gesehen ein Risiko für eine Metastasenbildung trägt, würde das zu einer „Überbehandlung“ führen, und zwar genau für diejenigen, deren Tumore noch nicht gestreut haben. Das wiederum könnte durchaus eine erhebliche Anzahl von Patienten betreffen. Deshalb ist es wichtig, die diagnostischen Verfahren so weiterzuentwickeln, dass im Körper verstreute Mikrometastasen sicher diagnostiziert werden können. Erst auf dieser Grundlage könnten Ärzte dann personalisierte Entscheidungen für jeden einzelnen Patienten treffen. Ebenso wichtig ist aber auch die Forschung an neuen radioaktiven Anti-Krebsmitteln, deren Wirkung sich gezielt gegen mikro- wie makroskopische Metastasen und Tumoren richtet.

Nun gibt es für die Bildgebung und die interne Radiotherapie ein äußerst erfolgreiches Vorbild: die Radiojod-Therapie, die seit rund 70 Jahren in der Medizin etabliert ist, und zwar für onkologische wie nicht-onkologische Erkrankungen der Schilddrüse. Da nur die Schilddrüsenzellen, die an der Hormonproduktion beteiligt sind, Jod speichern, zerstört radioaktiv markiertes Jod ganz gezielt auch nur dieses Gewebe, unabhängig davon, ob es sich um eine krankhaft vergrößerte Schilddrüse, einen Tumor oder eine irgendwo im Körper

befindliche Metastase handelt. Diese in der Klinik bewährte Radionuklid-Therapie – oder auch Endoradionuklid-Therapie – ist das Vorbild für die neue interne Bestrahlung von Krebs.

Vor etwa zehn Jahren beschäftigte sich gerade einmal ein Dutzend Forschergruppen mit dem Ansatz, das Spektrum an radiopharmazeutischen Arzneimitteln für den Einsatz in der Krebstherapie zu erweitern. Leider stellten sich die neuen Mittel allzu häufig als zu unspezifisch und ineffektiv heraus noch bevor sie in die Klinik Einzug hielten. Gerade in letzter Zeit ist die Forschung auf diesem Gebiet, das heute auf die Kombination von klassischer externer Bestrahlung mit hochspezifischer interner Bestrahlung setzt, jedoch ein gutes Stück vorangekommen.

Die Eigenheiten von Tumoren ausnutzen

„Wir wollen mit unseren neuen radioaktiven Substanzen die Wirkung der externen Radiotherapie auf den Primärtumor erhöhen und zugleich Metastasen, die sich irgendwo im Körper befinden, vollständig zerstören. Gerade durch die Kombination von externer und interner Bestrahlung wäre das den Krebsherd umgebende, gesunde Gewebe keiner zusätzlichen Strahlendosis ausgesetzt, wohingegen den Tumor selbst eine höhere Dosis treffen würde. Zugleich ließen sich Krebszellen in möglicherweise vorhandenen Metastasen ebenfalls wirksamer bekämpfen. Insgesamt hoffen die Mediziner darauf, dass sich so das therapeutische Fenster öffnet und mehr Krebspatienten endgültig geheilt werden können“, fasst Hans-Jürgen Pietzsch, Leiter der Abteilung Radiotherapeutika im HZDR, zusammen. Gemeinsam mit seinem Team verfolgt er zwei grundsätzliche Wege: einer setzt auf langsame Antikörper als Transportvehikel für strahlende atomare Bausteine, ein anderer auf kleinere Moleküle wie Fragmente von Antikörpern oder aber Peptide, die sich im Körper schneller verteilen.

Unabhängig davon, welcher der aus radiopharmazeutischer Sicht sehr unterschiedlichen Ansätze schließlich zum Erfolg führt, gilt, dass man die besonderen Eigenschaften von Krebszellen ausnutzt, um die radioaktiv markierten Moleküle zum Tumor oder zur Metastase zu bringen. Wegen ihres äußerst aktiven Stoffwechsels benötigen Tumorzellen mehr Energie als gesundes Gewebe. Dieses besondere metabolische Profil wird für die Krebsdiagnose schon seit vielen Jahren genutzt: Versieht man das natürlich vorkommende Zuckermolekül Glucose mit einer radioaktiven Markierung und injiziert dem Patienten die Substanz ¹⁸F-Fluor-Desoxyglucose, so nehmen Tumorzellen sie in deutlich höherem Maße auf als gesunde Zellen.

Vor allem für Antikörper, die sehr spezifisch an Andockstationen auf der Oberfläche von Krebszellen binden, sieht Hans-Jürgen Pietzsch mit seinem Team erhebliche Vorteile: „Antikörper lassen sich biotechnologisch gut herstellen und maßgeschneidert in ihren biologischen Eigenschaften verändern. Sie besitzen eine ausgesprochen hohe Bindungsaffinität für Andockstationen, die sich auf Krebszellen befinden. Deshalb reichern sie sich im Tumorgewebe sehr hoch an. Verschiedene Substanzen durch geeignete Methoden radioaktiv zu markieren sowie ihre Stabilität im menschlichen Organismus →

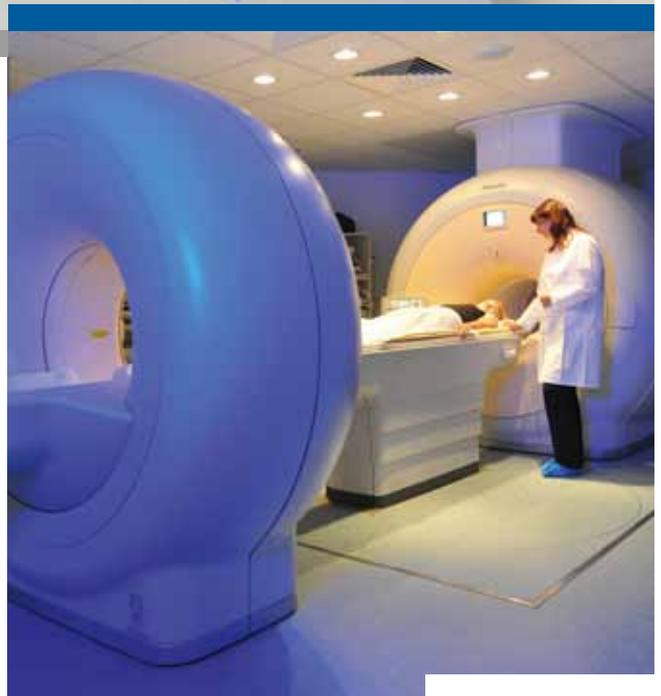


KREBSTHERAPIE DER ZUKUNFT: Die Wissenschaftler im Institut für Radiopharmazie befassen sich mit den Grundlagen für eine innere Bestrahlung. Es gilt, die besonderen Eigenheiten von Krebszellen zu kennen und auszunutzen, um die radioaktiven Moleküle in den Tumor oder die Metastase zu bringen. Foto: Frank Bierstedt

für diagnostische und therapeutische Anwendungen zu gewährleisten, ist eines unserer zentralen Forschungsvorhaben im Institut für Radiopharmazie.“

Radiopharmazeutische „Trickkiste“

Bestrahlung schädigt die DNA von Zellen. Können die Zellen diese Schäden nicht reparieren, sterben sie ab, meist bei einer der nächsten Zellteilungen. Da dies prinzipiell für Tumorzellen wie auch gesunde Zellen gilt, ist bei der Strahlentherapie von außen die Dosis, die man ohne zu hohe Risiken auf den Tumor geben kann, limitiert. Das mitbestrahlte gesunde Gewebe gibt hierbei immer das Limit vor. Durch Verfahren der Hochpräzisions-Strahlentherapie, wie zum Beispiel die Strahlentherapie mit Protonen – Protonen sind Wasserstoffkerne, denen das Elektron entfernt wurde –, lässt sich dieses Problem deutlich reduzieren. Dennoch sind weitere Verbesserungen der modernen Strahlentherapie unbedingt notwendig, um zukünftig noch mehr Patienten helfen zu können. →



KREBSDIAGNOSTIK: Am HZDR ist seit Juni 2011 das deutschlandweit erste für Ganzkörperuntersuchungen zugelassene PET/MRT-Gerät im Einsatz. Bisher wurden mehr als 600 Krebspatienten untersucht. Foto: Frank Bierstedt

Hier nun kommt zu Hilfe, dass Strahlung nicht gleich Strahlung ist. Neben den Röntgenstrahlen aus dem in der Klinik eingesetzten Linearbeschleuniger oder den Protonenstrahlen, die derzeit in nur einigen großen Zentren weltweit für die Strahlentherapie im Einsatz sind, existiert quasi eine „Trickkiste“, aus der sich die HZDR-Forscher bedienen können. Diese ist mit unterschiedlichen Strahlern gefüllt, beispielsweise mit Betastrahlern wie Yttrium-90, Lutetium-177 oder Rhenium-188. Betastrahler senden mit einer für sie typischen Halbwertszeit und Energie aus dem Atomkern Elektronen aus. Lutetium-177 etwa hat eine Halbwertszeit von 160 Stunden, Yttrium-90 von knapp 65 Stunden. Die Halbwertszeit ist wichtig für die Präparationszeit im Labor und später in der Klinik, wenn es um die zu verabreichende Dosis im Tumor geht. Die Energie der von den Strahlern emittierten Elektronen wiederum gibt deren Reichweite vor, wobei diese im Vergleich zur externen Strahlentherapie deutlich geringer ist. Somit ist das den Krebs umgebende, gesunde Gewebe weniger Strahlendosis ausgesetzt als der Tumor.

Die „Trickkiste“ hat aber noch mehr zu bieten: Abhängig von der Größe des jeweiligen Tumors bzw. der Metastase könnten mit den passenden Radionukliden maßgeschneiderte Wirkstoffe für die interne Bestrahlung entwickelt werden. So könnte beispielweise Yttrium-90 mit einer maximalen Eindringtiefe von 11 Millimetern für relativ große Tumoren eingesetzt werden, wohingegen sich die von Lutetium-177 emittierten Elektronen mit deutlich geringerer Energie und einer maximalen Reichweite von knapp zwei Millimetern

KOMBINATION: Durch die Verbindung von Röntgendiagnostik und Computertomographie mit der Strahlentherapie können Tumore präziser bestrahlt werden. Es wird weniger gesundes Gewebe geschädigt und die Nebenwirkungen werden verringert. Foto: Rainer Weisflog



sehr gut für kleine Metastasen eignen würden. Möglich wäre auch ein Mix aus unterschiedlichen Radionukliden, um eine hochwirksame Therapie zu gewährleisten.

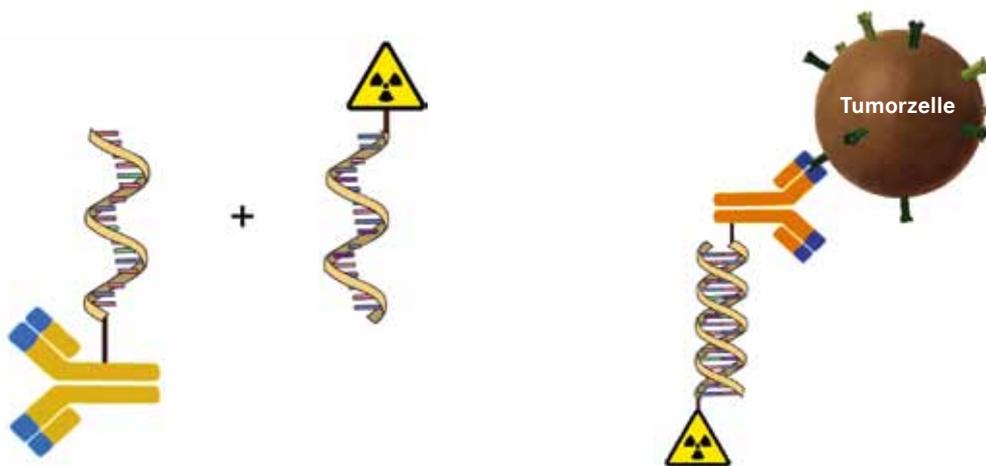
Aber auch damit schließt sich die „Trickkiste“ noch nicht: Prinzipiell sind Alphastrahler ebenfalls für die interne Bestrahlung geeignet. Diese wären sogar eine noch effektivere Waffe gegen Krebs, weil Alpha-Partikel – also Helium-Kerne – über eine deutlich höhere Masse verfügen im Vergleich zu den Elektronen. Damit haben sie im Gewebe eine sehr niedrige Reichweite in Größenordnungen von nur wenigen Zehntel Mikrometern, geben aber auf diesem ultrakurzen Weg ihre gesamte Energie ab. So können sie Krebszellen besonders stark schädigen.

Unabhängig davon, welches Radionuklid am Ende eingesetzt wird, besteht die Herausforderung immer darin, dass es mit Mini-Transportern gezielt zu den Krebszellen gelangt ohne andere Organe, wie das Knochenmark, die Nieren oder die Leber, zu schädigen. Die Wissenschaftler im HZDR haben in den letzten Jahren vor allem daran gearbeitet, wie Betastrahler mit unterschiedlichen Molekülen sicher im Körper zu den Krebszellen transportiert werden können – und gehen damit einen innovativen und erfolgreichen Weg.

Strahlender Transport mit Punktlandung

In Dresden konnten mit Radionukliden versehene Antikörper am Tiermodell bereits unter Beweis stellen, dass die interne Strahlentherapie in Kombination mit der externen Bestrahlung prinzipiell die Zerstörungsrate von Tumoren erhöht. Nun sind Antikörper ausgesprochen große Moleküle, die sich nur langsam aus der Blutbahn heraus in den Tumor oder die Metastase bewegen. Es dauert mitunter mehrere Tage, bis solch ein Antikörper im Krebsgewebe maximal angereichert ist. Die lange Zirkulation jedoch könnte zu unerwünscht hohen Strahlendosen in gesundem Gewebe führen. „Das bei uns angewandte Schlüssel-und-Schloss-Prinzip sieht vor, dass die radioaktive Komponente erst verabreicht wird, wenn sich die Antikörper-Moleküle vollständig im Krebsgewebe eingefunden haben. Dadurch soll der restliche Organismus vor einer unnötigen Strahlenbelastung geschützt werden. Die radioaktive Substanz – der Schlüssel – wird nach einer Pause von ein bis mehreren Tagen injiziert und gelangt sehr schnell zum Tumor-gewebe. Dort erkennt der Schlüssel das passende Schloss, also den Antikörper, und bindet ausschließlich an diesen“, erläutert Hans-Jürgen Pietzsch.

Die Wissenschaftler nutzen hierfür zwei zusammengehörige DNA-Einzelstränge. Während an den Antikörper der eine DNA-Strang gebunden wird, transportiert der dazu komplementäre DNA-Strang das entsprechende Radionuklid. Treffen die beiden DNA-Einzelstränge aufeinander, gehen sie eine blitzschnelle und äußerst stabile Verbindung ein. Die dabei stattfindende Reaktion erinnert an einen sich rasend schnell schließenden Reißverschluss. Christian Förster, Mitarbeiter in der Abteilung Radiotherapeutika, hat dieses Prinzip in seiner Promotionsarbeit untersucht und weiterentwickelt. Er betont: „Hierfür kommt die natürlich vorkommende DNA →



VORBILD NATUR: Künstlich hergestellte DNA-Einzelstränge ermöglichen die schnelle und präzise Bindung von Radionukliden an im Körper verstreute Krebszellen. Ein DNA-Strang ist an einen Antikörper gebunden, sein komplementärer Strang an ein Radionuklid. Treffen sie im Körper aufeinander, gehen sie eine feste Verbindung ein – der „Schlüssel“ erkennt das „Schloss“ (rechts). Das Radionuklid zerstört die Krebszelle von innen heraus und gesundes Gewebe wird geschont.

nicht in Frage. Stattdessen haben wir die DNA-Einzelstränge so verändert, dass sie vom Organismus nicht mehr als DNA erkannt werden. So gelang es, dass die radioaktiv markierten DNA-Einzelstränge in der Blutbahn nicht abgebaut werden und es genau nur eine mögliche Bindungsstelle im gesamten Organismus gibt: den Antikörper, der sich ausschließlich im Tumorgewebe angereichert hat und der den komplementären DNA-Strang trägt.“

Radioaktive Zwillinge

Die Verwendung von radioaktiven Substanzen birgt einen weiteren Vorteil: Es existieren quasi Zwillingspartner (sogenannte Radioisotope) unter den für den therapeutischen Einsatz geeigneten Radiometallen. Der leichtere Zwilling von Yttrium-90 etwa, Yttrium-86, kann als radioaktiver Marker mithilfe der PET-Methode anzeigen, ob ein spezifischer Antikörper sich im Tumorgewebe eines Patienten angereichert hat, und das mit einer sehr geringen Strahlendosis. Erst wenn man sicher ist, dass der Antikörper vollständig im Tumorgewebe angekommen ist, wird der größere Zwilling, das Therapienuklid Yttrium-90, verabreicht, um den Krebsherd wirksam zu zerstören. Jörg Steinbach, Direktor im HZDR-Institut für Radiopharmazie, erläutert: „Dieses theragnostische Prinzip wird es uns in Zukunft erlauben, die interne Radiotherapie derart zu personalisieren, dass wir die aktive Substanz nur solchen Patienten verabreichen, bei denen der Tumor und eben nicht das gesunde Gewebe attackiert wird. Um noch ein weiteres Beispiel anzuführen: Wir erforschen auch Kupfer-64 als möglichen Radiomarker für die Krebsdiagnose, während Kupfer-67 ein sehr gutes Therapienuklid sein könnte.“

Viel ist noch zu tun auf dem Weg zur wirkungsvollen, für Patienten zugelassenen und auf den individuellen Tumor zugeschnittenen internen Strahlentherapie, die als systemische Behandlung gegen Krebs zusammen mit der modernen

Bestrahlung von außen zum Einsatz kommen soll. Die Anwendung solch einer kombinierten Therapie erfordert zudem die enge Zusammenarbeit zweier medizinischer Disziplinen. Der Nuklearmediziner ist für die interne Radiotherapie, der Strahlentherapeut für die externe Strahlentherapie zuständig. Dank der fruchtbaren Zusammenarbeit im OncoRay-Zentrum ist Jörg Steinbach vom HZDR sicher, dass gerade Dresden ein idealer Ort für die Erforschung und Entwicklung solch innovativer Behandlungskonzepte ist.

