

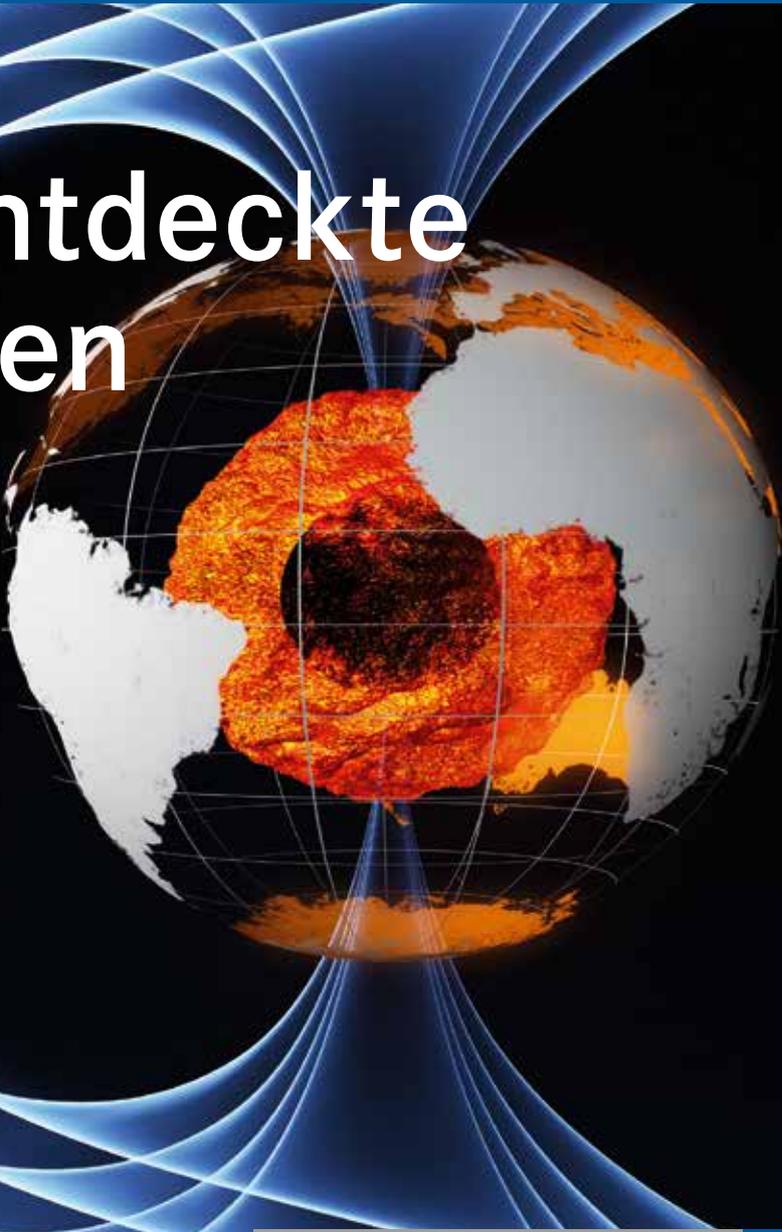
entdeckt

DAS FORSCHUNGSMAGAZIN AUS DEM HZDR

// AUSGABE 02.2016

hzdr.de

Unentdeckte Welten



LASERSCHUSS INS NICHTS

HZDR-Physiker erkunden das Vakuum

PER TERAHERTZ-QUELLE IN DIE GIGABIT-GESELLSCHAFT

Neues EU-Projekt will Datenfunk-Netze schneller machen

WINZLINGE IM SALZGESTEIN

Mikroorganismen in möglichen nuklearen Endlagern

HZDR

 **HELMHOLTZ**
ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF

TITELBILD: Das Magnetfeld der Erde hat viele Auswirkungen auf unser tägliches Leben. Auf welche Weise es entsteht, ist allerdings noch nicht geklärt. HZDR-Forscher machen sich auf die Suche nach einer Antwort. Bild: ESA/AOES Medialab



LIEBE LESERINNEN UND LESER,

„Wissenschaft kennt keine Grenzen“ – seit über einem Jahr ist dieser Satz an der Einfahrt zu unserem Dresdner Campus zu lesen. Er spiegelt einerseits die Realität an allen wissenschaftlichen Einrichtungen wider. Von talentierten Doktoranden über aufstrebende Postdoktoranden bis zu gestandenen Professoren – exzellente Forschungsmöglichkeiten ziehen die Besten aus der gesamten Welt an. Und mit ihnen kommen neuartige Ideen und kreative Ansätze. Andererseits gilt der Satz „Wissenschaft kennt keine Grenzen“ auch im übertragenen Sinne. Denn es ist die Neugier vieler einzelner Menschen, die scheinbar unüberwindbare Grenzen des Denkens und der Erkenntnis immer wieder verschoben hat.