Nach wie vor gilt Prävention als die beste Therapie von Krebserkrankungen. Onkologen gehen heute davon aus, dass jeder Einzelne die Wahrscheinlichkeit, im Laufe seines Lebens an Krebs zu erkranken, um rund die Hälfte reduzieren kann. Und das alleine durch eine gesunde Lebensführung, was bedeutet: vollständiger Verzicht auf Zigaretten, Vermeidung ausgiebiger Sonnenbäder, viel Bewegung, gesunde Ernährung und sehr gemäßigter Alkoholgenuß. Eigentlich sollte das jeder wissen – und möglichst auch praktizieren. ┘

PUBLIKATION:

C. Förster, R. Bergmann u.a.: „Radiolabeled L-oligonucleotides with tunable pharmacokinetics – A suitable complementary system for pretargeting approaches“, in *Nuclear Medicine and Biology*, Bd. 706 (2010), 37/6 (DOI: 10.1016/j.nucmed-bio.2010.04.100)

KONTAKT

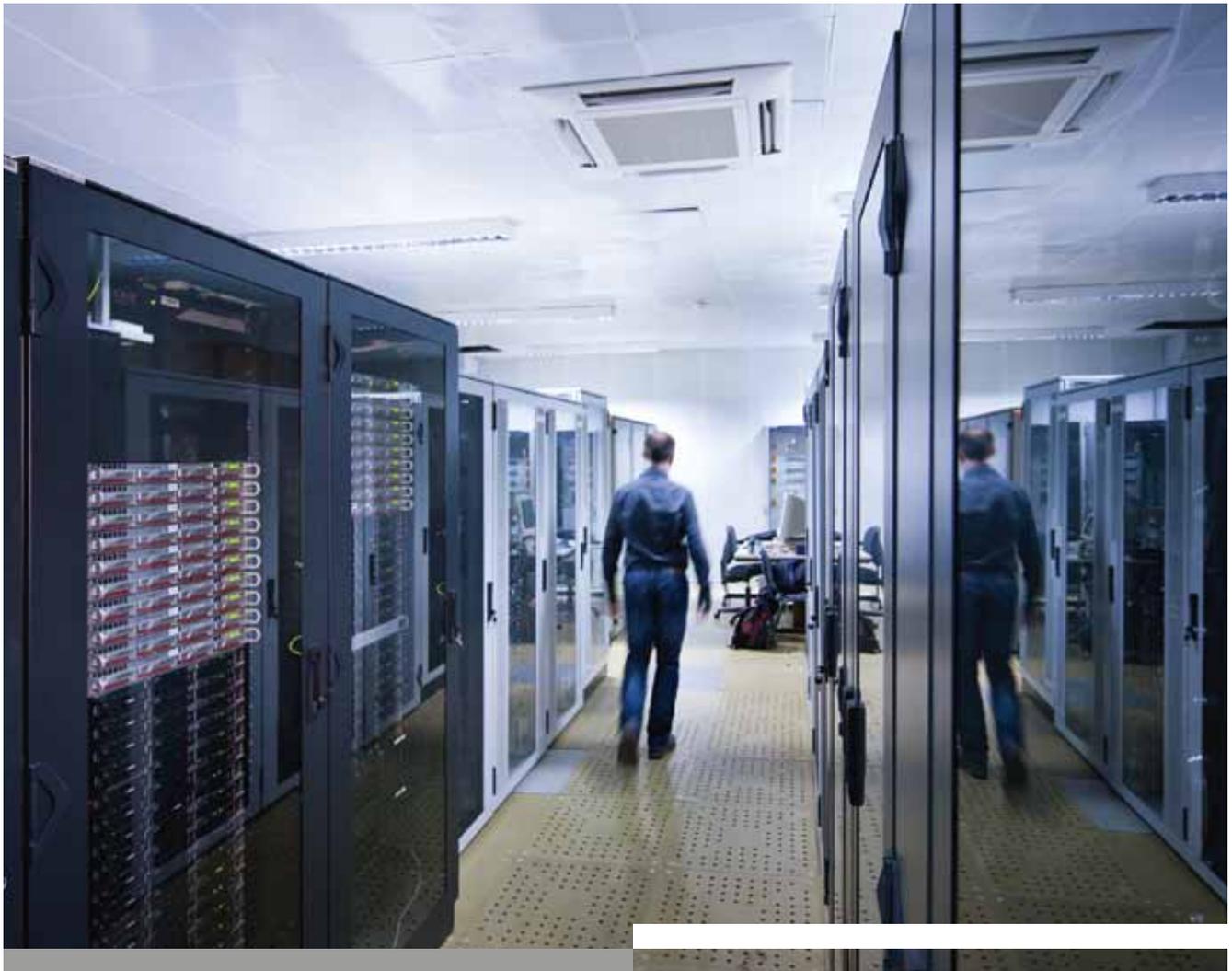
— Institut für Radiopharmazie im HZDR
(ab 2013: Institut für radiopharmazeutische Krebsforschung)
Dr. Hans-Jürgen Pietzsch
h.j.pietzsch@hzdr.de

Prof. Jörg Steinbach
j.steinbach@hzdr.de

➤ www.oncoray.de

LASERHEIZUNG IN NEUEM LICHT – ELEKTRONEN AUF MEHRERE MILLIARDEN GRAD GEHEIZT

_TEXT . Michael Bussmann & Christine Bohnet



SUPERCOMPUTER: Die Nachwuchsgruppe „Computergestützte Strahlenphysik“ um Michael Bussmann nutzt neuartige Programmier- und Simulationstechniken, verwendet moderne Hochleistungsrechner und experimentiert mit neuen Analysetechniken, um hochparallele Simulationen zu erzeugen. Foto: Oliver Killig

// Hochleistungslaser können Teilchen sehr effektiv beschleunigen. Je mehr Leistung in den ultrakurzen Laserpulsen steckt, desto höher sind die erreichten Energien der schnellen Teilchen. Physiker im HZDR haben eine neue Gleichung gefunden, welche die Temperatur und Dichte lasergetriebener Elektronen beschreibt. Sollte sie richtig sein, benötigt man höhere Intensitäten für Laser, die Ionenstrahlen für Anwendungen wie die Krebstherapie erzeugen sollen.

Wir alle nehmen als selbstverständlich an, dass Wasser bei 100 Grad Celsius kocht – egal ob wir morgens lieber einen Tee kochen oder Kaffee bevorzugen. Was würde passieren, wenn wir unser Wasser plötzlich auf 200 Grad Celsius erhitzen müssten, um es zum Kochen zu bringen? Wir müssten die Leistung unserer Kochplatte erhöhen, um unseren Kaffee in derselben Zeit zuzubereiten. In den Morgenstunden müssten zudem die Kraftwerke doppelt soviel elektrische Leistung zur Verfügung stellen, damit wir alle unseren Morgen auf die gewohnte Weise beginnen könnten. Klingt merkwürdig? Natürlich, doch das ist mehr oder weniger genau das, was Doktorand Thomas Kluge zusammen mit Kollegen im HZDR herausgefunden hat, allerdings für das Zusammenspiel von Lichtpulsen aus einem Hochleistungslaser mit Elektronen an der Oberfläche einer Folie.

Um das Ergebnis vorwegzunehmen: Man benötigt deutlich mehr Leistung in einem einzigen Laserpuls als bisher vermutet, um Elektronen in einer Folie auf eine gewünschte Temperatur zu erhitzen. Betrachtet man nun den Prozess, wie Elektronen und Ionen durch einen Hochleistungslaser be-

Die Elektronen spielen bei der Laser-Beschleunigung von Ionen die Rolle der Energieübermittler. Je heißer sie in der Wechselwirkung mit dem Laser werden, desto mehr Energie können sie an die Ionen abgeben, wobei gilt, dass die Temperatur der Elektronen direkt von der Leistung des Lasers abhängt. Um die Ionenbeschleunigung genau bestimmen zu können ist es wichtig, diese Temperatur sehr gut zu kennen. Thomas Kluge hat nun herausgefunden, dass die konventionellen, 20 Jahre alten Modelle zur Bestimmung der Temperatur lasergeheizter Elektronen zu ungenau sind. Zusammen mit Kollegen hat er ein neues theoretisches Modell aufgestellt, das die Bewegung vieler Elektronen unter Berücksichtigung relativistischer Effekte einbezieht. Damit sagt er niedrigere Elektronentemperaturen vorher als bislang angenommen.

Mit steigenden Laserintensitäten – wie sie für den DRACO- oder den Petawatt-Laser PENELOPE im HZDR, aber ebenso für zukünftige Petawatt-Laser oder den bereits im Betrieb befindlichen Petawatt-Laser in Austin, Texas erwartet werden – erreichen die bisherigen Modelle ihre Grenzen. „Alles dreht sich um die Frage, wie die Temperatur der Elektronen mit

Je heißer die Elektronen in der Wechselwirkung mit dem Laser werden, desto mehr Energie können sie an die Ionen abgeben.

schleunigt werden, etwas genauer, so kann man die einzelnen Phasen der Beschleunigung wie folgt unterscheiden: Zunächst trifft ein intensiver, ultrakurzer Laserpuls auf die Vorderseite einer dünnen Folie und erzeugt dort ein Plasma aus Ionen (Atomen, die einzelne oder alle ihre Elektronen verloren haben) und heißen Elektronen. Die Elektronen werden durch die starken Felder des Lasers geheizt, ähnlich wie Wasser in der Kaffeemaschine erhitzt wird. Verlassen dann die heißen Elektronen die Folie an der Rückseite, ziehen sie die Ionen hinter sich her und beschleunigen sie zu hohen Energien. Genau diese schnellen Ionen sind es, die Wissenschaftler für Experimente nutzen wollen und die letztendlich für zukünftige Anwendungen wie die Strahlentherapie bei Krebs zur Verfügung stehen sollen.

der Laserleistung zunimmt“, so Thomas Kluge. „Für neue Hochleistungslaser spielen relativistische Effekte eine viel größere Rolle als bisher angenommen. Falls wir diese nicht beachten, basiert die Planung neuer Lasersysteme nicht auf realistischen Annahmen und die Systeme werden die geforderten Ziele womöglich nicht erreichen.“

Einstein und die Teilchen

Anstatt wie in den Lehrbüchern üblich nur ein einziges Elektron zur Berechnung der Temperatur heranzuziehen, hat Thomas Kluge die gesamte, vom Laser geheizte Elektronenwolke in seinen Berechnungen modelliert. Dies ist deutlich

→

18

19



LICHTFEUERWERK: Fokussiert man den Strahl eines Hochleistungslasers in Luft, so bildet sich ein Filament – ein Bereich, in dem Laserlicht und Materie so wechselwirken, dass ein neues Lichtspektrum entsteht. Hier erzeugt weißes Licht, das im weiteren Verlauf auf Staub in der Luft trifft, buntes Laserlicht.

schwieriger, da man korrekt den Mittelwert über die Energien aller Teilchen in der Elektronenwolke bilden muss. Weiterhin sind relativistische Effekte zu berücksichtigen, da der Laser Elektronen sehr schnell bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. So besagt die Einsteinsche Relativitätstheorie, dass Uhren, die sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewegen, unterschiedlich schnell ticken. Dieser als Zeitdila-

tion bekannte Effekt ist vernachlässigbar für langsame Teilchen, wird aber wichtig für schnelle Geschwindigkeiten nahe der des Lichts – wie zum Beispiel für von einem Laser geheizte Elektronen.

befänden und wieder andere dazwischen. Die Surfer auf dem Wellenberg erfahren die höchste Beschleunigung. Je nach ihrer Geschwindigkeit ticken ihre Uhren langsamer als die der anderen Surfer. Das heißt, dass jedes Elektron die Laserwelle zu verschiedenen Zeitpunkten „sieht“ – und zwar abhängig von seiner Position auf der Laserwelle. Es ist im Alltag schwer, sich diesen relativistischen Effekt vorzustellen, er ist aber not-

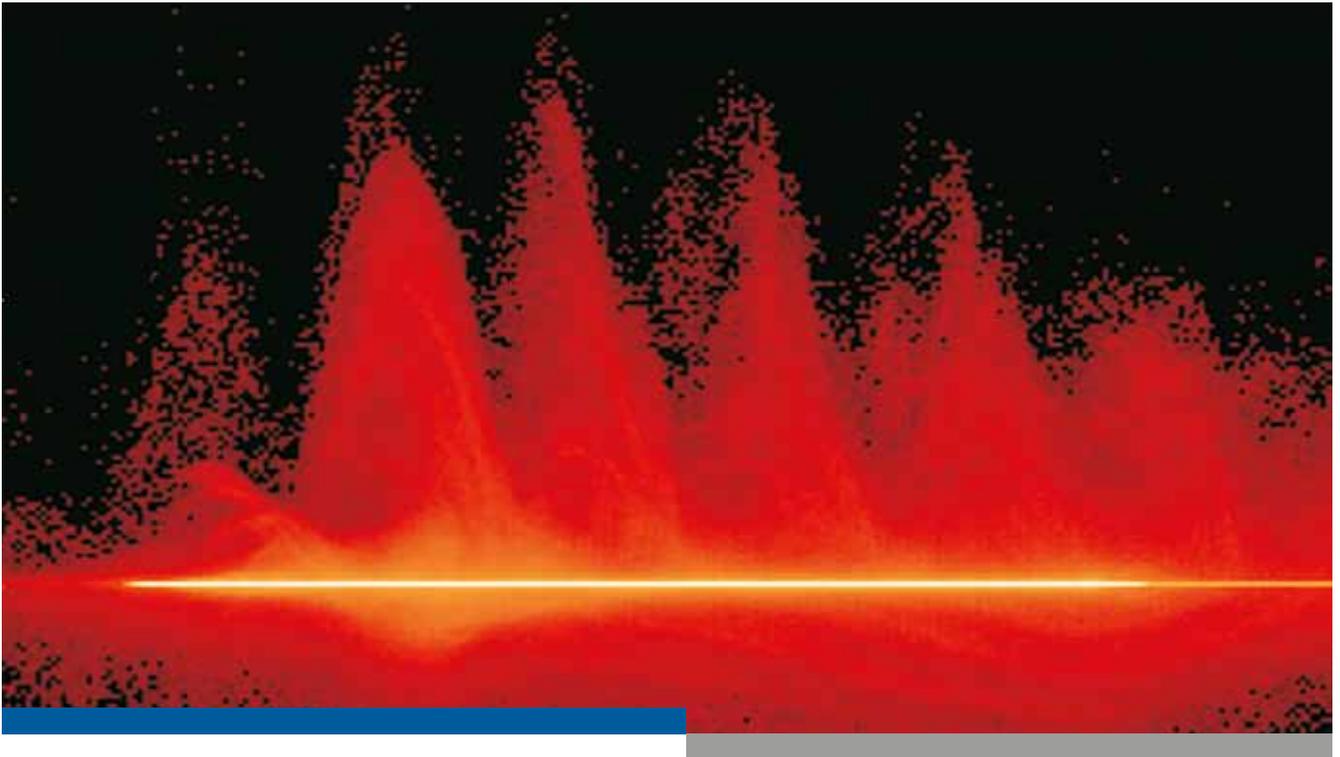
Für zukünftige Hochleistungslaser-Systeme mit zeh- bis hundertmal höheren Laserintensitäten sind die Modelle aus den Lehrbüchern nicht genau genug.

tation bekannte Effekt ist vernachlässigbar für langsame Teilchen, wird aber wichtig für schnelle Geschwindigkeiten nahe der des Lichts – wie zum Beispiel für von einem Laser geheizte Elektronen.

Stellt man sich vor, dass jedes einzelne Elektron in der vom Laserpuls erzeugten Wolke seine eigene Uhr hätte und sich auf der Laserwelle wie ein Surfer auf einer Wasserwelle bewegen würde, dann säßen zu jedem Zeitpunkt einige Elektronen oben auf dem Wellenberg, während andere sich im Wellental

wendig, um die Energie laserbeschleunigter Teilchen richtig vorherzusagen.

Für die Vorgänger von DRACO und PENELOPE stimmen die Vorhersagen der Lehrbücher noch gut mit den Ergebnissen aus den Experimenten überein. Bildlich gesprochen heißt das, dass die Welle, auf der die Elektronen surfen, noch so flach ist, dass relativistische Effekte kaum eine Rolle spielen. Sollte Thomas Kluges Modell stimmen, so wird sich für zukünftige Hochleistungslaser-Systeme, die zeh- bis hundertmal höhere →



ELEKTRONENWOLKE: Jedes einzelne Elektron „sieht“ die Laserwelle zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt. Dieser Relativitätseffekt ist kaum vorstellbar, aber für die exakte Bestimmung der Energie von laserbeschleunigten Teilchen unabdingbar.

Laserintensitäten erzeugen können, die Lücke zwischen im Experiment gemessenen und von den bisherigen Modellen vorhergesagten Temperaturen weiter öffnen. Da die heißen Elektronen die Vermittlerrolle in der Laser-Ionenbeschleunigung spielen, indem sie die Energie vom Laser zu den Ionen übertragen, ist ein genaues Verständnis der heißen Elektronen und ihres Verhaltens in der Elektronenwolke aber von großer Bedeutung.

Präzise Voraussagen erstmalig möglich

Mit dem erweiterten Modell der Laser-Elektronen-Wechselwirkung, die der Physiker Thomas Kluge mit Unterstützung von Michael Bussmann, Leiter der Juniorgruppe „Computer-gestützte Strahlenphysik“ entwickelt hat, ist es nun möglich, die Leistung zukünftiger Lasersysteme so zu skalieren, dass sie Ionenenergien erreichen können, wie sie für zukünftige Anwendungen benötigt werden. „Unsere neuen Erkenntnisse verbessern Jahrzehnte alte Modelle. Sie erlauben uns einerseits die Erklärung bisheriger Messungen, andererseits ermöglichen sie uns genaue Vorhersagen zur Optimierung zukünftiger Experimente“, sagt Michael Bussmann. Ausgehend von diesen Resultaten hat das Dresdner Team bereits das nächste Ziel ins Auge gefasst. Die beiden Physiker wollen verstehen, wie die

Energie von den Elektronen zu den Ionen übertragen wird, um mehr Einsicht in die Laser-Ionenbeschleunigung zu erhalten. Obwohl sie damit fundamentale Fragestellungen der Laser-Materie-Wechselwirkung angehen, tun sie dies mit dem Ziel, die klinische Anwendung der Laserbeschleunigung von Ionen für die Krebsforschung und -therapie voranzutreiben. —

PUBLIKATION:

T. Kluge, T.E. Cowan, A. Debus, U. Schramm, K. Zeil, M. Bussmann: “Electron temperature scaling in laser interaction with solids“, in Physical Review Letters, Bd. 107, S. 20 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.205003)

KONTAKT

— Institut für Strahlenphysik im HZDR
Prof. Ulrich Schramm
u.schramm@hzdr.de

// Was passiert, wenn Wasser und Dampf in einer Rohrleitung aufeinandertreffen? Welche Auswirkungen hat dies auf die Sicherheit von Kernkraftwerken oder die Effizienz chemischer Produktionsverfahren? Forscher im HZDR untersuchen im industrienahen Experiment, wann genau sich die beiden Phasen gegenseitig blockieren, und entwickeln dafür physikalische Modelle.

WASSER VERSUS DAMPF – UNGLEICHES KRÄFTEMESSEN IN INDUSTRIELLEN ANLAGEN

_TEXT . Christine Bohnet

Die chemische Industrie zählt zu den größten Industriezweigen in Deutschland. Es handelt sich um eine Branche mit einem besonders großen Ressourcenbedarf, was einerseits an dem hohen Stromverbrauch liegt und andererseits an der Nutzung von Erdöl als Rohstoff. Laut einer Studie im Auftrag des Statistischen Bundesamtes setzte die chemische Industrie in der Vergangenheit rund 21,6 Mio. Tonnen organischer Rohstoffe ein, wovon etwa 75 Prozent in die chemischen Grundstoffe Ethylen, Propylen und Aromaten umgewandelt wurden. Dies geschieht zunächst in großen Chemieapparaturen, in denen Dampf zur Aufspaltung des Rohöls eingesetzt wird („Steamcracken“). Um reine Grundstoffe zu erhalten, müssen die aufgespaltenen Substanzen anschließend in sogenannten Trennkolonnen aufwändig getrennt werden.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf wollen mit modernster Messtechnik einen Einblick in die Prozesse in solchen komplexen industriellen Apparaten erhalten. Sie haben sich hierfür ein neues Ziel vorgenommen: die etablierten Produktionsverfahren von chemischen Grundstoffen so zu optimieren, dass erhebliche Mengen an teurer Energie und wertvollen organischen Rohstoffen eingespart werden können. Damit können sie zur Energiewende ebenso beitragen wie zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie, die zu den großen Chemieproduzenten der Welt zählt.

Stoffgemische wie Flüssig-Dampf- oder Gas-Flüssig-Feststoff-Gemische kennzeichnen die vielen Prozessschritte vom Rohöl hin zu den reinen Grundstoffen für die chemische Industrie, sind aber auch für den sicheren Betrieb von Kern- und Solarkraftwerken oder für die Öl- und Gasförderung wichtig. Gerade in der Kernenergietechnik ist eine zuverlässige Vorhersage solcher Strömungen von großer Bedeutung, haben diese doch Einfluss auf die Sicherheit der Anlagen. In einem Druckwasserreaktor fließt im ersten Kreislauf normalerweise nur Wasser unter hohem Druck und bei Temperaturen knapp unter 300 Grad Celsius. 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 immer gewährleistet sein. Das wird durch umfangreiche Sicherheitsanalysen nachgewiesen, wobei die dabei zum Einsatz kommenden Rechenmodelle die zu erwartenden Strömungen mit hoher Zuverlässigkeit vorhersagen müssen. Wenn der Druck durch ein Leck abfällt, sind diese Strömungen oft zweiphasig, das heißt Wasser und Wasserdampf treten auch im ersten Kreislauf gleichzeitig auf. Bisher sind die Ergebnisse solcher Sicherheitsanalysen nicht auf andere Anlagen mit unterschiedlicher Geometrie oder Größe übertragbar.

Die HZDR-Experten blicken auf viel Erfahrung bei der Untersuchung von Mehrphasen-Strömungen aus Dampf und Wasser im Primärkreislauf eines Druckwasserreaktors bei einem potentiellen Störfall zurück, und zwar im Experiment ebenso wie per Simulation. Beide Forschungsmethoden müssen Hand in Hand gehen, da es sich um hochkomplizierte Fragestellungen handelt. Ein Beispiel aus dem Alltag mag dies verdeutlichen: Dreht man den Wasserhahn zu Hause ein wenig auf, fließt das Wasser in einer ruhigen, laminaren Strömung ins Waschbecken. Dreht man den Hahn dagegen bis zum Anschlag, sprudelt das Wasser in einer turbulenten Strömung aus dem Hahn und reißt sogar Luft mit sich. Sind Strömungen aus zwei oder mehr Phasen schon erheblich komplexer als solche aus nur einer Phase, so eröffnet sich mit turbulenten Mehrphasen-Strömungen ein weites Forschungsfeld, das auch die nächste Forschergeneration noch beschäftigen wird.

Ein Simulationstool für alle Strömungszwecke?

Die Art der Strömung bestimmt, wie die einzelnen Stoffe sich mischen oder trennen. Einphasen-Strömungen können heute bereits sehr gut in Simulationen berechnet werden, wodurch viele teure Experimente – z. B. für neue Auto- und Flugzeugtypen im Windkanal – wegfallen. Stattdessen lassen sich Parameter wie etwa die Reibung der Luft am Untersuchungsobjekt in Abhängigkeit von der Geometrie des Objekts, aber auch von anderen Größen wie Temperatur, Geschwindigkeit und Luftmassenstrom, mit speziellen Computerprogrammen schnell und präzise bestimmen. Diese CFD-Programme – von Computational Fluid Dynamics, auf Deutsch: numerische Strömungsmechanik – stecken jedoch für Mehrphasen-Strömungen noch in den Kinderschuhen. →

DRÜCKE AUSHALTEN: Thomas Geißler (links) und Matthias Beyer montieren einen Versuchsstand für eine Dichtheitsprobe. Im Hintergrund ist der einzigartige Drucktank der TOPFLOW-Anlage. Foto: Rainer Weisflog



→

22

23

Bewegen sich Dampf und Wasser durch ein Rohr, so reiben sie sich nicht nur am Rohr, sondern die Oberflächen bzw. Grenzschichten der beiden Phasen reiben sich auch aneinander. Viele weitere Parameter wie die unterschiedliche Geschwindigkeit der Phasen, die Viskosität, Zähigkeit oder Oberflächenspannung von Wasser und Dampf und nicht zuletzt die Geometrie des Rohrs sind zu berücksichtigen, will man zu einer verlässlichen Computersimulation kommen. Denkt man sich nun noch Hindernisse und Knick in Rohrleitungen oder die für Druckwasserreaktoren typischen hohen Temperaturen und Drücke hinzu, so wird die Liste der zu berücksichtigenden Parameter fast unüberschaubar lang. Weder ist die heutige Rechnertechnik schnell genug, um die Vorgänge auf allen Größenskalen in Simulationen zu erfassen, noch existieren ausreichend per Experiment gewonnene Daten als Grundlage für vereinfachende Rechenmodelle. Deshalb werden sicherlich noch einige Jahrzehnte vergehen bis zum universellen Simulationstool für Mehrphasen-Strömungen und es wird noch vieler Experimente bedürfen, um alle Parameter verlässlich erfassen und in die entsprechenden CFD-Programme einspeisen zu können. Gleichzeitig ist jedes erfolgreiche und für den industriellen Maßstab ausgelegte Experiment ein wichtiger Baustein, dessen Ergebnisse sofort in CFD-Codes übersetzt werden können. Damit lassen sich die Effizienz von Trennkolonnen oder die Sicherheit von Kernreaktoren bereits heute Schritt für Schritt erhöhen.

Undurchsichtige Wände durchdringen

Produktionsverfahren mit Mehrphasen-Strömungen finden in der Industrie hinter dicken Rohren und undurchsichtigen Wänden statt und sind einer einfachen Beobachtung nicht zugänglich. Hinzu kommt, dass Trennkolonnen und Primärkreisläufe in Kernreaktoren nicht gerade simpel aufgebaut sind – im Gegenteil. Vielmehr handelt es sich bei einer Trennkolonne um eine große Säule mit mehreren Zwischenböden mit teils gestuften Aufbauten, in denen, abhängig von der Höhe, Flüssigkeitsgemische thermisch getrennt werden. Dabei nutzt man die unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Stoffe aus. Typisch ist das mehrmalige Verdampfen und Kondensieren – etwa auch für die Erdölraffination. Wasserdampf schließlich verändert das Erdöl chemisch. So entstehen in mehrstufigen Prozessen die gewünschten Grundstoffe für die unterschiedlichsten Branchen: Maschinen- und Automobilbau oder Kosmetik- und Lebensmittelindustrie.

Ob die etablierten Produktionsverfahren in der chemischen Industrie effizient, schnell und sicher ablaufen, war bisher mehr oder weniger dem Geschick und der Erfahrung der Operateure überlassen, und auch die Planer neuer Anlagen können kaum auf gesicherte Erkenntnisse zu den Prozessabläufen zurückgreifen. Genauere Einblicke in die Dynamik von Stoffströmen können aber ein Design ermöglichen, das mit erheblichen Effizienzsteigerungen einhergeht. HZDR-Wissenschaftler wollen sich deshalb in Zukunft intensiv damit auseinandersetzen, wie man mit modernsten Messmethoden in chemische Anlagen hineinschauen und die Strömungen darin optimieren kann. Zugleich führen sie grundlegende Experimente zu Zweiphasen-Strömungen an der TOPFLOW-Versuchsanlage im Zentrum

durch. Mit den so gewonnenen Ergebnissen ertüchtigen sie die entsprechenden CFD-Programme. Ein besonderes Highlight, das vom Experiment bis hin zu einem neuen Simulationsmodell reichte, war die erfolgreiche Versuchsreihe zur sogenannten Gegenstrom-Begrenzung – für die Promotion zu diesem Thema erhielt der Kerntechniker Christophe Vallée den HZDR-Anerkennungspreis 2011. Eine Gegenstrom-Begrenzung tritt auf, wenn eine Wasserströmung durch einen Dampfstrom aus der entgegengesetzten Richtung behindert wird, was etwa bei einem Störfall im Primärkreislauf eines Druckwasserreaktors vorkommen könnte und deshalb beherrscht werden muss.

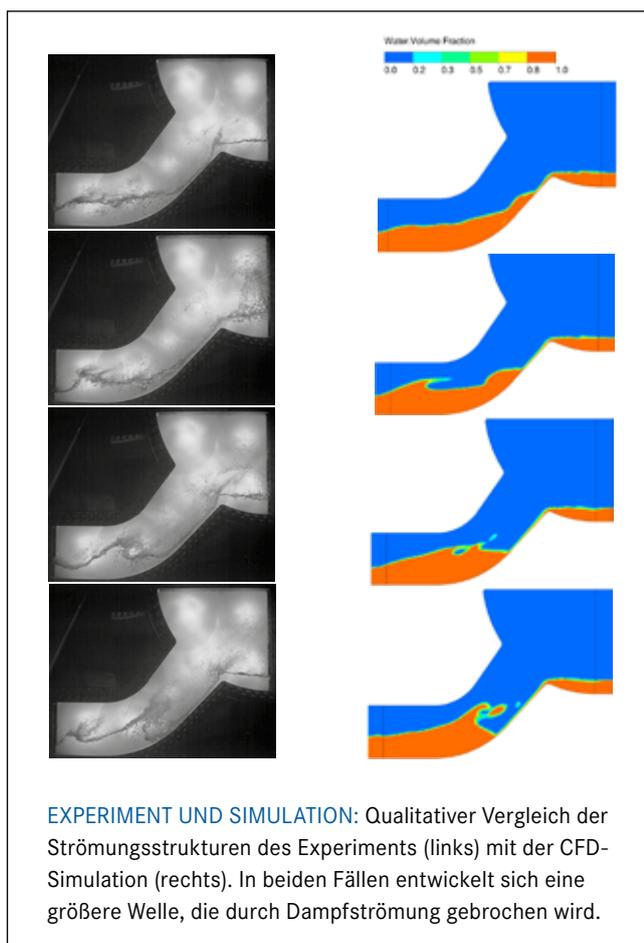
Ort der Extreme

In einem Druckwasserreaktor zirkuliert heißes Wasser unter hohem Druck im Primärkreislauf, das wegen des hohen Drucks nicht verdampft; doch im Falle eines Lecks sieht das anders aus. Dann tritt das Kühlwasser durch das Leck aus und der Druck im Reaktorkern kann auf rund 70 bar abfallen. Mit der einsetzenden Verdampfung fällt der Wasserspiegel im Reaktor weiter. Der Dampf steigt über das Rohrsystem auf in Richtung Dampferzeuger. Dort kondensiert er zu Wasser und fließt zurück in den Reaktor, was erwünscht ist, denn das Wasser trägt zur Kühlung des Reaktorkerns bei und spielt so eine wichtige Rolle bei der passiven Sicherheit eines Kernkraftwerks.

Allerdings muss das Wasser auf dem Weg vom Dampferzeuger zurück in das Reaktorgefäß ein dickes Rohr mit einem Durchmesser von knapp einem Meter passieren und dort mit dem entgegenströmenden Dampf seine Kräfte messen. Da der Siedepunkt von Wasser höher liegt als bei Normaldruck, hat der Dampf eine größere bzw. das Wasser eine niedrigere Dichte. Somit drückt der dichtere Dampf gegen die Oberfläche des Wassers und hält es bei einer vollständigen Gegenstrom-Begrenzung komplett auf. Um zu gesicherten Aussagen über den Ablauf von Leck-Störfällen – und damit zur Sicherheit von Kernkraftwerken – zu gelangen, beschäftigte sich Christophe Vallée in seiner Doktorarbeit mit einem Versuchsaufbau, der es in sich hatte. In einer Nachbildung der komplizierten Geometrie des Heißstrangs eines Kernreaktors in Originalgröße setzte er eine Dampf-Wasserströmung hohem Druck und hohen Temperaturen aus. Während aus der einen Richtung Wasser einschoss, wurde von der anderen Seite Dampf zugeführt. Der Dampf wurde schrittweise erhöht, bis er den Wasserstrom vollständig blockierte. Erstmals überhaupt war das Beobachtungsfenster für ein solches Experiment nicht bloß einige Quadratzentimeter groß, sondern maß einen ganzen Meter im Quadrat. Deshalb konnte der Doktorand das Verhalten der aufeinandertreffenden Phasen im Detail mit einer Hochgeschwindigkeitskamera beobachten.

Vom Experiment über die Simulation in die Praxis

Dass der experimentelle Aufbau mitsamt dem Fenster und der Kamera einen Druck von 50 bar und Temperaturen von rund 275 Grad Celsius überstehen konnte, ist dem Druckbehälter an der TOPFLOW-Anlage zu verdanken. Dieser erlaubt durch →



EXPERIMENT UND SIMULATION: Qualitativer Vergleich der Strömungsstrukturen des Experiments (links) mit der CFD-Simulation (rechts). In beiden Fällen entwickelt sich eine größere Welle, die durch Dampfströmung gebrochen wird.

einen ausgeklügelten Druckausgleich dünnwandige Versuchsaufbauten ebenso wie teure Technik, die nicht auf hohen Druck ausgelegt sein müssen. Der Aufwand ist notwendig, um gesicherte Daten für das Phänomen der Gegenstrom-Begrenzung zu erhalten, mit denen numerische Strömungscodes verglichen und zugleich gefüttert und verbessert werden. Bis vor kurzem jedenfalls konnten CFD-Programme nicht vorhersagen, wann genau es zu einer Blockade des zurückströmenden Wassers durch den Dampf und wann lediglich zu einer teilweisen Begrenzung kommt. Die neuen Daten aus den Experimenten von Christophe Vallée haben dabei geholfen, die Rechenmodelle zu verbessern, an denen unter anderem Thomas Höhne in der von Dirk Lucas geleiteten Abteilung „CFD“ im HZDR tüftelt.

„Wir haben ein neues Modell entwickelt, das ‚Algebraic Interfacial Area Density Model‘, mit dem wir die Wechselwirkung der unterschiedlich dichten Phasen an deren Grenzflächen viel genauer bestimmen können als vorher“, sagt Dirk Lucas. Um das Experiment am Computer zu simulieren, war ein Rechencluster, bestehend aus mehreren Prozessoren, rund drei Monate lang beschäftigt. Besonders die genau simulierten Wechselwirkungen an den Grenzflächen zwischen Wasser und Dampf schlugen dabei zu Buche. Um die Ergebnisse schnell in die Praxis zu bringen, arbeiten die Forscher eng mit dem CFD-Hersteller ANSYS Germany zusammen, mit dem das HZDR eine strategische Partnerschaft verbindet. „Besonders gefreut haben wir uns über die Unterstützung durch den indonesischen Kollegen Deendarlianto von der Gadjah-Mada-Universität in Yogyakarta, der für zwei Jahre als Humboldt-Stipendiat

bei uns arbeitete. Gemeinsam haben wir die Simulationen weiter entwickelt und waren hochofreut, dass die Ergebnisse so gut mit den experimentell gewonnenen Daten übereinstimmen. Mittlerweile ist unsere realitätsnahe Simulation zur Gegenstrom-Begrenzung in der Praxis angekommen und kann von Firmen eingesetzt werden.“

Das Institut für Fluidodynamik im HZDR ist langjähriger Partner im deutschen CFD-Verbund. Eine besondere Partnerschaft verbindet es aber auch mit dem Institut für nukleare Sicherheitssysteme Tsuruga und der Universität Kobe in Japan. Dortige Wissenschaftler haben die experimentellen Daten von Christophe Vallée für die Validierung eines vereinfachten Modells genutzt, aber auch eigene Simulationen und experimentelle Daten für die Überprüfung des HZDR-Modells zur Verfügung gestellt. Die Genehmigung für den Betrieb japanischer Kernkraftwerke hängt unter anderem vom Nachweisverfahren auch für den Extremfall der Gegenstrom-Begrenzung ab. Dies wurde für eine Wartungsphase – dann herrscht im Reaktorgefäß ein geringerer Druck als bei Normalbetrieb – getestet. Dirk Lucas: „Getreu dem Motto, dass nur ein überprüfter Code ein guter Code ist, hat sich unser neues CFD-Modell in der Praxis bereits bewährt. Im nächsten Schritt wollen wir andere Flüssigkeiten und Wärmeverluste berechnen. In Zukunft werden wir dann hoffentlich einen Universalcode für die Gegenstrom-Begrenzung haben.“

Simulationswerkzeug für Erdöl und Dampf

Ein großer Vorteil der CFD-Programme: sie besitzen eine hohe Praxisrelevanz, da sie breit genutzt werden können, angefangen bei Sicherheitsanalysen für Kernkraftwerke über Produktionsprozesse in der chemischen Industrie bis hin zur Auslegung von Brennstoffzellen. Denkt man an die Herstellung von Grundstoffen in der chemischen Industrie, so sind auch hier Fälle von Gegenstrom-Begrenzungen denkbar. So kann Dampf in einer Trennkolonne gegen das flüssige Erdöl drücken und dessen Strömung behindern. Da man diese besondere Strömungsformation dank der Rossendorfer Experimente und Simulationsrechnungen nun besser versteht, gibt es endlich auch einen Hebel, um dieses in der chemischen Industrie unerwünschte Phänomen zu verhindern. Und das ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg hin zu mehr Energieeffizienz im industriellen Alltag. —

PUBLIKATION:

Deendarlianto, T. Höhne, D. Lucas, C. Vallée, G. A. Zabala u. a.: „CFD studies on the phenomena around counter-current flow limitations of gas/liquid two-phase flow in a model of a PWR hot leg“, in Nuclear Engineering and Design, Bd. 241 (2011), S. 5138-5148 (DOI 10.1016/j.nucengdes.2011.08.071)

KONTAKT

— Institut für Fluidodynamik im HZDR
AREVA-Stiftungsprofessur für Bildgebende Messverfahren
für die Energie- und Verfahrenstechnik an der TU Dresden
Prof. Uwe Hampel
u.hampel@hzdr.de

Dr. Dirk Lucas
d.lucas@hzdr.de

// Elektronen führen ein eigenes Leben in einer eigenen Welt. Zu diesem Schluss kann man gelangen, wenn man sich mit dem Physiker Stephan Winnerl unterhält. Ihn interessiert zum Beispiel das erstaunlich lange Leben von Elektronen im „Wundermaterial“ Graphen, aber auch Quantenpunkte, in denen jeweils nur ein oder zwei Elektronen gefangen sind, will er noch viel besser verstehen.



AUS NÄCHSTER NÄHE: In der Nahfeld-Mikroskopie wird ein Justierlaser eingesetzt, um die hauchdünne Messspitze des Mikroskops richtig zu positionieren. In der Verlängerung des Laserstrahls kommt von oben die Spitze, darunter befindet sich die Einheit zur Bewegung der Probe. Foto: Hans-Georg von Ribbeck

DAS MERKWÜRDIGE LEBEN DER ELEKTRONEN

_TEXT . Christine Bohnet & Stephan Winnerl

Rund um Graphen ist ein regelrechter Forschungsboom entstanden. Weltweit beschäftigen sich zig Forschergruppen mit diesem besonderen Material, eine Konferenz nach der anderen wird ihm gewidmet, tausende wissenschaftliche Veröffentlichungen sind erschienen seit der Entdeckung von Graphen im Jahr 2004. Diese Entdeckung wurde – erstaunlich schnell – bereits im Jahr 2010 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Die Liste des für neue Technologien wie geschaffenen Werkstoffs – einer Schicht aus Kohlenstoff,

die genau eine Atomlage dick ist und im Rasterelektronen-Mikroskop aussieht wie eine Bienenwabe – wird dabei immer länger. Um nur einige der vorteilhaften Eigenschaften zu nennen: Graphen ist zugleich dünn, transparent und stabil, es kann Licht im unsichtbaren Infrarotbereich absorbieren, und die Elektronen verhalten sich wie hochenergetische Elementarteilchen, vergleichbar den schnellen geladenen Teilchen, die von einem Beschleuniger auf nahezu Lichtgeschwindigkeit gebracht werden. →

Physiker wie Stephan Winnerl vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf hatten bislang ein recht klares Bild davon, wie sich Elektronen im Kristallgitter eines halbleitenden Materials bewegen. Und zwar lassen sich Elektronen durch elektrische Spannungen im Halbleiter beschleunigen, wobei, wie jeder weiß, besonders schnelle und bewegliche Elektronen als Ladungsträger den Strom transportieren und so für den Stromfluss sorgen. Wie schnell Elektronen werden hängt wesentlich von ihrem „Gewicht“ (effektive Masse) ab. Nun besitzt jeder Halbleiter eine für ihn typische Kristallstruktur, die die effektive Masse der Elektronen physikalisch bedingt. Für schnelle elektronische Bauelemente, wie beispielsweise Transistoren in Computern oder Mobiltelefonen, wünscht man sich daher Materialien, in denen sich Elektronen sehr leicht auf hohe Geschwindigkeit beschleunigen lassen. Obwohl Graphen selbst zur Klasse der Halbleiter-Materialien zählt, verhalten sich Elektronen hier völlig anders. Ihre effektive Masse scheint zu verschwinden und so bewegen sie sich erstaunlich schnell durch die aus nur einer Atomlage bestehende Ebene. Dies will man für künftige elektronische Anwendungen nutzen.

Neben der effektiven Masse der Elektronen gibt es eine weitere wichtige Eigenschaft, in der sich verschiedene Halbleiter-Materialien unterscheiden: die sogenannte Bandlücke. Quantenmechanische Gesetze geben den Elektronen vor, sich in bestimmten Energiebereichen aufzuhalten, den Bändern. Die Physiker sprechen hierbei von einem Valenz- und einem Leitungsband. Zwischen diesen Bändern gibt es eine verbotene Zone, in der Elektronen quasi nicht erlaubt sind. Diese Band- oder Energielücke wird etwa in Leuchtdioden genutzt, um Licht zu erzeugen: Springt ein Elektron vom energetisch höheren Leitungsband ins Valenzband, so kann es seine Energie in Form von Licht abgeben. Die Farbe des abgestrahlten Lichts entspricht dabei gerade der Größe der Energielücke.

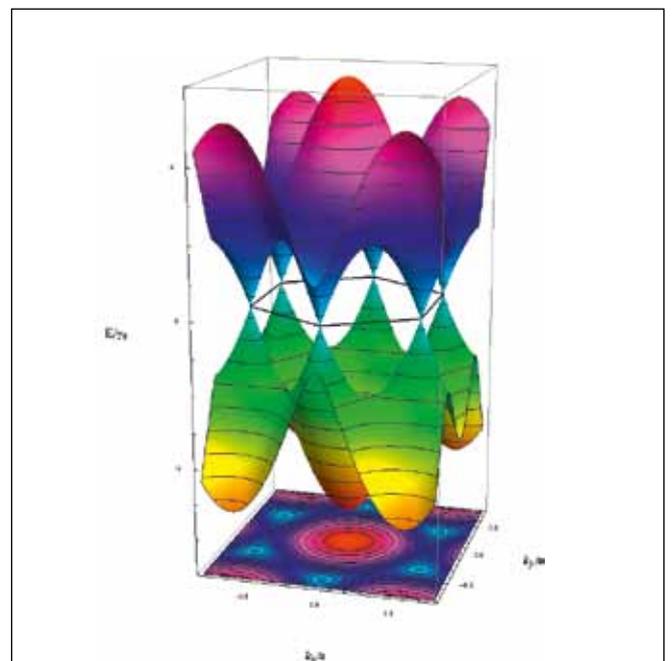
Elektronen ohne Grenzen

Im erstaunlichen Halbleiter Graphen gibt es keine verbotene Zone zwischen den Energiebereichen, was bedeutet, dass der Beweglichkeit der Elektronen fast keine Grenzen gesetzt sind. Sie flitzen also im zweidimensionalen Raum mit hoher Geschwindigkeit durch die superdünne Kohlenstoff-Lage. Das Valenz- und das Leitungsband in Graphen berühren sich zudem in besonderer Weise: „Die Bänder kreuzen sich in einem Dirac-Konus. Den stelle ich mir gerne vor wie zwei Eistüten: Die eine steht mit ihrer Spitze auf der Spitze der zweiten, umgekehrten Tüte“, versucht Stephan Winnerl zu beschreiben, was nicht mit einfachen Worten beschrieben werden kann. Auch flitzen Elektronen natürlich nicht durch Raum und Zeit, wie sie uns bekannt sind, und die Energiebänder, von denen hier die Rede ist, gehören als quantenmechanische Eigenschaft von Elektronen in den sogenannten Impulsraum.