Die aktuelle Ausgabe unseres Forschungsmagazins „entdeckt“ beschäftigt sich mit solchen unentdeckten Welten, die Wissenschaftler betreten, wenn sie ihren Gedanken freien Lauf lassen. Dadurch entstehen Experimente der Superlative. Zum Beispiel zum Erdmagnetfeld, dessen genauer Ursprung immer noch unbekannt ist. In unserem Zukunftsprojekt DRESDYN wollen die Forscher um Frank Stefani dieses Rätsel mit flüssigem Natrium lösen. Der Versuchsaufbau für den wohl ersten

Präzessionsdynamo weltweit ist aber auch eine Herausforderung an unsere Baufachleute, an Planer, Konstrukteure und die ausführenden Industrieunternehmen. Allein das Fundament, das mit sieben Stahlbetonsäulen 22 Meter tief im Granituntergrund verankert ist, verdeutlicht die Dimensionen.

„Ein Labor der Extreme“ ist auch unser Hochfeld-Magnetlabor Dresden. Nur dank der exzellenten Zusammenarbeit zwischen dem Physiker Thomas Herrmannsdörfer und seinem Team, der Baufirma und den technischen Abteilungen des HZDR gehört es heute zur Riege der führenden Labore auf seinem Gebiet. Welche tiefgreifende Forschung hier möglich ist, erläutert der Artikel „Geschärfter Blick dank ultrakurzer Pulse“ (S. 11).

Derzeit bauen wir gemeinsam mit zahlreichen internationalen Partnern am Röntgenlaser European XFEL die „Helmholtz International Beamline for Extreme Fields“ (HIBEF) auf. Auch dieses Labor tritt an, um neue Dimensionen zu eröffnen. So wollen die Physiker Thomas Cowan, Roland Sauerbrey und Ulrich Schramm hier das Vakuum studieren, indem sie mit einem Laser auf das pure Nichts schießen (S. 20). Das Experiment könnte hypothetische, bislang jedoch unentdeckte Teilchen aufspüren. Welche Hürden bis zu den ersten Versuchen noch zu nehmen sind, beschreibt der Beitrag „Röntgen im Ausnahmezustand“ (S. 16).

Mit dieser Ausgabe von „entdeckt“ stellen wir Ihnen an erster Stelle visionäre Forscherideen vor. Für die aufwendigen Projekte und neuartigen Experimente sind aber immer auch kluge Menschen im Hintergrund nötig, die an der Umsetzung der Ideen in die Realität mitwirken. Solch ein „Ermöglicher“ ist sicherlich Peter Joehnk, der als Kaufmännischer Direktor des HZDR bereits im Jahr 2002 einen Masterplan für den Dresdner Campus erarbeitet hat – seither werden alle Maßnahmen nach ökonomischen, ökologischen und ästhetischen Kriterien beurteilt. Das Ziel ist ein Areal, das einen attraktiven Rahmen und herausragende Arbeitsmöglichkeiten für Forschung auf Weltklasse-Niveau bietet.

Auf Ihre Kommentare und Anregungen freue ich mich und wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Christine Bohnet
Abteilung Kommunikation und Medien im HZDR

INHALT

TITEL

Unentdeckte Welten

- 04 Geodynamo, Sternentstehung und bessere Batterien
- 08 Aus Dresdner Tiefen ins Innere der Sterne
- 11 Geschärfter Blick dank ultrakurzer Pulse
- 14 Ein Labor der Extreme
- 16 Röntgen im Ausnahmezustand
- 20 Laserschuss ins Nichts
- 22 Getrennt marschieren und vereint schlagen
- 25 Das tägliche Rennen gegen die Zeit
- 27 „Wir haben die Weichen richtig gestellt“