Wegen der fehlenden Bandlücke lassen sich in Graphen nicht die aus der Silizium-Technologie bekannten Transistorkonzepte umsetzen – stattdessen gibt es völlig neue Ansätze, um die schnellen Elektronen für schnelle Schaltvorgänge zu nutzen. Mit Graphen kann man auch keine Leuchtdioden oder andere optoelektronischen Technologien

realisieren, die darauf beruhen, dass Elektronen vom Leitungsband ins Valenzband zurückspringen und dabei Licht abstrahlen. Allerdings hat das Zusammenspiel aus fehlender Bandlücke und der speziellen „Eistüten-Form“, in der die Energiebänder sich kreuzen, eine Konsequenz für die optischen Eigenschaften von Graphen, die einzigartig ist. Graphen nimmt circa zwei Prozent der Energie von eingestrahlttem Licht auf, die restlichen 98 Prozent passieren die Graphenschicht ungehindert. Somit ist Graphen fast vollständig durchsichtig. Interessanterweise spielt dabei die Farbe des Lichts keine Rolle, und die Gesetzmäßigkeit gilt sogar für die unsichtbare Infrarot-Strahlung.

Dieser einmalige optische Effekt macht Graphen sehr attraktiv als durchsichtiges Material für Elektroden, etwa für Flachbildschirme oder Solarzellen. Große Firmen haben hierfür bereits erfolgreiche Prototypen entwickelt. Vorteilhaft gegenüber den bisher für durchsichtige Elektroden verwendeten Materialien ist, dass beim Einsatz von Graphen nicht mehr der knappe – und deshalb auch teure – Rohstoff Indium benötigt wird. Kohlenstoff für Graphen ist praktisch unbegrenzt verfügbar und Graphen ist zudem völlig ungiftig. Manfred Helm, Direktor des HZDR-Instituts für Ionenstrahlphysik und Materialforschung, sieht zukünftige Anwendungen auch in der Optoelektronik, gerade wenn es darum geht, infrarotes Licht in elektrische Signale umzuwandeln. Weiterhin ermöglicht die Flexibilität und Stabilität des Materials den Einsatz in neuen Anwendungsfeldern, beispielsweise in elektronischen Schaltkreisen, die man einfach und kostengünstig auf Folien aufdrucken könnte. →



WUNDERMATERIAL: Graphen hat ungewöhnliche Eigenschaften, die es sowohl für die Grundlagenforschung als auch für Anwendungen interessant macht. Die Grafik zeigt die Energie der Elektronen entsprechend ihrer Wellenzahl. Die „besetzten“ (gelb-grün) bzw. „unbesetzten“ (blau-rot) Zustände berühren einander ohne Lücke genau in sechs ausgezeichneten Punkten. Schema: © Paul Wenk – Wikipedia

Was genau hat Stephan Winnerl nun entdeckt über das merkwürdige Leben von Elektronen in Graphen? Zusammen mit Kollegen vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf sowie mit Wissenschaftlern der Technischen Universität Berlin, des Hochfeld-Magnetlabors im französischen Grenoble und des Georgia Institute of Technology in den USA ist es ihm gelungen, die Lebensdauer von Elektronen in Graphen in niedrigen Energiebereichen zu bestimmen. Dieses Szenario war bisher nicht erforscht. Für die Experimente setzten die Wissenschaftler ihre Graphenproben dem infraroten Licht vom Freie-Elektronen-Laser im Dresdner Helmholtz-Zentrum aus. Im besonders langwelligen Bereich konnten sie die Energie des Lasers sehr gut auf die Energiebänder im Graphen einstellen, und zwar sehr nahe dem Dirac-Punkt, also dem Punkt, an dem die Spitzen der beiden entgegengesetzten „Eistüten“ sich berühren. Dabei stellten sie fest, dass die Energie der Lichtteilchen zusammen mit den Schwingungen des Atomgitters die Lebensdauer der Elektronen entscheidend beeinflussen: Wenn die Energie der Lichtteilchen größer ist als die Energie der Gitterschwingungen, ändern die Elektronen schneller ihren Energiezustand und leben kürzer. Umgekehrt verweilen die Elektronen länger auf einem Energieniveau, wenn die Laserenergie kleiner ist als die der Gitterschwingungen.

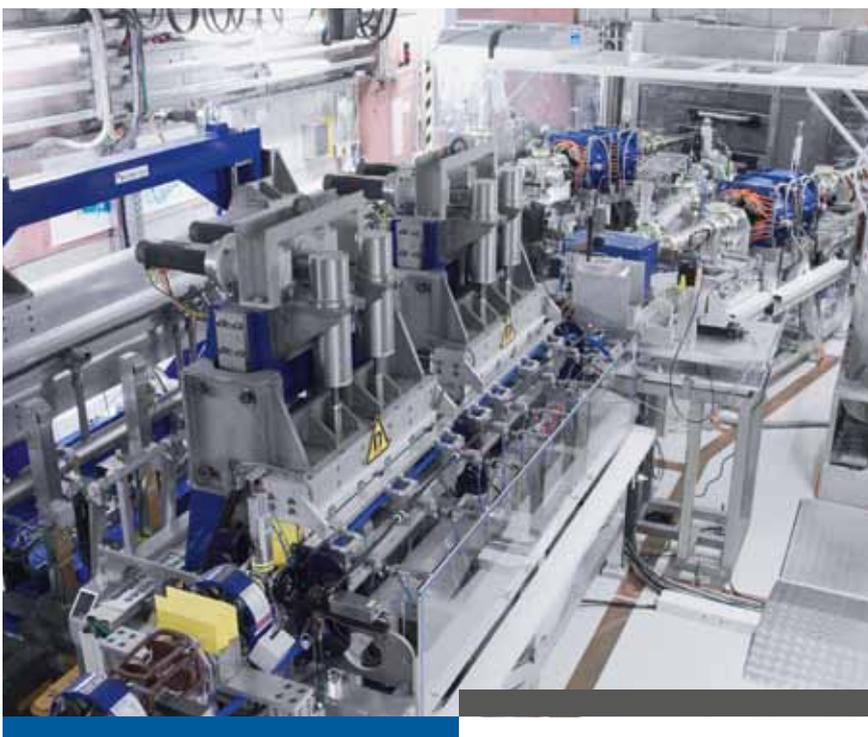
Modellrechnungen an der TU Berlin bestätigen die experimentellen Daten aus Dresden und so trägt das internationale Forscherteam zu einem besseren Verständnis der elektronischen und optischen Eigenschaften von Graphen bei. Viele Forschungsfragen sind für das Wundermaterial Graphen jedoch noch offen, und die Dresdner Physiker freuen sich auf weitere Experimente, die sie gemeinsam mit den Theoretikern von der TU Berlin und Wissenschaftlern vom Hochfeld-Magnetlabor in Grenoble durchführen möchten, um das einmalige Verhalten der Elektronen in Graphen unter dem Einfluss von

Magnetfeldern zu beobachten. Erste Untersuchungen dort zeigen, dass schon ein relativ niedriges Magnetfeld ausreicht, um die Bandstruktur von Graphen grundlegend zu ändern. Das wiederum hat zur Folge, dass sich die Elektronen nicht mehr frei bewegen können, sondern auf eine in der Ebene liegende Kreisbahn gezwungen werden. In diesem Zustand sind sie fast vergleichbar mit ihren in Quantenpunkten regelrecht eingesperrten „Kollegen“.

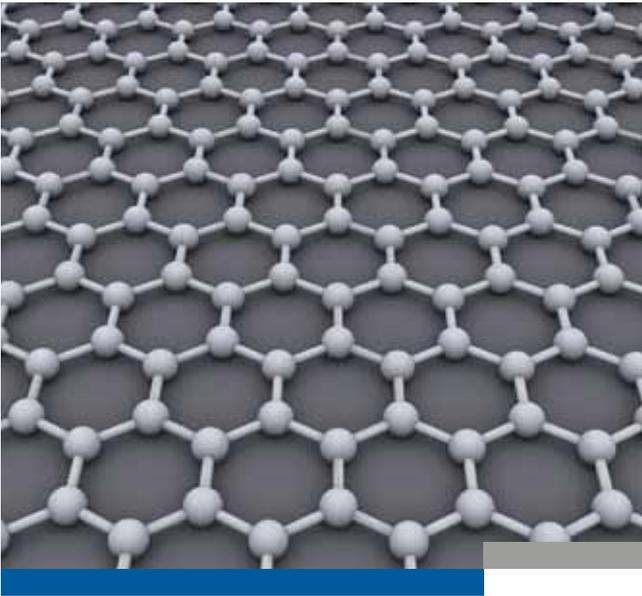
In Pyramiden eingesperrt

Anders als die in normalem Zustand besonders schnellen und frei beweglichen Elektronen in Graphen ist es um die Elektronen in Quantenpunkten bestellt. In aktuellen Experimenten nahmen die HZDR-Forscher solche Punkte aus Indiumarsenid und Indium-Galliumarsenid genauer unter die Lupe, indem sie die winzigen Punkte, die an Pyramiden erinnern, dem Infrarotlicht des Freie-Elektronen-Lasers im HZDR aussetzten.

In jeder Nano-Pyramide befinden sich jeweils nur ein oder zwei Elektronen. Sie führen darin eine Art gefangenes Dasein, das sie in ihrer Bewegungsfreiheit erheblich einschränkt. Man könnte behaupten, dass die Elektronen die engen Wände der Pyramide „spüren“. Übersetzt in die Welt der Physik heißt das, dass die Energie der Elektronen nicht mehr auf die großen Bereiche der Bänder – entsprechend ihrer Bewegungsenergie – ausgedehnt ist. Vielmehr sitzen sie in den Pyramiden auf ganz bestimmten Energieniveaus fest, wobei die Lage dieser Energieniveaus vom Halbleiter-Material, aber auch von der Größe der Nano-Pyramiden abhängt. Bei Quantenpunkten hat man es also nicht mit den ansonsten breiten Valenz- und Leitungsbändern zu tun, sondern mit sehr scharf begrenzten Ausschnitten oder Energieniveaus auf diesen Bändern – deshalb →



FREIE-ELEKTRONEN-LASER: Die Elektronen aus dem ELBE-Beschleuniger werden im Undulator (vordere Struktur) auf eine Schlangenlinie – und damit zum Aussenden von Licht – gezwungen. Foto: Sven Claus



WABENGEWEBE: Sechseckige kristalline Struktur von Graphen in Form einer Bienenwabe. Schema:
© AlexanderAIUS - Wikipedia

werden Quantenpunkte auch „künstliche Atome“ genannt. „Wenn Elektronen vom höherenergetischen auf ein tieferes Niveau wechseln, strahlen auch sie, wie bei den Leuchtdioden, Licht aus. Die Abteilung Halbleiter-Spektroskopie im HZDR, zu der ich gehöre, hat sich in letzter Zeit stärker auf Quantenpunkte fokussiert. Wir sehen in ihnen viel Potenzial und man könnte ihre besonderen Eigenschaften nutzen, um sehr energieeffiziente Laser auf der Basis von Quantenpunkten zu entwickeln und die Farbe des Lasers genau einzustellen“, erklärt Stephan Winnerl sein Interesse an den Nano-Pyramiden.

Allerdings gibt es ein Problem: Zwar entstehen die Pyramiden „von selbst“ durch eine bestimmte Art des Kristallwachstums, allerdings schwankt ihre Größe in einem gewissen Bereich. Untersucht man sie mit infrarotem Licht, so sieht man verwaschene Signale, weil die Elektronen in unterschiedlich großen Pyramiden auf verschiedene Infrarot-Energien ansprechen. Somit ist es für die Forscher aus der Abteilung Halbleiter-Spektroskopie besonders wichtig, sich die gefangenen Elektronen in einem einzelnen Quantenpunkt im Detail anzusehen. Sie nutzen hierfür eine besondere Methode: die Nahfeld-Mikroskopie. Laserlicht wird auf eine metallische, weniger als 100 Nanometer dicke Spitze eingestrahlt, die das Licht stark bündelt – und zwar hundertfach kleiner als die Lichtwellenlänge, welche sonst die Grenze in der „normalen“ Optik mit Linsen und Spiegeln darstellt. Wird das gebündelte Licht auf genau eine Pyramide gelenkt, gibt es Energie an die Elektronen ab und hebt sie so auf ein höheres Energieniveau an. Beobachtet man bei diesem Vorgang das von der Spitze gestreute Infrarotlicht, wird der Energieübertrag messbar. Damit ist es den Dresdner Forschern vom HZDR sowie von der TU Dresden und dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden erstmals gelungen, nur Zustände im Leitungsband in einzelnen Quantenpunkten

mit Hilfe von Infrarotlicht abzufragen. Mit den erfolgreichen Experimenten tragen die Wissenschaftler dazu bei, die elektronischen und optischen Eigenschaften von Quantenpunkten noch besser zu verstehen.

Die Nahfeld-Mikroskopie wurde zusammen mit Lukas Eng von der Technischen Universität Dresden für den Freie-Elektronen-Laser in Rossendorf perfektioniert. Sie funktioniert mittlerweile sehr gut. Mit ihr gehen zwar hohe Signalverluste einher, doch ist der Lichtstrahl immer noch stark genug, um die Elektronen in einer einzelnen Nano-Pyramide anzuregen. Die Methode ist gleichzeitig so empfindlich, dass man damit ein Bild im Nanometerbereich erzeugen kann, auf dem sich die ein oder zwei Elektronen in einem Quantenpunkt als deutlicher Kontrast abzeichnen.

Für derartige Untersuchungen ist der Freie-Elektronen-Laser eine ideale Strahlungsquelle im infraroten Bereich, weil die Energie seines Lichts so eingestellt werden kann, dass sie genau zu den Energieniveaus in den Quantenpunkten passt. Auch liefert der Laser im HZDR derart intensive Strahlung, dass die methodisch zwangsläufigen Verluste leicht wettgemacht werden können. „Als nächstes wollen wir das Verhalten von Elektronen in Quantenpunkten bei tieferen Temperaturen durchleuchten“, sagt Stephan Winnerl. „Von diesen Messungen erhoffen wir uns noch genauere Einblicke in das Eigenleben der Elektronen. Wir wollen insbesondere die Wechselwirkung der Elektronen untereinander, aber auch mit den Schwingungen des Kristallgitters noch viel besser verstehen.“ Der Freie-Elektronen-Laser bietet jedenfalls dank der intensiven Laserblitze in einem großen, frei wählbaren Spektralbereich beste Möglichkeiten, eine Vielzahl weiterer interessanter Themen aus dem merkwürdigen Leben von Elektronen zu erforschen.

Diese Forschungsarbeiten werden unter anderem im Schwerpunktprogramm „Graphen“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie mit Mitteln der Europäischen Union gefördert. ↵

PUBLIKATIONEN:

S. Winnerl u.a.: „Carrier dynamics in epitaxial graphene close to the Dirac point“, in *Physical Review Letters*, Bd. 107 (2011), S. 237401 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.237401)

R. Jacob, S. Winnerl u.a.: „Intersublevel spectroscopy on single InAs-quantum dots by terahertz near-field microscopy“, in *Nano Letters*, Bd. 12 (2012), S. 4336 (DOI: 10.1021/nl302078w)

KONTAKT

„Institut für Ionenstrahlphysik
und Materialforschung im HZDR
Dr. Stephan Winnerl
s.winnerl@hzdr.de

Prof. Manfred Helm
m.helm@hzdr.de

// Auch wenn Behälter mit hochradioaktiven Abfällen rosten, behalten sie einen Teil ihrer Rückhaltefunktion in künftigen nuklearen Endlagern. Das zeigen Untersuchungen mit Plutonium an der HZDR-Beamline ROBL der europäischen Synchrotronstrahlungsquelle ESRF. Der Erfolg des Experiments ist der guten Vernetzung von Radiochemikern in Europa zu verdanken.



ARBEITSPFERD: Handschuhboxen sind ein typisches Instrument für Arbeiten in der Radiochemie. Sie schützen die Wissenschaftler und schirmen die Proben gleichzeitig vor Einflüssen aus der Umgebung ab. Foto: Oliver Killig

WENN BEHÄLTER ROSTEN

_TEXT . Anja Weigl

Für das Experiment, um das es hier geht, bemüht Andreas Scheinost gern das Attribut „einzigartig“. Der Wissenschaftler, der die beiden ROBL-Experimentierplätze an der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle ESRF im französischen Grenoble leitet, meint damit nicht nur die Forschungsergebnisse. Sie sind ein wichtiger Baustein für die Sicherheit bei der künftigen Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen. Er lobt vor allem auch die wissenschaftliche Vernetzung mit europäischen Kollegen, die alle ihr Know-how beigesteuert haben. Radiochemische Experimente stellen hohe Anforderungen an

die Sicherheit, „hier kamen besonders viele Details zusammen, die es zu beherrschen galt“, so Andreas Scheinost. „Ein vergleichbares Experiment hat daher vor uns noch niemand gemacht.“

Die Rossendorf Beamline ROBL hat einen materialwissenschaftlichen und einen radiochemischen Messplatz. Sie ist eine der wenigen Adressen in Europa, um die Strukturen radioaktiver Stoffe mit atomarer Präzision sowie deren Verhalten in der Umwelt zu untersuchen. Viele ROBL-Experimente →

fließen in die Beurteilung der Sicherheit künftiger nuklearer Endlager ein. Im Moment konzentrieren sich die Forscher auf Untersuchungen mit Eisenoxiden. Sie kommen in Granit und Ton vor, die neben Salz in Deutschland als mögliche Wirtsgesteine gelten, im Grundwasser sowie als Rost an den Wänden der Abfallbehälter. Für die Sicherheit spielen sie deshalb eine wichtige Rolle. Grund genug für die Wissenschaftler sich insbesondere damit zu befassen, was passiert, wenn die Fässer, die den radioaktiven Abfall aus Kernreaktoren künftig umschließen sollen, rosten. Andreas Scheinost nimmt das Ergebnis gleich vorweg: „Auch rostende Behälter haben eine hohe Kapazität, den Abfall zurückzuhalten, das haben wir für den Fall von Plutonium, einem sehr langlebigen und radio-toxischen Element, gezeigt.“

Rost ist nicht vermeidbar

Auch tief unter der Erdoberfläche ist Metall anfällig für Zer-
setzung. Der Sauerstoff dafür kommt nicht frei aus der Luft
- die gibt es in diesen Tiefen nicht -, sondern ist im Wasser
gebunden. Und ein Szenario mit Wasser ist beispielsweise für
den spaltenreichen Granit als Wirtsgestein leicht denkbar.
„Wir müssen damit rechnen, dass die Abfallbehälter langsam
rosten, selbst wenn sie aus Edelstahl sind. Dabei sprechen

wir von Prozessen, die ein paar tausende Jahre dauern“, so
Scheinost. Diesen Zeitraum kann man in keinem Labor unter-
suchen. Die Forscher können sich daran gemessen zwar nur
mit kurzen, für die Messungen aber dennoch ausreichenden
Reaktionszeiten von zwei, sechs und 24 Monaten behelfen.
Bisher sind nur die Proben mit der kürzesten Reaktionsdauer
analysiert.

Selbst dahin ist es ein weiter, langer Weg. Das liegt zum Teil
daran, dass die Forscher das Experiment unter den natür-
lichen Bedingungen eines Endlagers ohne Luftsauerstoff
durchführen. Das macht die Ergebnisse besonders wertvoll.
Die Forscher hatten damit gerechnet, dass die beobachteten
chemischen Reaktionen von den vorhergehenden Arbeiten
anderer Gruppen abweichen, die nicht unter Ausschluss von
atmosphärischem Sauerstoff stattfanden. Während man
jedoch davon ausgegangen war, dass die sauerstofffreien
Reaktionen zu einer deutlich höheren Mobilität des Plutoni-
ums führen, zeigen die neuen Ergebnisse, dass Plutonium fest
an der Oberfläche der Eisenminerale gebunden wird.

Um die eigentlichen Messungen an der ROBL-Beamline im
vergangenen Jahr vorzubereiten, beteiligen sich Radiochemie-
Experten aus ganz Europa. Man kennt sich aus dem ACTINET-
Verbund, mit dem die europäische Atomenergiebehörde →

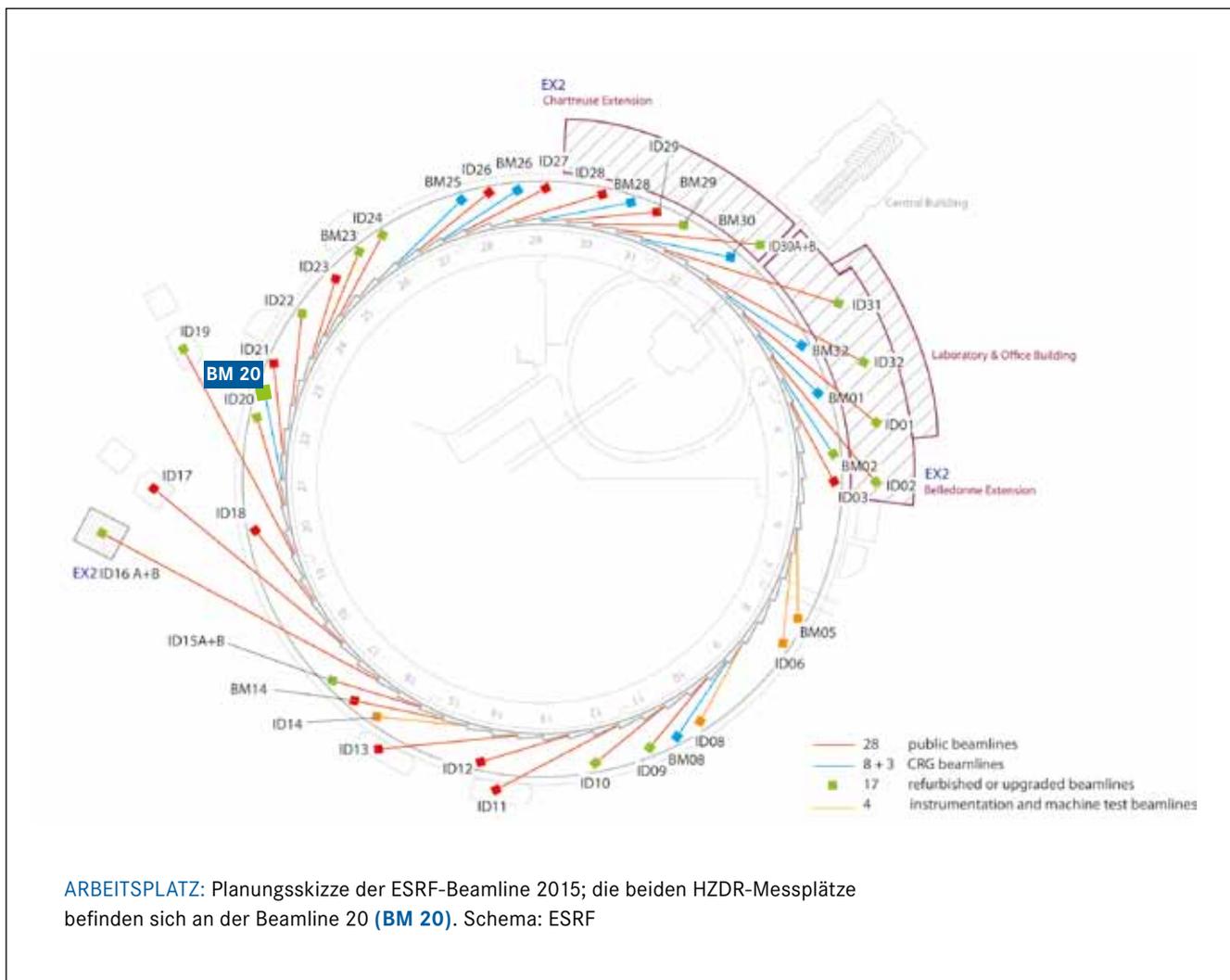




Foto: Oliver Killig

Aktuelle Erfolge in der Antragstellung

Andreas Scheinost ist derzeit nicht nur wegen der verbesserten Experimentiermöglichkeiten an der erneuerten HZDR-Beamline glücklich, sondern er konnte vor kurzem auch bei drei größeren Projektvorhaben punkten. Zwar koordiniert er keines dieser Drittmittel-Programme, doch ist der Anteil des HZDR an dem wohlklingenden EU-Projekt TALISMAN sowie an den beiden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekten durchaus ansehnlich. Zusammengenommen geht es für das HZDR um eine Fördersumme von fast eineinhalb Millionen Euro.

TALISMAN

Die Gelder im EU-Projekt TALISMAN sorgen dafür, dass Wissenschaftler auf dem Gebiet der Endlagerforschung Zugang zu großen und wichtigen Forschungsanlagen erhalten. Im HZDR betrifft dies neben der Rossendorf Beamline in Grenoble auch alle spektroskopischen Methoden im Alpha-Labor des Instituts für Ressourcenökologie, mit denen radioaktive Schwermetalle (Aktiniden) sehr genau untersucht werden können.

Nukleare Sicherheitsforschung ist zu einem wesentlichen Teil Aktinidenforschung, denn Aktinide spielen eine zentrale Rolle im Kernbrennstoff-Kreislauf, angefangen bei der Gewinnung über die Herstellung von Brennstoff, die Energieproduktion bis hin zur Behandlung und zur

Endlagerung der radioaktiven Abfälle. Vor allem die Erforschung der äußerst komplexen Komponenten von Aktiniden im ausgebrannten Kernbrennstoff und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt stellt eine große Herausforderung dar. Das EU-Projekt legt deshalb besonderen Wert auf die Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs, um den Erhalt der hohen europäischen Kompetenz in der Aktinidenforschung auch weiter zu gewährleisten. Insgesamt ist TALISMAN als europäischer Laborpool angelegt, wobei in den unterschiedlichen Labors zum einen die Handhabung von radioaktiven Materialien unter besonderen Schutzbedingungen möglich sein muss und zum anderen modernste Analyse-Tools und Untersuchungsmethoden zur Anwendung kommen sollen.

IMMORAD

Hierbei handelt es sich um ein durch das BMBF gefördertes Forschungsprogramm im Rahmen des „Förderkonzepts der Grundlagenforschung Energie 2020+“. Andreas Scheinost will mit den eingeworbenen Mitteln seine Arbeiten mit Plutonium unter Ausschluss von Sauerstoff weiterführen und das Aktinid Neptunium neu in sein Forschungsportfolio aufnehmen.

Einbau von Aktiniden in endlagerrelevante Keramiken

Auch das Vorhaben „Grundlegende Untersuchungen zur Immobilisierung langlebiger Radionuklide mittels Einbau in endlagerrelevante Keramiken (Conditioning)“, das vom BMBF ebenfalls im Rahmen von Energie 2020+ finanziert wird, gehört in den Bereich der Endlagerforschung. Die zugrundeliegende Idee: Keramische Werkstoffe gelten als sehr stabil und könnten in einem Endlager als zusätzliche Barriere für besonders „aggressive“ Aktinide eingesetzt werden. Hierzu ist jedoch noch viel Grundlagenarbeit zu leisten, denn die Aktinide müssten zunächst aus dem Abfall herausgetrennt werden, um anschließend stabile Verbindungen mit Keramiken einzugehen. Andreas Scheinost will sich auch an diesen Forschungen beteiligen und hat hier vor allem die Aktinide Americium und Neptunium im Blick.

Euratom die nukleare Sicherheitsforschung fördert. „Durch die Zusammenarbeit in dem Netzwerk konnten wir uns die besten Instrumente und Labore für unsere Arbeit aussuchen“, sagt Andreas Scheinost. Gleichzeitig bedeutet dies einen großen Aufwand für Regina Kirsch, die als Doktorandin an dem Projekt beteiligt ist, da viele einzelne Arbeitsschritte zu organisieren und zu betreuen sind. Die heute promovierte Wissenschaftlerin arbeitet seit September am Lawrence Berkeley National Lab in Kalifornien, USA.

Hohe Sicherheitsanforderungen

Vor etwa vier Jahren beginnt Regina Kirsch an der Universität Grenoble die Rostminerale künstlich herzustellen. Synthetische Minerale haben den Vorteil, dass man sie genau kontrollieren kann; aber sie müssen in den wichtigsten Eigenschaften natürlich auch denen in der Natur ähneln. Deshalb legen die Forscher großen Wert darauf, sehr kleine Partikel im Nanometerbereich herzustellen. Um die Eisenoxide mit Plutonium zur Reaktion zu bringen, brauchen sie eine Handschuhbox, die mit Unterdruck arbeitet. Dadurch wird verhindert, dass radioaktive, giftige Substanzen nach außen dringen. Das Problem: durch den Unterdruck gelangt vermehrt unerwünschter Luftsauerstoff in die Box, weshalb Forscher für solche Arbeiten üblicherweise Exemplare mit Überdruck verwenden. Der Widerspruch scheint unlösbar, bis die Wissenschaftler endlich am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) die perfekte anoxische Radionuklidbox finden. Sie läuft mit Unterdruck, hat aber ein besonders effizientes System, um Sauerstoff auszuschließen. Die Handschuhbox begrenzt den Sauerstoffpartialdruck auf 1 ppm, also ein Sauerstoffmolekül pro eine Million Teilchen. „Wir haben fast ein Jahr lang danach gesucht“, so Scheinost.

„Die Kollegen in Karlsruhe sind außerdem ausgezeichnete Partner, wenn es um Plutonium-Chemie geht“, erzählt er weiter. „Wie auch immer die für die Experimente benötigte Plutoniumlösung beschaffen sein musste, sie haben sie uns perfekt hergestellt.“ Nach der Reaktion mit den Rostmineralen wird das Wasser von den Proben abgetrennt. Übrig bleibt eine gelförmige Mineralphase, die für die Untersuchungen „verpackt“ werden muss. Als Vorbild für den Probenhalter mit doppeltem Einschluss und fester Verschweißung dient eine Spezialentwicklung der französischen Atomenergiebehörde CEA. Sie garantiert eine hohe Sicherheit sowie Unempfindlichkeit gegenüber starken Temperaturschwankungen, denen der Probenhalter ausgesetzt ist: zwischen dem fast absoluten Nullpunkt während der Untersuchung und Raumtemperatur nach der Messung. In dem Probenhalter und den dafür verwendeten strapazierfähigen Materialien stecken jahrelange Entwicklungen, weiß Andreas Scheinost.

Nachfolgeexperiment bereits geplant

Für den Transport der Probe an die HZDR-Beamline in Grenoble kommt Unterstützung durch Kollegen des schweizerischen Paul Scherrer Instituts: sie haben einen speziellen Container entwickelt, in dem hochradioaktive Substanzen,

mit Flüssigstickstoff gekühlt, transportiert werden können. Die Stickstoffatmosphäre schließt Sauerstoff aus und hemmt chemische Reaktionen, falls doch einzelne Moleküle an die Probe gelangen.

Endlich an der ROBL-Beamline angekommen, wird die Probe nun ein paar Tage lang im intensiven Licht des Synchrotronstrahls untersucht, um ihr bestimmte Informationen zu entlocken: welche Oxidationsstufe haben die Plutoniumatome? Wie und wo „sitzen“ sie an der Oberfläche der Eisenminerale? Wie nahe kommen sie sich? Gehen sie Bindungen ein? Wenn ja, welche?

Bisher haben die Forscher nachgewiesen, dass Plutonium an der Oberfläche der Rostminerale zur Oxidationsstufe 3 reduziert wird. Dreiwertiges Plutonium ist in Wasser leicht löslich und deshalb sehr mobil, trotzdem wird es an der Oberfläche der Rostminerale sehr stark gebunden. Die Löslichkeit dieser Oberflächenkomplexe ist so gering, dass man nur etwa 24 Plutoniumatome pro eine Billion Wassermoleküle finden würde. Das bedeutet: rostende Abfallbehälter können ihre Rückhaltefunktion tausende Jahre behalten. Mit der Zeit, davon gehen die Wissenschaftler aus, könnten die Nuklide sogar in den Rostmineralen eingeschlossen werden, also noch stabilere Verbindungen entstehen. Die Prozesse sollen in dem neuen, durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten ACTINET-Nachfolgeprojekt IMMORAD untersucht werden. „Darin wollen wir unsere Arbeiten von Plutonium auf andere Elemente ausdehnen und noch längerfristige Prognosen erzielen“, sagt Andreas Scheinost. Die dafür nötigen Vorarbeiten sind nun erprobt; was bleibt, ist das gute Gefühl einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit, an deren Erfolg viele Anteil haben. —

PUBLIKATION:

Kirsch et al.: „Oxidation State and Local Structure of Plutonium Reacted with Magnetite, Mackinawite, and Chukanovite,” in *Environmental Science & Technology*, Bd. 45 (2011), S. 7267-7274 (DOI-Link: <http://dx.doi.org/10.1021/es200645a>)

KONTAKT

— Institut für Ressourcenökologie im HZDR
Dr. Andreas Scheinost
scheinost@esrf.fr

// Großer Jubel an der TU Dresden: Am Freitag, dem 15. Juni, fiel die Entscheidung im Exzellenzwettbewerb von Bund und Ländern, und die TU konnte in allen Programmlinien punkten. Über den Erfolg freuten sich auch die Forscher am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, denn sie sind an drei der insgesamt vier bewilligten Anträge beteiligt. Sie werden hauptsächlich mitwirken an dem neu eingerichteten Exzellenzcluster cfAED (Center for Advancing Electronics Dresden) sowie der Graduiertenschule DIGS-BB (Dresden International Graduate School for Biomedicine and Bioengineering), die bereits seit 2006 im Rahmen der Exzellenzinitiative gefördert wird.

ERFOLGSSTORY EXZELLENZINITIATIVE

_TEXT . Uta Bilow

Beim Exzellenzcluster cfAED dreht sich alles um die Mikroelektronik. Mit rasanter Dynamik hat sich die Informations- und Kommunikationstechnologie in den vergangenen Jahrzehnten entwickelt und war dabei Triebfeder für Innovationen in den verschiedensten Anwendungsbereichen, ob Kommunikation, Unterhaltung, Mobilität oder Arbeitswelt. Doch die Fachleute sind besorgt, dass sich die Leistungsfähigkeit von Elektronik auf dem herkömmlichen Wege nicht mehr viel weiter wird vorantreiben lassen.

Die heutige Informations- und Kommunikationstechnologie basiert auf der so genannten CMOS-Halbleitertechnologie. Die Strukturen auf einem Chip sind bereits ungeheuer klein und verdichtet, und die Grenze des physikalisch Machbaren ist bald erreicht. Daher werden die Forscher im Exzellenzcluster cfAED ganz neue Technologien für die elektronische Informationsverarbeitung der Zukunft erforschen. Die Hoffnung ist groß, dass damit die heutigen Limitierungen überwunden werden können.

Elektronik mit reprogrammierbarer Logik

„Es gibt eine Reihe von Materialien, die denkbare Kandidaten für eine künftige Elektronik sind“, erläutert Artur Erbe aus der Abteilung Skalierungsphänomene im HZDR. „Dazu gehören beispielsweise Kohlenstoff-Nanoröhrchen oder Nanodrähte aus Silizium, die wir hier näher untersuchen.“ Silizium-Nanodrähte bestehen aus dem gleichen Grundstoff wie gewöhnliche Bauelemente. Doch ihr Potenzial geht weit über die übliche Halbleitertechnik hinaus. Wie grundlegende Arbeiten von cfAED-Projektpartnern am NaMLab der TU Dresden zeigen, ermöglichen diese winzigen Gebilde eine reprogrammierbare Logik, die der HZDR-Physiker wie folgt erklärt: „Über eine Gate-Elektrode lassen sich solche Nanodrähte umschalten. Man kann dann dynamisch zwischen einem p- und einem n-Typ-Transistor wechseln.“ Herkömmlich verwendetes Silizium ist dagegen durch seine Dotierung auf einen Typ festgelegt.

Der Vorteil der Nanodrähte liegt auf der Hand: Komplexe Funktionalitäten lassen sich mit wesentlich weniger Bauteilen erreichen, für die Software gibt es damit ganz neue Möglichkeiten. Die Forscher im HZDR haben große Erfahrung darin, solche winzigen Drähte einzeln mit Hilfe der Elektronenstrahl-Lithografie zuverlässig zu kontaktieren. Das ist notwendig, um die Eigenschaften der Nanodrähte präzise vermessen zu können. In anderen Versuchen dekorieren die Forscher die Drähte oberflächlich und untersuchen, wie sich das auswirkt. Artur Erbe: „Wenn wir einzelne Moleküle an die Oberfläche binden, ändern sich die Leitfähigkeit und das Schaltverhalten der Drähte.“ Dieser Effekt ließe sich beispielsweise für Gas-Sensoren nutzen. Außerdem ist es eine Möglichkeit, auf chemischem Wege das Verhalten des Drahtes zu beeinflussen.

Nanoröhrchen zielgerichtet anordnen

Kohlenstoff in Form von Nanoröhrchen ist nach Meinung vieler Experten ebenfalls ein Material, das in der zukünftigen Mikroelektronik eine wichtige Rolle spielen könnte. Hier konzentrieren sich die Wissenschaftler am HZDR vor allem darauf, die Nanotubes gezielt anzuordnen. „Wir kontrollieren die Strukturen der zugrundeliegenden Substrate“, erklärt Artur Erbe. Die meisten Materialien sind nicht uniform, sondern sie weisen Defekte auf, also einzelne Körner, Domänen oder sogar Strukturen auf der atomaren Skala, die die Oberfläche in kleine Untereinheiten aufteilen. Die Kohlenstoff-Nanoröhrchen lagern sich unterschiedlich an, je nachdem, ob die Oberfläche perfekt ist oder einen Defekt enthält. „Einige dieser Defekte lassen sich optisch schreiben, also quasi mit Licht festlegen. So können wir mit einer Auflösung von bis zu zehn Nanometern vorgeben, wie sich die Nanotubes anordnen“, sagt Erbe. Um die Zusammenarbeit zwischen den Partnern des Exzellenzclusters zu fördern, soll auf dem TU-Campus in Kürze mit dem Bau eines neuen Forschungsgebäudes begonnen werden. Zum Inventar werden die Rossendorfer Forscher Geräte für Ätztechnik beisteuern sowie einige Messvorrichtungen. →

MATERIALFORSCHUNG: Dresdner Wissenschaftler nutzen im Ionenstrahlzentrum des HZDR schnelle geladene Teilchen aus mehreren Teilchenbeschleunigern und ein breites Spektrum an Untersuchungsmethoden, um neue Materialien für die Elektronik zu entwickeln und zu analysieren. Foto: Oliver Killig



→

34

35



WISSEN SCHAFFT EXZELLENZ:

Die TU Dresden gehört seit Juni zu den elf Exzellenz-Universitäten in Deutschland und war mit ihrem gesamten Antragspaket erfolgreich. An drei der insgesamt vier bewilligten Anträge sind auch die Forscher des HZDR beteiligt. Foto: TUD/Eckold

Internationales Doktorandenprogramm

An der Graduiertenschule DIGS-BB beteiligt sich das HZDR schon seit vier Jahren. Unter der Leitung von Karim Fahmy vom Institut für Ressourcenökologie wurde bereits eine Dissertation erfolgreich abgeschlossen, drei weitere Vorhaben laufen derzeit. Eine dieser Arbeiten ist der Systembiologie zugeordnet. „Es geht dort um Radiotoxizität und welchen Einfluss sie auf der Ebene eines Organismus hat“, erläutert der Biophysiker. „Wir untersuchen bei Bakterien oder auch bei Nematoden, wie der Stoffwechsel darauf reagiert.“ Messen kann man dies mit einem Mikrokalorimeter. Kurbelt der Wurm seinen Stoffwechsel an, wird Wärme freigesetzt. „Besonders interessiert uns dabei die Verbindung zur Genetik“, so Fahmy. Vom Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik erhalten die HZDR-Forscher verschiedene Stämme der Organismen. Damit können sie ermitteln, ob die Toxizität durch ein bestimmtes Gen abgeschwächt wird.

Zwei weitere Dissertations-Projekte untersuchen ein bestimmtes Membranprotein, das für den Transport von Kupfer in Zellen verantwortlich ist. „Dieses Protein regelt den Metallpegel in der Zelle“, erklärt Karim Fahmy, „das ist für das so genannte Bioleaching sehr interessant.“ Beim Bioleaching nutzt man Bakterien, um Kupfer aus Erzen zu gewinnen. Die Mikroorganismen können erstaunliche Mengen an Metall tolerieren, daher möchten die Wissenschaftler gerne die exakte Struktur des Proteins bestimmen.