FORSCHUNG

- 29 Per Terahertz-Quelle in die Gigabit-Gesellschaft

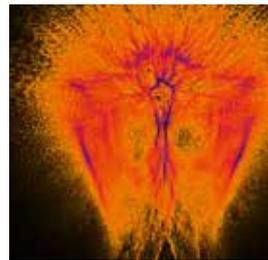
PORTRÄT

- 31 Vom Labortisch zum Patientenbett
- 32 Winzlinge im Salzgestein
- 34 Die Grenzgängerin
- 35 Schon fast ein halbes Dutzend – Christian Golnik mit Behnken-Berger-Preis ausgezeichnet
- 36 Internationaler Nachwuchspreis für Hochleistungsrechnen geht an Axel Hübl
- 36 Tobis Vogt erhält Helmholtz-Doktorandenpreis im Forschungsbereich Energie

WISSENSWERT

- 37 HZDR-Azubi bester Physikkaborant in Deutschland
- 37 DeltaX feiert 5-jähriges Jubiläum
- 37 Wissenschaft unter freiem Himmel
- 38 HIF bezieht neuen Standort
- 38 Terminvorschau

- 39 Impressum



// An der neuen Forschungsanlage DRESDYN planen Wissenschaftler vielfältige Experimente mit Flüssigmetallen.

GEODYNAMO, STERNENTSTEHUNG UND BESSERE BATTERIEN

_TEXT . Frank Grotelüsch



DYNAMISCH: Frank Stefani will dem Magnetfeld der Erde, der Entstehung der Sterne und Prozessen in neuartigen Batterien auf den Grund gehen.

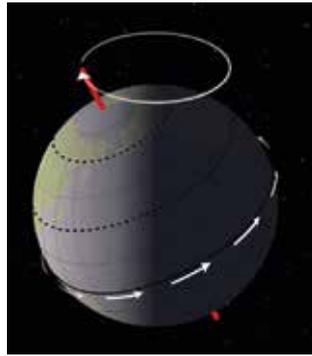
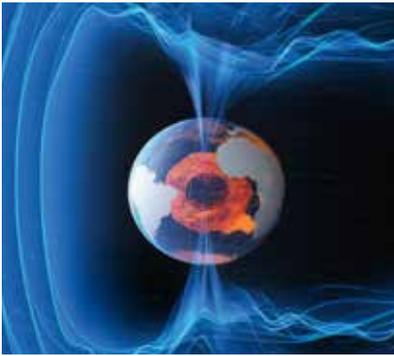
Foto: Rainer Weisflog

Frank Stefani steht vor einem nagelneuen Gebäude im hintersten Winkel des HZDR-Geländes. Als er das wuchtige Tor öffnet, bietet sich ein überraschender Anblick: Mitten in der geräumigen Halle steht ein weiterer Bau, fast so groß wie eine Villa. Das „Haus im Haus“ ist ein Sicherheitscontainment für ein spektakuläres Experiment, das 2018 starten soll. Dabei wird eine wuchtige, mit acht Tonnen flüssigem Natrium gefüllte Stahltrommel um ihre eigene Achse rotieren, während sie gleichzeitig ein riesiger Teller dreht. Der Versuchsaufbau soll helfen, eine spannende Frage der Geoforschung zu klären: Könnte es sein, dass die Umpolung des Erdmagnetfelds, die

in der Geschichte unseres Planeten sporadisch auftritt, durch bestimmte Bewegungen der Erde bei ihrem Lauf um die Sonne hervorgerufen wird?

Das Experiment ist eines von mehreren, das die Dresdner Wissenschaftler im HZDR-Zukunftsprojekt DRESDYN (DREsden Sodium facility for DYNamo and thermohydraulic studies) durchführen wollen. Mit weiteren Versuchsaufbauten wollen die Forscher um Frank Stefani außerdem herausfinden, wie sich Sterne aus gewaltigen Staubscheiben bilden können und welche Prozesse in neuartigen, leistungsstarken Batterien ablaufen. Eines ist dabei allen Experimenten gemein: Sie nutzen flüssige Metalle, insbesondere flüssiges Natrium.