DIGS-BB gilt unter den internationalen Graduiertenprogrammen als Leuchtturm-Projekt. „Die Doktoranden haben exzellente Bedingungen“, sagt Karim Fahmy, „sie werden umfassend betreut und bestens ausgebildet“. Jeder Nachwuchsforscher hat gleich drei Betreuer und absolviert seine Arbeit reihum in verschiedenen Laboren. Alljährlich gibt es zudem einen Blockkurs mit Vorlesungen und Praktika, wo die Doktoranden weitere neue Methoden kennenlernen können. Knapp 90 Arbeitsgruppen in Dresden – am HZDR, der TU Dresden, den Max-Planck-Instituten und dem Leibniz-Institut für Polymerforschung – bieten Plätze in der Graduiertenschule an. Mittlerweile bewerben sich jedes Jahr weit mehr als 1.000 Nachwuchsforscher für das attraktive Programm, das im Rahmen der Exzellenzinitiative nun für weitere fünf Jahre gefördert wird. —

KONTAKT

— Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung im HZDR
Dr. Artur Erbe
a.erbe@hzdr.de

— Institut für Ressourcenökologie im HZDR
Dr. Karim Fahmy
k.fahmy@hzdr.de

// Rossendorfer Forscher untersuchen gemeinsam mit internationalen Partnern physikalische Phänomene bei der Notkühlung von Kernreaktoren.

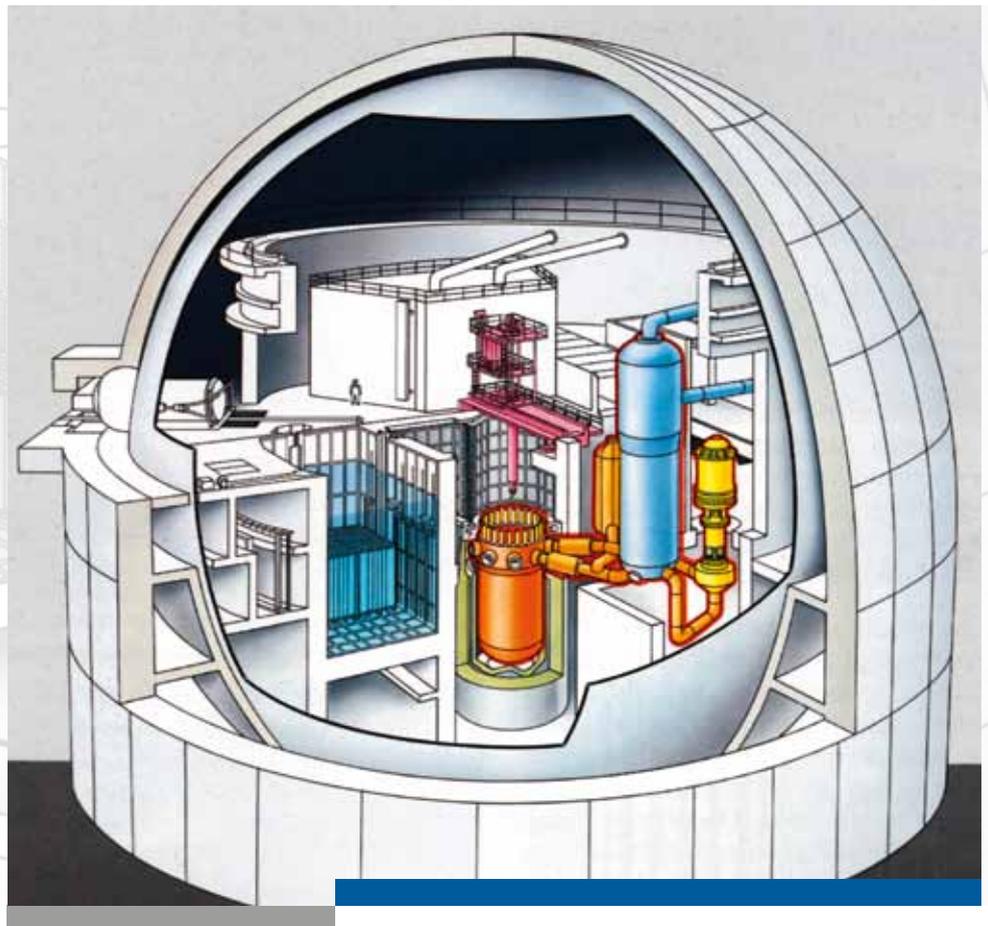
STRESSTEST FÜR REAKTORWÄNDE

_TEXT . Uwe Hampel & Matthias Beyer

Für den sicheren Betrieb von Kernkraftwerken gibt es ein gestaffeltes Sicherheitskonzept mit einer Reihe von Maßnahmen, die beim Versagen von technischen Komponenten die Auswirkungen auf die Anlage begrenzen sollen. Ein denkbares Störfallszenario bei einem Druckwasserreaktor ist ein sogenannter Kühlmittelverlust-Störfall. Ein solcher Störfall kann eintreten, wenn eine Kühlmittleitung im unter Druck stehenden Primärkreislauf – zum Beispiel zwischen Reaktordruckbehälter und Dampferzeuger – abreißt oder bricht. Zunächst wird die Kettenreaktion im Reaktor sofort unterbrochen, indem Neutronenabsorber (Steuerstäbe) automatisch

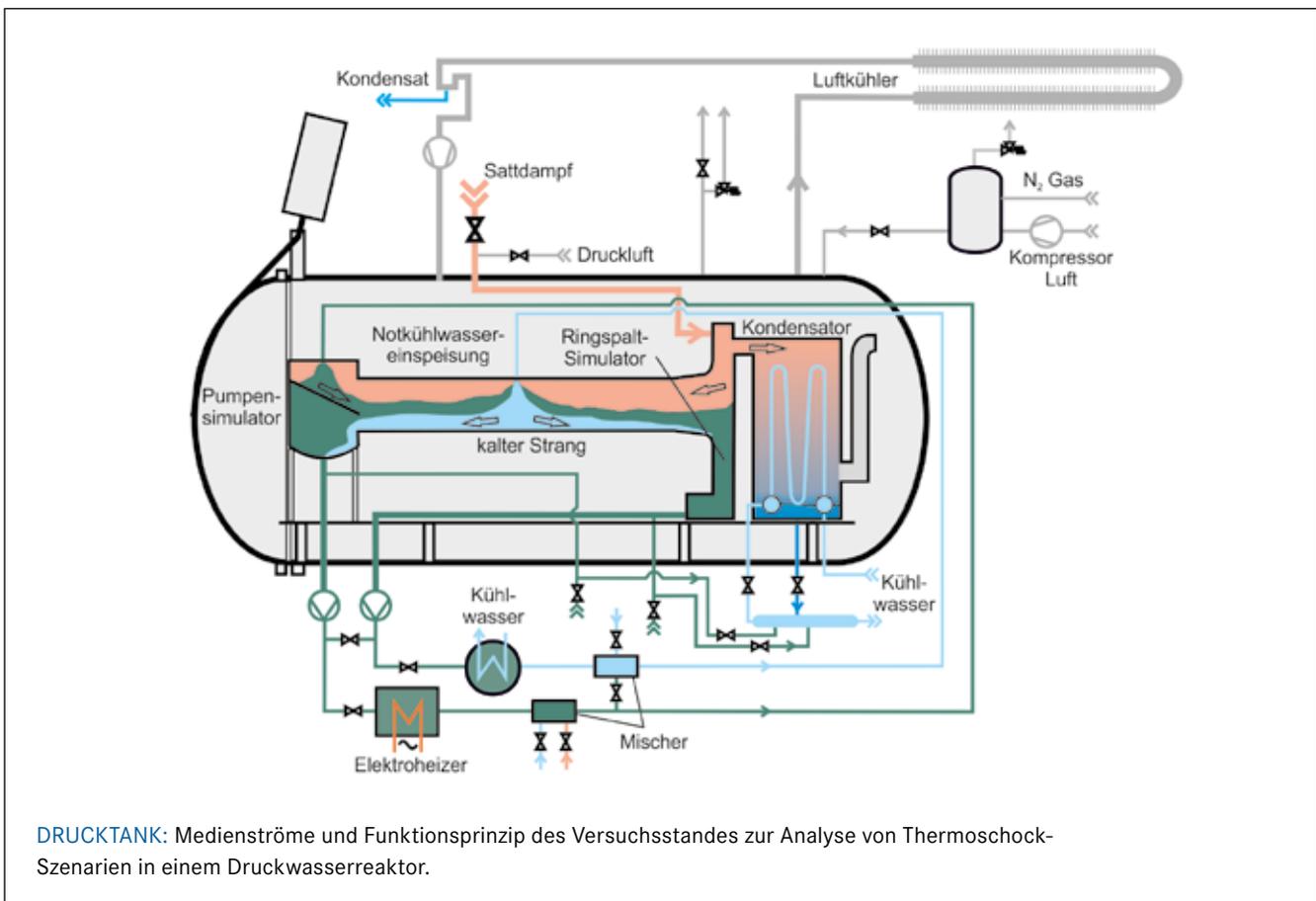
Zusätzliches Kühlwasser wird aus entsprechenden Vorratsbehältern zumeist in die Hauptleitungen des Primärkreislaufes eingespeist – man spricht hierbei von der Notkühl-Einspeisung. Zugleich fließt in diesen großen Rohrleitungen mit einem Durchmesser von immerhin fast einem Meter heißes Wasser von rund 300 Grad Celsius, das im Normalbetrieb den Reaktorkern kühlt und die durch die Kettenreaktion erzeugte Wärme zu den Dampferzeugern transportiert, um dann als Kühlwasser erneut in den Reaktor zu strömen. Der Primärkreislauf teilt sich somit in einen Kalt- und in einen Heißstrang. Im Störfall können im kalten Strang drei Medien zusammen-

DRUCKWASSERREAKTOR:
Schnitt durch das Containment, hervorgehoben sind der Primärkreislauf mit Reaktordruckgefäß (orange), Dampferzeuger (hellblau) und Hauptkühlmittel-Pumpe (gelb).
Schema: kernenergie.de



in den Reaktorkern einfallen. Dann schalten sich diverse Notkühlensysteme zu, um die Nachzerfallswärme im Reaktorkern kontinuierlich abzuführen sowie das durch den Störfall aus dem Kühlkreislauf ausgetretene Kühlwasser zu ersetzen und den Reaktor langfristig unterkritisch zu halten.

treffen: frisches, kaltes Notkühlwasser, heißes Wasser als im Kreislauf bereits vorhandenes Kühlmittel sowie Wasserdampf, der unweigerlich entsteht, wenn durch ein gebrochenes Rohr der Druck im Primärkreislauf abfällt. →



Thermoschock mit Folgen

Ein sicherheitsrelevanter Aspekt bei der Notkühl-Einspeisung sind die großen Belastungen auf Rohrleitungen und bauliche Komponenten durch die plötzliche Abkühlung. Dies gilt vor allem für die Wand des Reaktor-druckbehälters, die gegebenenfalls schon über viele Jahre im laufenden Betrieb dem „Beschuss“ von Neutronen ausgesetzt war. Eine Änderung der Materialeigenschaften – z. B. zunehmende Versprödung – könnte die Folge sein. Auch unmittelbar nach der Notabschaltung hat der Druckbehälter noch Temperaturen von weit oberhalb 200 Grad Celsius. Würde das stark unterkühlte Notkühlwasser, das je nach Anlage Temperaturen zwischen 10 und 60 Grad haben kann, unvermischt zum Reaktorbehälter strömen, würde dessen Wand erheblichen thermomechanischen Belastungen ausgesetzt sein. Die plötzliche Abkühlung der Wand, auch als Thermoschock (im Englischen mit PTS abgekürzt für pressurized thermal shock) bezeichnet, könnte unter Umständen zu einer Rissbildung bis hin zum Versagen des Druckbehälters führen. Das Risiko eines solchen Versagens hängt dabei einerseits von den aktuellen mechanischen Eigenschaften der Wand und andererseits von der Temperatur des Wassers am Eintritt in den Reaktor-druckbehälter ab. Diese Temperatur wiederum ergibt sich aus dem Strömungsgemisch aus Dampf sowie kaltem und heißem Wasser in der Hauptkühlmittel-Leitung (im Folgenden verkürzt als Hauptleitung oder Hauptrohr bezeichnet) – und dieses Strömungsgemisch unterliegt den grundlegenden Gesetzen der Thermofluiddynamik.

Forscher im HZDR beschäftigen sich seit vielen Jahren mit derartigen Szenarien. Die bruchmechanischen Eigenschaften des Behältermaterials untersucht die Abteilung Strukturmaterialien, die Frage, wie gut sich das kalte Notkühlwasser mit dem heißen Wasser im Hauptrohr vermischt, beantworten dagegen fluiddynamische Untersuchungen. Daran arbeiten die Abteilungen für Experimentelle Thermofluiddynamik sowie Numerische Strömungsmechanik – oder Computational Fluid Dynamics, CFD – im Dresdner Helmholtz-Zentrum. Die Analyse von Störfallabläufen sowie die Bewertung und Optimierung von Notfallmaßnahmen sind das Aufgabengebiet der Spezialisten aus der Abteilung Reaktorsicherheit. Anlagendynamische Untersuchungen und die aus den Experimenten zum Thermoschock sowie den CFD-Simulationen gewonnenen Erkenntnisse zur Notkühl-Einspeisung helfen dabei, die Sicherheit derzeitiger und künftiger Reaktor-anlagen zu erhöhen.

Vermischungsphänomene und Anlagensicherheit

Die Vermischung des kalten und heißen Wassers in der Hauptleitung ist eines der fluiddynamischen Phänomene, von denen die komplexe Strömungsdynamik bei der Notkühl-einspeisung abhängt – und damit mittelbar auch die Sicherheit der Reaktor-komponenten. Das Wasser in der Rohrleitung verdampft allerdings bei einer gewissen Temperatur und in Abhängigkeit vom herrschenden Druck, sodass ein besonderer Zustand entsteht: das kalte einströmende Notkühlwasser trifft auf siedendes Wasser und gesättigten Dampf. Hierbei →

kann es, abhängig von der Strömungsform des eingespeisten kalten Wassers und damit der Kontaktfläche zwischen kaltem Wasser und Dampf, zu unterschiedlich intensiver Kondensation kommen. Die Vermischung der Medien hängt aber auch vom Impuls des eingespeisten kalten Wassers ab. Hinzu kommen weitere Phänomene, bei denen die Form und Turbulenz des eintretenden Kaltwasserstrahls oder Art und Umfang, wie Dampfblasen von der Strömung mitgerissen werden, aber auch die Turbulenz im Sattwasser eine wichtige Rolle spielen. Zudem sind Verdampfung und Kondensation immer auch mit Fragen des Wärmetransports verbunden, da beispielsweise kondensierender Dampf eine hohe Wärmemenge an das ihn umgebende Wasser abgibt, wodurch sich die Temperatur des Wassers erheblich erhöhen kann. Insgesamt sind der Wärmetransport und die Ausprägung der Strömung in komplexer Weise von den thermohydraulischen Randbedingungen abhängig, also vom Massenstrom und der Temperatur des Notkühlwassers, der Temperatur und dem Füllstand des gesättigten Wassers in der Hauptleitung sowie der durch den Systemdruck bestimmten Dampfdichte.

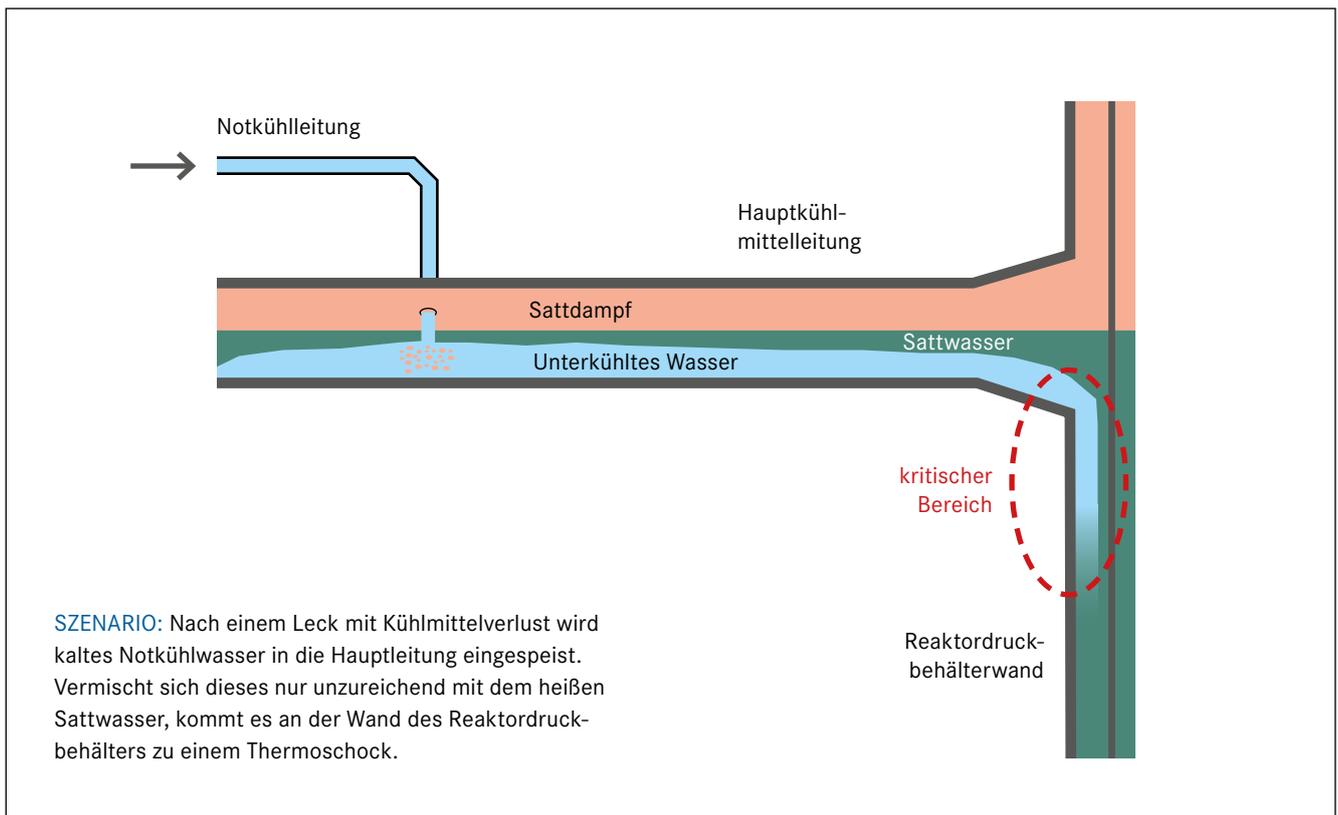
Untersuchungsobjekt französischer Druckwasserreaktor

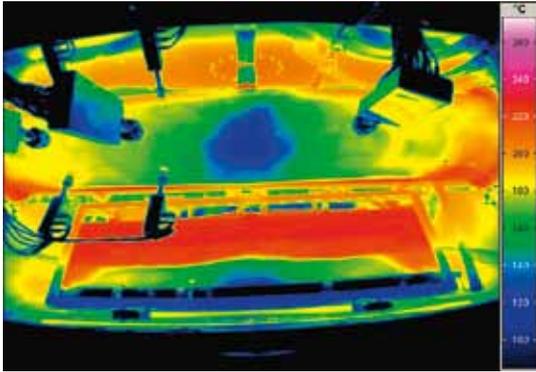
Im Rahmen eines seit dem Jahr 2006 laufenden Konsortialprojektes mit dem HZDR auf der deutschen Seite, den Energiefirmen EDF France und AREVA NP France, den öffentlich finanzierten Einrichtungen IRSN (Nationales Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit) und CEA (Kommission für Atomenergie und alternative Energieformen) in Frankreich sowie dem Paul Scherrer Institut (PSI) und der ETH Zürich in

der Schweiz wurden in den vergangenen zweieinhalb Jahren einmalige Strömungsuntersuchungen durchgeführt.

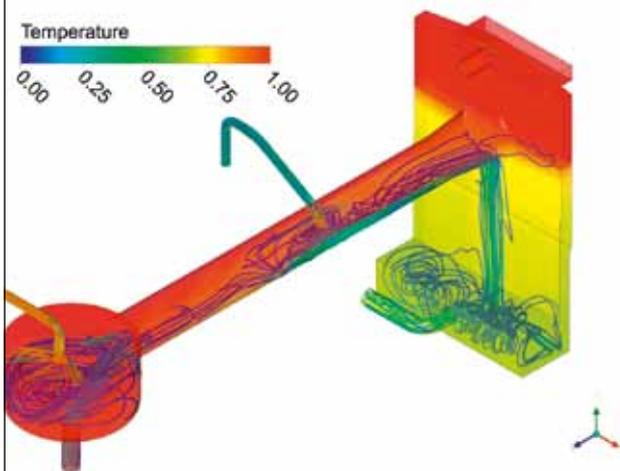
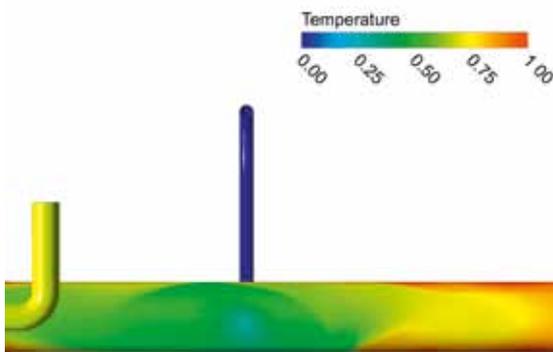
Für realitätsnahe Experimente mit Strömungen aus Dampf und Wasser ist der sogenannte Drucktank an der TOPFLOW-Anlage im HZDR besonders gut geeignet: Der aufgebaute Versuchsstand bildet die hydraulischen Hauptkomponenten eines französischen Druckwasserreaktors im Maßstab 1 : 2,5 nach. Er umfasst einen Teil des kalten Strangs einer Hauptleitung mit dem Pumpengehäuse, den Ringspalt des Reaktordruckbehälters – also den Bereich, in dem das in den Reaktor eintretende Kühlwasser direkt an der Reaktorwand abwärts strömt – sowie die Leitung für das eingespeiste Notkühlwasser. Der umfangreich mit Messinstrumenten ausgestattete Versuchsstand liefert räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Daten, beispielsweise über die Verteilung der Temperatur und die Zustände der Strömung im Inneren des Versuchsaufbaus. Über 200 Messstellen erfassen Temperaturen im Hauptrohr sowie im Ringspalt des Reaktordruckbehälters, eine Infrarotkamera misst die genaue Verteilung der Temperatur an den Rohrwänden und eine Hochgeschwindigkeits-Kamera schließlich beobachtet den Strahl des Notkühlwassers beim Eintritt in die Hauptleitung. Außerdem kommen im HZDR entwickelte Gittersensoren zum Einsatz, die Wassergeschwindigkeiten in dieser Leitung erfassen.

Die Experimente wurden für verschiedene Variationen von Parametern bei Betriebsdrücken bis 50 bar – das entspricht dem Druck in 500 Meter Wassertiefe – durchgeführt. Aufgrund der einzigartigen Technologie des Drucktanks nahmen trotz des sehr hohen Druckes weder die eingesetzte Messtechnik noch der Versuchsaufbau Schaden. Das Experiment wird innerhalb





NOTKÜHLUNG: Die Wärmebildkamera zeigt in der oberen Bildhälfte den Kaltstrang in einem Dampf-Wasser-Experiment (von unten gefilmt) und in der unteren Bildhälfte eine Seitenansicht des gleichen Rohres.



Temperaturverteilung auf der Oberfläche des Kaltstrangs und des Ringspalt-Simulators anhand der CFD-Rechenergebnisse.

des geschlossenen Drucktanks im Druckausgleich betrieben, wodurch es nicht erforderlich ist, die Komponenten druckfest, also dickwandig, zu gestalten. Dadurch kann der Versuchsaufbau mit dünnen Metallwänden und sogar optischen Glasfenstern ausgestattet werden. Während der hohe Betriebsdruck durch den Tank selbst kompensiert wird, muss auch für eine gute Wärmeisolierung des Experiments gesorgt werden. Dies ist einerseits erforderlich, um die teure Messtechnik im Drucktank vor Überhitzung zu schützen, andererseits, um die Wärmeverluste des Experiments zu minimieren, da diese zu falschen Ergebnissen, wie etwa einer zusätzlichen Kühlung des Wassergemischs, führen würden. Deshalb wird für die Wärmeisolierung ein spezielles mineralfaserhaltiges Dämmmaterial eingesetzt, das auch im Hochdruckbereich noch gute Isolationseigenschaften hat.

Europäische Ziele

Ziel der aufwändigen Experimente im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf ist es, mithilfe der hoch aufgelösten Experimentaldaten CFD-Codes zu ertüchtigen. Diese werden unter anderem in den europäischen Projekten NURESIM, NURISP und im neuen Programm NURESAFE weiterentwickelt. Die mit den Projektpartnern abgestimmten Experimentalserien umfassten mehr als 90 Versuche mit jeweils verschiedenen Betriebsparametern: Druck, Füllstand in der Hauptleitung und Massenstrom sowie Temperatur des eingespeisten Notkühlwassers. Diese Variationen sind notwendig, um einerseits Anforderungen an thermohydraulische Kennzahlen zu erfüllen, mit denen sich einzelne Effekte auf Anlagengröße skalieren lassen, andererseits, um einen breiten Parameterbereich für aktuelle und zukünftige CFD-Simulationen abzudecken. Nicht zuletzt halfen vergleichende Experimente mit Luft-Wasser- und mit Dampf-Wasser-Gemischen bei der Bewertung, wie groß beispielsweise der Effekt der Dampfkondensation, der ja in einem reinen Luft-Wasser-System fehlt, tatsächlich ist.

Die Daten dieser aufwändigen Experimente dienen bereits heute als Vergleichsdaten für CFD-Rechnungen der beteiligten Partner. Außerdem führten Projektpartner in den europäischen Großprojekten NURESIM und NURISP vergleichende Berechnungen dieses komplexen thermohydraulischen Szenarios mit drei verschiedenen, teils kommerziellen CFD-Codes durch. Die Ergebnisse zeigen bereits jetzt, dass weitere Anstrengungen in die Weiterentwicklung dieser Codes investiert werden müssen – eine Forschungs- und Entwicklungsarbeit, der sich insbesondere die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut für Fluidodynamik des HZDR verschrieben haben. —

KONTAKT

— Institut für Fluidodynamik im HZDR
AREVA-Stiftungsprofessur für Bildgebende Messverfahren
für die Energie- und Verfahrenstechnik an der TU Dresden
Prof. Uwe Hampel
u.hampel@hzdr.de

— Institut für Fluidodynamik im HZDR
Matthias Beyer
m.beyer@hzdr.de

// BM20 – unter diesem Namen kennen die 1.000 Mitarbeiter auf dem Gelände der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle das HZDR und dessen „Rossendorf Beamline“ ROBL in Grenoble. BM20 ist eigentlich eine Hausnummer, denn die Abkürzung gibt mit „Biegemagnet im 20. Sektor“ den Ort an, wo die brillanten Röntgenstrahlen für die Wissenschaftler bei ROBL erzeugt werden.

HALBZEIT FÜR DAS AUSBAU-PROGRAMM AN DER ESRF

_TEXT . Claus Habfast

Die Rossendorf Beamline präsentiert sich ihren Nutzern aus Deutschland und Europa seit Ende 2011 in komplett erneueter Form. Dieser Umbau fiel mit einem auf sieben Jahre angelegten, 180 Millionen Euro teuren Ausbau der ESRF zusammen, der vor kurzem die Halbzeit-Marke erreichte: Zwischen Dezember 2011 und Mai 2012 wurde der gesamte Komplex erstmals seit seiner Einweihung im Jahr 1994 für fünf Monate abgeschaltet, um die Fundamente für eine 12.000 Quadratmeter große, neue Experimentierhalle legen und zahlreiche Komponenten in bestehenden Anlagen installieren oder umbauen zu können. Diese Bau-tätigkeit blieb übrigens nicht ohne Auswirkungen auf die Betonplatte, die den Ringbeschleuniger trägt. An manchen Punkten senkte oder hob diese Platte sich um bis zu einem Zentimeter, was eine komplette Neuausrichtung der Anlage nötig machte, die den Neustart im Mai zum Glück aber nicht beeinträchtigte. Der Rest des Ausbaus wird nunmehr ohne nennenswerte Unterbrechungen des normalen Nutzerbetriebs fortgesetzt.

Die Idee zu einem umfassenden Ausbau der ESRF stammt aus dem Jahr 2003. „Die ESRF lief damals sehr gut und eine unserer Optionen war, genauso fortzufahren“, erinnert sich der

damalige ESRF-Generaldirektor Bill Stirling, „aber beim Blick auf die anderen Einrichtungen und Labors in der Welt merkten wir, dass für einen umfangreichen Ausbau Bedarf bestand, wenn wir unsere Position als eine der besten, wenn nicht sogar

der allerbesten Röntgenquelle in der Welt halten wollten.“



FORSCHUNG IN ECHTZEIT: Röntgenstrahlen erlauben, chemische Reaktionen unter extremen Bedingungen zu untersuchen. Hier wird eine Probe in einer katalytischen Zelle unter in situ-Bedingungen erhitzt. Ein großer Automobilhersteller hat diese Technik an der ESRF eingesetzt, um die Lebensdauer von Katalysatoren zu verbessern. Foto: ESRF/B. Gorges

Bis Ende 2015 wird die ESRF acht Beamline-Projekte entwickeln, die den Bau von 11 neuen Experimentierstationen mit 15 unabhängig bedienbaren Endstationen umfassen. Dazu kommen Modernisierungen und Verbesserungen der bestehenden Endstationen sowie der Bau eines „Science Building“, um die wissenschaftlichen Anforderungen der Nutzer für den Rest des Jahrzehnts befriedigen zu können. Das erste der acht Beamline-Projekte wurde im November 2011 eingeweiht.

Mit ID24 steht der Forschung nunmehr ein Instrument für die zeitaufgelöste Röntgenabsorptionsspektroskopie unter extremen Probenumgebungen zur Verfügung, deren Leistungsfähigkeit 20.000 mal höher ist als zuvor, und 1.000 mal höher als irgendwo sonst auf der Welt. Ab Anfang 2013 gehen die weiteren sieben Projekte schrittweise in den Betrieb.

Der ESRF-Ausbau dreht sich vor allem um intensive Röntgenstrahlen mit kleinem Strahldurchmesser. Bei einem →



EINWEIHUNG: Francesco Sette, ESRF-Generaldirektor, Roland Sauerbrey, Wissenschaftlicher Direktor HZDR, Jean Moulin, Vorsitzender Rat der ESRF, und Thomas Roth, Referatsleiter im BMBF, feiern die Einweihung der erneuerten Rossendorf Beamline BM20.
Foto: ESRF/C. Argoud

Strahldurchmesser von 10 Nanometern können Nutzer das Verhalten von Materie in Proben untersuchen, deren Volumen gerade einmal ein paar tausend Atome umfasst. Zusätzlich zu wesentlichen Verbesserungen des Beschleunigers, die bereits weitgehend umgesetzt sind, umfasst der Ausbau den Bau längerer Experimentierstationen in einer neuen Experimentierhalle sowie die Entwicklung verbesserter Röntgenoptiken, Detektoren und Datenverarbeitungssysteme.

Die Nanotechnologie ist eine von fünf Kernbereichen der angewandten und Grundlagenforschung, auf die der Ausbau abzielt. Hierzu kommen sogenannte Pump-Probe-Experimente und speziell zeitaufgelöste Diffraktionsstudien (mit einer Auflösung, die es erlaubt, die Bewegung einzelner Atome oder gar Elektronen zu „filmen“); Untersuchungen unter extremen Probenbedingungen (mikroskopische Proben bei extremen Drücken, Temperaturen und magnetischen Feldern); Molekularbiologie und weiche Materie (z.B. grundlegende Mechanismen molekularer Maschinen und der zellulären Reproduktion) sowie moderne Röntgenbildtechniken mit ihren zahllosen Anwendungen von der Medizin bis zur Archäologie.

Keine Experimentierstation bleibt vom Ausbauprogramm unbelassen. Trotz zahlreicher Umbauten und des Aufbaus neuer Anlagen ist die Kapazität der ESRF für die Nutzer jedoch kaum gesunken, und die wissenschaftliche Ausbeute ist sogar höher als je zuvor – im Jahr 2011 betrug sie 1.800 Zeitschriftenveröffentlichungen, obwohl während dieser Zeit einige Experimentierstationen vorübergehend außer Betrieb waren.

Das ESRF Upgrade-Programm wird in zwei Phasen durchgeführt. Mit der ersten Phase in Halbzeit ist es an der Zeit, nunmehr die anschließende zweite Phase vorzubereiten. Hierzu wird dieses Jahr mit den Nutzern über deren zukünftigen wissenschaftlichen und technischen Anforderungen beraten, um gemeinsam einen Vorschlag für den Rat der ESRF vorzubereiten, der im Frühjahr 2013 vorgelegt werden soll. Der Rat hat darüber hinaus einen Bericht einer unabhängigen Expertengruppe angefordert, die unter anderem untersucht, ob der Beschleunigerkomplex der ESRF seine weltweit

führende Position halten kann oder ein teilweiser Neubau in Betracht gezogen werden sollte. In den letzten Jahren sind in vielen Zentren Ideen und Pläne für einen „ultimate storage ring“ gereift, mit dem die Brillanz der Röntgenstrahlen für die Wissenschaft um einen weiteren Faktor 50 bis 100 gesteigert werden könnte. Im Jahr 2017 wird der Speicherring der ESRF ein Vierteljahrhundert lang Röntgenstrahlen erzeugt haben; eine Entscheidung, ob dies der Zeitpunkt für den Bau eines Nachfolgers ist, steht bereits im nächsten Jahr auf der Tagesordnung. →



HALBZEIT: Luftaufnahme einer neuen Experimentierhalle der ESRF, in der Experimentierstationen von 120 Metern Länge aufgebaut werden können. Das ist für die Röntgenstrahlen mit zehn Nanometern Durchmesser auf der Probe notwendig. Foto: ESRF/C. Argoud

KONTAKT

_Head of Communication Group
European Synchrotron Radiation Facility ESRF
Dr. Claus Habfast
claus.habfast@esrf.fr

↗ www.esrf.fr

LUFTAUFNAHME: Die Europäische Synchrotronstrahlungsquelle ESRF, ein kreisrundes Gebäude an der Flussmündung des Drac in die Isère. Foto: Denis Morel



// Mit der auf dem Rossendorfer Forschungscampus angesiedelten Firma ROTOP Pharmaka AG verbindet das HZDR eine enge Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung – zum Wohle von Patienten.

GEWINNBRINGENDE KOOPERATION IN DER GESUNDHEITSFORSCHUNG

_TEXT . Christine Bohnet

CHECK: Cornelia Pretzsch, Leiterin der ROTOP-Abteilung für Wirkstoffherstellung, bei der Funktionskontrolle eines Gerätes.
Foto: André Forner





AUF DEM CAMPUS:
Firmengebäude der
ROTOP Pharmaka AG.
Foto: ROTOP

Bei Tumorerkrankungen wie Brustkrebs oder dem schwarzen Hautkrebs ist es für eine optimale Therapieplanung entscheidend zu wissen, ob Lymphknoten von Metastasen befallen sind. Heute steht zur Suche nach diesen Lymphknoten ein vielversprechendes Diagnoseverfahren zur Verfügung, die sogenannte Wächterlymphknoten-Szintigrafie, die in allen nuklearmedizinischen Einrichtungen zur Anwendung kommt.

Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf und der ROTOP Pharmaka AG haben für diese diagnostische Methode in einem vom Freistaat Sachsen geförderten Verbundprojekt gemeinsam eine neue Generation radioaktiv markierter Teilchen entwickelt. Das Ergebnis ist seit Kurzem als von ROTOP zugelassenes Arzneimittel unter dem Namen „NANOTOP“ auf dem Markt. Es gibt Auskunft über die Lage der nächsten – vom Tumor aus gesehen – Lymphknoten („Wächterlymphknoten“). Diese werden nach der Szintigrafie untersucht, um festzustellen, ob sich darin aus dem Primärtumor abgesiedelte Krebszellen befinden. Die Ärzte entscheiden dann über das Ausmaß der Operation.

Das HZDR und die Firma ROTOP können auf eine langjährige Zusammenarbeit mit erfolgreich abgeschlossenen Verbundprojekten zurückschauen; in einem aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekt werden beispielsweise Fragestellungen zu einer großen Volkskrankheit bearbeitet. Das Unternehmen befindet sich mit seinen mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern seit dem Jahr 2010 in einem neuen Büro- und Produktionsgebäude auf dem Gelände des Helmholtz-Zentrums. Gegründet wurde ROTOP bereits im Jahr 2000 und hat sich seither mit seinen Substanzen für die Nuklearmedizin in Deutschland und darüber hinaus durchsetzen können. Zwar handelt es sich um einen Nischenmarkt, doch vertreibt ROTOP seine zehn Produkte mittlerweile europaweit und ist bestrebt, auch in den amerikanischen Markt einzusteigen. Monika Johannsen, die Geschäftsführerin von ROTOP: „Unser Erfolgs-

rezept klingt einfach, denn wir wollen ein jederzeit zuverlässiger Partner für nuklearmedizinische Einrichtungen sein. Wir stellen unsere Produkte auf technologisch höchstem Niveau her und hatten auch noch nie eine Beanstandung.“ Das ist wichtig, denn das Medikament „NANOTOP“ etwa wird in fast allen Brustzentren Deutschlands vor einer Operation für die Wächterlymphknoten-Szintigrafie bei Brustkrebs eingesetzt.

Das Erfolgsrezept von ROTOP scheint aufzugehen, denn die Firma plant den Ausbau weiterer Reinräume für die Produktion der Medikamente, die zunächst aus nicht-radioaktiven Substanzen bestehen. Erst in der nuklearmedizinischen Praxis wird aus den mit weißem „Pulver“ gefüllten Fläschchen ein radioaktives Arzneimittel zur Diagnose von unterschiedlichsten Krankheitsbildern. ROTOP vermarktet aber auch Arzneimittel, die im Institut für Radiopharmazie des HZDR hergestellt werden, etwa das arzneimittelrechtlich zugelassene „GlucosRos“ – eine mit einem kurzlebigen Radionuklid markierte Glucose, mit deren Hilfe sich Tumoren diagnostizieren und erforschen lassen. Darüber freut sich Institutsdirektor Jörg Steinbach: „Dank dieser Kooperation kann das Zentrum zusätzliche Forschungsgelder akquirieren und setzt seine Forschungsergebnisse schnell zum Wohle von Patienten um.“ —

KONTAKT

„Institut für Radiopharmazie im HZDR
(ab 2013: Institut für radiopharmazeutische Krebsforschung)
Prof. Jörg Steinbach
j.steinbach@hzdr.de

„ROTOP Pharmaka AG
Vorstandsassistentin
Anne Wloch
a.wloch@rotop-pharmaka.de

➤ www.rotop-pharmaka.de

// Markus Schubert erhält einen „Starting Grant“ des Europäischen Forschungsrates. Das Fördergeld in Höhe von fast 1,2 Mio. Euro will der junge Wissenschaftler einsetzen, um grundlegend neue und wichtige Erkenntnisse für die chemische Industrie zu erbringen.

ERSTER EUROPÄISCHER „STARTING GRANT“ AM HZDR

Text . Anja Weigl



ÜBERZEUGT: Markus Schubert ist Verfahreningenieur und der erste HZDR-Forscher, der einen „Starting Grant“ des Europäischen Forschungsrates erhält.

„Das ist schon etwas Besonderes, einen Starting Grant des Europäischen Forschungsrates [ERC] zu erhalten“, sagt der Leiter der Abteilung Programmplanung und Internationale Projekte am HZDR Rainer Maletti. Was bisher noch keinem HZDR-Wissenschaftler gelang, hat Markus Schubert geschafft. Am 24. April stellte er seinen Projektantrag in Brüssel erfolgreich vor: es geht darum, Chemieapparate im Hinblick auf die darin ablaufenden Strömungsprozesse zu untersuchen.

Markus Schubert erklärt: „Eine Vielzahl von Produkten und Gütern, die wir täglich verwenden, wie beispielsweise schwefelarme Kraftstoffe oder Kunststoffe, durchlaufen in ihrem Herstellungsprozess derartige Chemiereaktoren. Doch was passiert eigentlich bei den Prozessen, die durch meist druckfeste Behälterwände bisher kaum zugänglich sind? Ist die Strömung so eingestellt, dass der Prozess optimal läuft? Hier gibt es erheblichen Forschungsbedarf und genau da wollen wir ansetzen. Mit neuen Untersuchungsmethoden wollen wir die Strömungsdynamik in solchen Reaktoren aufklären und damit Simulationsmodelle weiterentwickeln.“

Inzwischen haben ERC und HZDR einen Vertrag unterzeichnet, der die Bedingungen rund um den Starting Grant regelt. „Er ermöglicht es Herrn Schubert, im Rahmen seines Projektes frei zu forschen und alle Entscheidungen selbstständig zu treffen, so zum Beispiel Mitarbeiter auszuwählen“, erklärt Rainer Maletti, der die Vielfalt an Fördermöglichkeiten für Wissenschaftler und die Besonderheiten dieses europäischen Programms gerade für junge Forscher kennt. Mit dem Fördergeld, fast 1,2 Mio. Euro verteilt über vier Jahre, kann sich Markus Schubert nun eine eigene Forschergruppe aufbauen.

Vor fünf Jahren hat er wahrscheinlich nicht damit gerechnet. Damals begann er seine erste Stelle als Postdoc am HZDR, mittlerweile betreut er Doktoranden und Studenten in eigenen Projekten. Dazwischen forschte er als Gastwissenschaftler ein Jahr lang an der Laval University in Québec, Kanada.

Markus Schubert arbeitet am Institut für Fluiddynamik des HZDR, Prozesse mit komplexen Strömungen sind dort ein großer Forschungsschwerpunkt. Bisher haben sich die Wissenschaftler auf Strömungen konzentriert, die in der Energietechnik eine Rolle spielen. Um die Strömungsprozesse in Chemieanlagen unter industrienahen Bedingungen zu untersuchen, nimmt sich Markus Schubert vorerst einen ganz bestimmten Anlagentyp, einen Blasensäulenreaktor, vor. Darin wird Gas in einer Flüssigkeit möglichst gleichmäßig verteilt und zur Reaktion gebracht. Ein echter „Heimvorteil“ für den jungen Forscher sind die vielen Messverfahren, über die das Institut verfügt, um Strömungen sichtbar zu machen. Für sein Projekt will er die Röntgenstrahlung aus dem schnellen Tomographen nutzen. „Letztendlich geht es darum, Beiträge zu liefern, wie man solche Prozesse und Anlagen bestmöglich auslegen und damit den Umsatz der gewünschten Produkte verbessern kann, um Ressourcen und Energie zu sparen“, sagt er. ─

KONTAKT

— Institut für Fluiddynamik im HZDR
Dr. Markus Schubert
m.schubert@hzdr.de

➤ <http://erc.europa.eu/starting-grants>

// Shengqiang Zhou ist Leiter einer Helmholtz-Nachwuchsgruppe im HZDR, die neue magnetische Halbleiter-Materialien für die Informationstechnologie von morgen erforscht. Seine Leistungen auf diesem Gebiet wurden vor kurzem mit dem Preis der internationalen Fachkonferenz IBMM 2012 gewürdigt.

INTERNATIONALER PREIS FÜR SHENGQIANG ZHOU

Text . Christine Bohnet

Der 36 Jahre alte Physiker Shengqiang Zhou lebt seit dem Jahr 2005 in Dresden, wo er zunächst als Doktorand der TU Dresden am HZDR arbeitete. Damals beschäftigte er sich damit, den Halbleiter Zinkoxid mit neuen Eigenschaften auszustatten, indem er magnetische Ionen implantierte. Zu dieser Zeit galt Zinkoxid als möglicher Spieler für neuartige Speicher in der Computertechnologie. Zhou fand jedoch heraus, dass es schwieriger ist als erwartet, Zinkoxid gezielt mit magnetischen Eigenschaften zu funktionalisieren. Seine Veröffentlichung dazu in der Fachzeitschrift „Applied Physics Letters“ aus dem Jahre 2006 wurde entsprechend häufig zitiert.

Im Anschluss an seine Promotion führte Zhou als Postdoktorand im Helmholtz-Zentrum seine Forschungen zu den magnetischen Eigenschaften von Materialien fort, konzentrierte sich aber auf gängige Halbleiter. „Mein Traum ist, diese in der heutigen Mikro- und Nanoelektronik verwendeten Materialien so weiterzuentwickeln, dass sie zukünftig als magnetische Halbleiter einer neuen Generation von Speichermaterialien angehören“, sagt Zhou.

Nach einer einjährigen Unterbrechung, die ihn als Forschungsprofessor an die Universität Peking in China führte, leitet Shengqiang Zhou seit Februar 2011 die von der Helmholtz-

Gemeinschaft geförderte Nachwuchsgruppe „Ionenstrahl-modifizierte funktionelle Materialien für die Spintronik und Photovoltaik“ im HZDR. Neben den vielfältigen Experimentier- und Analysemöglichkeiten im Rossendorfer Ionenstrahlzentrum kann er mit seiner Nachwuchsgruppe auch auf hervorragende Untersuchungsbedingungen an der „ROBL Beamline“ am Europäischen Synchrotron in Grenoble zählen.

In China ausgezeichnet

Der chinesische Nachwuchswissenschaftler Shengqiang Zhou nahm im chinesischen Qingdao auf der internationalen IBMM-Konferenz im September 2012 den Konferenz-Preis entgegen. Die Tagung fand erstmalig in China statt. Der mit 1.000 Dollar dotierte Preis wird alle zwei Jahre an einen herausragenden Nachwuchswissenschaftler verliehen, der auf dem Gebiet der Ionenstrahl-Modifikation von Materialien arbeitet. Damit werden Zhou's Arbeiten zum Einsatz von Ionenstrahlen für magnetische Halbleiter-Materialien sowie seine sorgfältigen Analysen der zugrundeliegenden physikalischen Mechanismen ausgezeichnet. Auf der IBMM-Konferenz waren rund 300 Teilnehmer zugegen aus den Bereichen Materialwissenschaften und Physik, die sich für die Wechselwirkung von Ionen mit Festkörpern und deren technologischen Anwendungen interessieren. —

AUSGEZEICHNET: Preisträger Shengqiang Zhou (links) leitet die erste Helmholtz-Nachwuchsgruppe am HZDR (v.l.n.r.: W. Luo, Y. Wang, D. Bürger, S. Prucnal und K. Gao).



PUBLIKATIONEN:

Dr. Zhou kann auf eine erstaunlich lange Reihe sehr gut publizierter wissenschaftlicher Veröffentlichungen verweisen, wie die oben erwähnte Arbeit, die in „Applied Physics Letters“ erschienen ist (DOI: 10.1063/1.3048076). Zwei weitere Veröffentlichungen wurden ebenfalls häufig zitiert:

- (1) „Crystallographically oriented Co and Ni nanocrystals inside ZnO formed by ion implantation and postannealing“, in Physical Review B, Bd. 77/3 (DOI: 10.1103/PhysRevB.77.035209)
- (2) „Fe implanted ferromagnetic ZnO“, in Applied Physics Letters, Bd. 88/5 (DOI: 10.1063/1.2169912)

KONTAKT

_Helmholtz-Nachwuchsgruppe im HZDR: Ionenstrahl-modifizierte funktionelle Materialien für die Spintronik und Photovoltaik
Dr. Shengqiang Zhou
s.zhou@hzdr.de

WISSENSWERT – NACHRICHTEN RUND UM DAS HZDR

„GREEN CAMPUS“ ROSSENDORF

Text . Peter Joehnk

Schon 1972 stellte der „Club of Rome“ zur Diskussion, dass die Grenzen des Wachstums erreicht seien und es darum gehen müsse, Ressourcen für die folgenden Generationen zu bewahren. Die Bundesregierung hat im vergangenen Jahr mit dem Deutschen Nachhaltigkeitskodex Leitlinien für eine Selbstverpflichtung von Firmen und Institutionen auf die Tagesordnung gebracht und nun entsteht der Erwartungsdruck, dass sich zur Ressourcenschonung möglichst viele Organisationen (zumal die öffentlich geförderten) an diesem Nachhaltigkeitskodex orientieren. Der „Green Campus“ entwickelt sich dabei fast schon zur Marketingidee für Universitäten und Forschungszentren im Wettbewerb um die besten Ideen und Talente. Man glaubt, dass diese Ansätze aus den USA stammen – und was das Marketing betrifft, so stimmt diese Vermutung. Das Thema „Nachhaltigkeit“ aber ist wahrscheinlich eine sächsische Erfindung: Schon 1713 formulierte der Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz diese Idee in seinem Werk „Sylvicultura oeconomica“ mit dem Vorschlag, dass immer nur so viel Holz geschlagen werden solle, wie durch planmäßige Aufforstung wieder nachwachsen könne.

Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf nimmt, auch wenn der Slogan „Green Campus“ in unserem Sprachgebrauch neu ist, Nachhaltigkeitsaspekte seit über zehn Jahren programmatisch auf und setzt sie um. Der Masterplan für die Standortentwicklung ist ein Paradebeispiel dafür, wie man bauliche Konzentrierung, energetische Sanierung, Modernisierung der Wärmeversorgung, den Einsatz erneuerbarer Energien bzw. von Äquivalenten, Verkehrsberuhigung, eine Radfahrer freundliche Gestaltung des Umfeldes sowie die

Bewirtschaftung von Regenwasser und die Verbesserung der Abwasserentsorgung in einem Gesamtkonzept realisiert und dabei sowohl zur Einsparung von Betriebskosten als auch zu einer spürbaren Verbesserung der Umweltbelastung kommt.

Ganz nebenbei hat der Standort aber auch durch neue bauliche Qualitäten eindeutig an Attraktivität gewonnen und man vermag sich vorzustellen, was die noch ausstehenden Sanierungen weiter bewirken können. Dieses alles ist in einer Bilanz nachzulesen, die das HZDR als Broschüre im September veröffentlicht hat. Jetzt, nach zehn Jahren Masterplan Dresden-Rossendorf, müssen die kommenden Schritte für die nächsten Jahre definiert und der Masterplan fortgeschrieben werden. Dabei wird es etwa um weitere Optimierungsschritte bei den großen Kostenblöcken Wärme- und Elektroenergie sowie um „Gebrauchsanleitungen“ für einen sparsamen Gebäudebetrieb gehen. Aber es werden auch Fragen zu beantworten sein: Was für ein Standort wollen wir eigentlich sein? Was kann dieser Standort den Mitarbeitern und Besuchern – neben einer exzellenten wissenschaftlichen Ausstattung – an Attraktivität bieten? Die amerikanischen Marketingideen holen uns hier ein, denn das Streben nach den besten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wird auch die Fragen nach dem besten Arbeitsumfeld in der Forschung beantworten müssen. ─

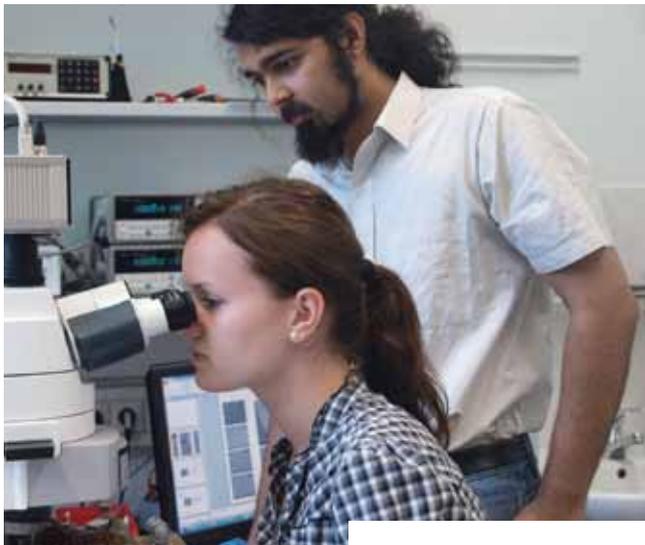
KONTAKT

— Kaufmännischer Direktor des HZDR
Prof. Peter Joehnk
p.joehnk@hzdr.de

AUF ZWEI RÄDERN: Zur Standortentwicklung gehört auch der Verkehrsaspekt „fahrradfreundlich“. Neben Unterstell-Einrichtungen und einem separaten Radfahrerein- und -ausgang gibt es eine Fahrradschleuse, die die Strecke auf der Bundesstraße zum Zentrum verkürzt.



Ein Sommer im Labor



Ewa Kowalska aus Polen, eine der zehn diesjährigen Sommerstudenten, forschte mit der Unterstützung von Rantej Bali im Bereich Grenzflächen-Magnetismus und untersuchte Materialien am Kerr-Mikroskop.

Von Juli bis September 2012 arbeiteten zehn Studierende aus Europa, Asien und Afrika am HZDR. Sie wurden von einer Jury ausgewählt und nahmen an einem neuen internationalen Studentenprogramm am Zentrum teil. Die Studierenden forschten an aktuellen Themen mit, die von Radiotherapeutika über Strahlenphysik bis hin zu Nanostrukturen und Materialforschung reichen und alle Forschungsbereiche des HZDR umfassen (Gesundheit, Materie und Energie).

Die Teilnehmer wurden mit einem Stipendium in Höhe von 250 Euro pro Woche unterstützt und wohnten kostenlos im neuen Gästehaus auf dem Standort. Zu dem Programm gehörten auch Vorlesungen von HZDR-Wissenschaftlern. Die Aufenthalte variierten zwischen fünf und zwölf Wochen. Am Ende des Praktikums stellte jeder Student seine Arbeit vor. Um über den Rand des eigenen Arbeitsbereiches hinaus zu schauen, konnten die Studierenden an Führungen teilnehmen und sich so einen Überblick über das Forschungsspektrum am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf verschaffen.

Um sich auch untereinander sowie Dresden und das Umland besser kennenzulernen, arrangierten die Organisatoren des Programms um Michael Bussmann, Kay Potzger und Annette Weißig für die Teilnehmer gemeinsame Freizeitaktivitäten.

In einer ersten Bilanz des neuen Programms sagt Kay Potzger: „Die Erfahrungen mit den Studenten sind sehr positiv. Da eine Jury aus vier Wissenschaftlern die Teilnehmer auswählt, empfinden diese ihre Wahl als Auszeichnung und arbeiten mit viel Engagement.“ Michael Bussmann fügt hinzu: „Wir sind mit dem Programm bisher sehr zufrieden und haben daher auch hohe Erwartungen für das nächste Mal.“

Terminvorschau

08.02.2013

Fortbildung für Lehrerinnen und Lehrer naturwissenschaftlicher Fächer zum Thema Ressourcentechnologie
HZDR und TU Bergakademie Freiberg

Wissenschaftliche Veranstaltungen

25. - 27.02.2013

525. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar
„Nuclear Physics Data for the Transmutation of Nuclear Waste“
Physikzentrum Bad Honnef

26.03.2013

6. HPLC-Workshop
Dresden (HZDR)

18. - 19.04.2013

International DYN3D Users' Meeting
Dresden (HZDR)

Strahlenschutzkurse an der HZDR-Forschungsstelle Leipzig

26.02.2013 | 12.03.2013

Aktualisierungskurs

04. - 08.03.2013

Fachkunde (Module GH, OG)

19. - 21.03.2013

Fachkunde (Module GG, FA)

Kunstaussstellungen im HZDR

Die Eröffnungen zu den unten aufgeführten Ausstellungen beginnen jeweils um 17 Uhr.

10.01.2013

Reiner Tischendorf

07.03.2013

Bernd Kalteich

02.05.2013

Andreas Kunath

Internationaler Mineralogen-Wettstreit

Freiberger Mineralogen gehören zu den Besten der Welt, wenn es darum geht, komplexe Mineralgemische zu analysieren. Das stellten Reinhard Kleeberg von der TU Bergakademie Freiberg und Robert Möckel vom Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie bei einem Wettbewerb der amerikanischen Clay Minerals Society unter Beweis. Dabei treten Wissenschaftler und kommerzielle Labors aus der ganzen Welt gegeneinander an mit der Aufgabe, aus drei künstlichen Mischungen die Art und Menge der enthaltenen Minerale zu ermitteln. Die Freiberger Wissenschaftler erreichten mit ihren Analysen im Mineralogischen Labor der TU Bergakademie den dritten Platz.



Dieses Kristallaggregat enthält u.a. Indium, Germanium und Silber – mineralische und metallhaltige Rohstoffe, deren effizientere Nutzung im Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie im Mittelpunkt steht.

Foto: Jürgen Jeibmann

Nach dem Mineralogen Robert C. Reynolds wird der Wettstreit Reynolds-Cup genannt. Reinhard Kleeberg ist dabei bereits ein „alter Hase“, schon seit 2002 nimmt er daran teil. „Die Proben enthielten diesmal bis zu 14 verschiedene Minerale, darunter auch bis zu sechs Tonminerale, die generell schwer zu identifizieren und quantifizieren sind“, so Kleeberg. Die Wissenschaftler konnten ihre Position in der Spitzengruppe gegen 57 Teilnehmer aus 25 Ländern verteidigen.

Bei dem Wettbewerb stellt der Sieger der letzten Meisterschaft drei Mineralmischungen zusammen und verschickt sie an die Mitarbeiter der freiwillig teilnehmenden Labore. Die Aufgabe ist es dann, Art und Menge der Minerale in diesen Proben exakt zu bestimmen. Der Reynolds-Cup dient aber nicht nur zum internationalen Vergleich, sondern liefert den Wissenschaftlern auch Hinweise für die Arbeit.

Der Leiter des Freiberger Mineralogischen Labors Reinhard Kleeberg und Robert Möckel setzten Röntgendiffraktometer, Rasterelektronenmikroskop und chemische Analyse ein. Damit gelang es ihnen, nahezu alle Minerale zu entdecken. Die Instrumente und Methoden werden sowohl für die Forschung an der TU Bergakademie als auch am Helmholtz-Institut Freiberg genutzt, das gemeinsam durch die Universität und das HZDR aufgebaut wird.

Indische Delegation

Am 9. Juli besuchten 18 Studenten und junge Wissenschaftler aus Indien das HZDR. Sie kamen direkt von der 62. Nobelpreisträger-Tagung in Lindau am Bodensee. Dort waren diesmal 27 Nobelpreisträger und 592 Nachwuchswissenschaftler aus 69 Ländern eingeladen, um eine ganze Woche lang miteinander zu diskutieren, zu lernen und neue Kontakte zu knüpfen. Schwerpunktthemen waren Teilchenphysik, Kosmologie sowie Energie- und Klimafragen.

Um der ausgewählten Gruppe – etwa 150 indische Nachwuchsforscher hatten sich um die Teilnahme an der begehrten Tagung beworben – Wissenschaft und Forschung in Deutschland näher zu bringen, hatte die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ein einwöchiges Programm mit Besuchen an Forschungseinrichtungen und Universitäten in Dresden, Berlin, Potsdam und Bonn sowie bei der DFG selbst organisiert.

Am HZDR besuchte die Gruppe das Ionenstrahlzentrum und das Hochfeld-Magnetlabor. Hochfeldlabor-Direktor Joachim Wosnitza waren die Gäste nicht unbekannt, er hatte sie als Mitglied der Auswahlkommission in Indien mit ausgesucht und ihre schriftlichen Bewerbungen bewertet. Die Delegation wurde von einer Journalistin der größten indischen Tageszeitung, der Times of India, begleitet.



Die indische Delegation der diesjährigen Nobelpreisträger-Tagung besuchte im HZDR das Ionenstrahlzentrum und das Hochfeld-Magnetlabor.

IMPRESSUM

Foto: Stephan Floss

HERAUSGEBER

Prof. Dr. Dr. h. c. Roland Sauerbrey und Prof. Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk,
Vorstand des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR)

ERSCHEINUNGSDATUM

November 2012
ISSN : 2194-5705 // Ausgabe 02.2012

REDAKTION

Dr. Christine Bohnet (verantwortlich), Jana Grämer (Bilder), Anja Weigl
Abteilung Kommunikation und Medien im HZDR

AUTOREN DIESER AUSGABE

Uta Bilow | Freie Wissenschaftsjournalistin, Dresden
Roland Knauer | Journalistenbüro Viering und Knauer, Lehnin
Matthias Beyer, Michael Busmann, Uwe Hampel, Peter Joehnk,
Stephan Winnerl | HZDR-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit haben wir zum Teil im Text nur die männliche Form der Personenbezeichnung verwendet. Mit den gewählten Formulierungen sind immer beide Geschlechter angesprochen.

BILDNACHWEIS

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HZDR, soweit nicht anders angegeben

GESTALTUNG

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

DRUCK

Druckerei Mißbach
www.missbach.de

AUFLAGE

3.000 // Gedruckt auf Inapa Infinity Silk, FSC zertifiziert

KONTAKT / BESTELLUNG (kostenfrei)

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
Kommunikation und Medien
Dr. Christine Bohnet
Postfach 50 01 19 | 01314 Dresden
Tel. 0351.260 2450
E-Mail c.bohnet@hzdr.de

NACHDRUCK

mit Quellenangabe gestattet. Belegexemplar erbeten.

„entdeckt“ erscheint zweimal jährlich; eine Ausgabe pro Jahr wird unter dem Titel „discovered“ auch auf Englisch herausgegeben. Alle Print-Ausgaben finden Sie als e-paper auch auf den Internetseiten des HZDR.

www.hzdr.de

Das HZDR auf Facebook:
<http://www.facebook.com/Helmholtz.Dresden>

**WISSEN
SCHAFFT
EXZELLENZ**



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

www.tu-dresden.de/exzellenz