Die Erde besitzt ein Magnetfeld, weil sie in ihrem Inneren wie ein Dynamo funktioniert. Das Zentrum unseres Planeten besteht aus einem 2.500 Kilometer großen Kern aus festem Eisen, umspült von einer Schicht aus flüssigem Eisen. „Dessen Strömung induziert einen elektrischen Strom, der →



MYSTERIÖS: Das Magnetfeld schützt vor dem Sonnenwind. Wie genau es entsteht, ist bislang aber noch unbekannt. Die Präzession der Erdachse könnte dabei eine wichtige Rolle spielen.
Bilder: ESA/ATG Medialab (links) // Robert Simmon/ NASA GSFC (rechts)

wiederum das Magnetfeld hervorruft“, erklärt Frank Stefani. „Wir Fachleute sprechen von einem Geodynamo.“ Wie er im Detail funktioniert, ist allerdings noch unklar. Der Grund: Die Eisenwirbel im Erdinneren verhalten sich überaus chaotisch. Laufend kommt es zu Turbulenzen, die das Erdmagnetfeld permanent schwanken lassen. Manchmal – im Mittel alle 250.000 Jahre – polt sich das Magnetfeld sogar um.

Manche Theorien gehen davon aus, dass der Geodynamo maßgeblich von der sogenannten Präzession beeinflusst wird: Die Erdachse ist gegenwärtig um etwa 23 Grad gegenüber einer Achse, die senkrecht auf der Bahnebene steht, geneigt. Mit einer Periode von etwa 26.000 Jahren taumelt sie um diese Senkrechte herum. Diese Taumelbewegung im All wird als mögliche Energiequelle für den Geodynamo diskutiert. Gemeinsam mit der sich periodisch ändernden Achsenneigung und der ebenfalls variierenden Elliptizität der Erdbahn könnte sie außerdem Umpolungen des Erdmagnetfelds auslösen.

Stahltrommel mit Drehwurm

Um derlei Hypothesen zu prüfen, bauen Stefani und seine Kollegen in Dresden ein weltweit einzigartiges Experiment auf: einen Stahlzylinder mit einem Durchmesser von zwei Metern,

Bei den Experimenten geht es den Forschern vor allem um folgende Fragen: „Können wir einen Dynamoeffekt hervorrufen und werden wir Umpolungen beobachten“, so Stefani. Sollten sich derlei Phänomene tatsächlich zeigen, wären jene Theorien gestützt, die der Präzession einen wichtigen Einfluss auf das Erdmagnetfeld zuschreiben.

Allerdings sind beim Experiment die Anforderungen an Technik und Material extrem: Aufgrund der Überlagerung der beiden Drehbewegungen entsteht eine enorme Unwucht, die mit gewaltigen Kräften an den Komponenten zieht und zerrt – das Kreiselmoment wird Werte bis zu acht Millionen Newtonmeter erreichen. Zwecks Veranschaulichung streckt Stefani beide Arme aus: „Das ist so, als würde der rechte Arm mit 400 Tonnen heraufgezogen und der linke mit 400 Tonnen hinabgedrückt.“

Dadurch wirken gigantische Kräfte auf den Boden. Um sie aufzufangen, haben die Experten ein spezielles Fundament konstruiert. Es ist anderthalb Meter dick, abgekoppelt vom Rest der Halle und ruht auf sieben Säulen, die 22 Meter in den Grund reichen und dort in Granitgestein verankert sind. „Dennoch dürfte es hier gewaltig vibrieren, wenn die Versuche laufen“, schätzt Stefani.

Von der Astrophysik im Labor bis zu Batterien für die Energiewende

gefüllt mit acht Tonnen Natrium. Das an sich feste Metall wird auf 130 Grad erhitzt und ist dann flüssig. „Flüssiges Natrium leitet Strom sehr gut und eignet sich deshalb hervorragend für unsere Versuche“, erläutert Stefani. Der Zylinder ist drehbar und kann zehnmal pro Sekunde um seine Längsachse rotieren. Zudem ist er auf einem großen, massiven Teller montiert, der sich einmal pro Sekunde um sich selbst drehen kann. Als Resultat erfährt das flüssige Natrium im Zylinder einen doppelten „Drehwurm“ – eine Präzession vergleichbar mit der Kreisbewegung der Erde.

Eine Tapete aus Edelstahl

Er öffnet die Tür zum Experiment und zeigt auf die Wände: „Aus Sicherheitsgründen haben wir den Raum komplett mit Edelstahl ausgekleidet“, sagt Stefani. „Sollte ein Natriumstrahl durch ein Leck aus der Anlage schießen, würde es heftige chemische Reaktionen geben, wenn er auf Beton träfe.“ Hingegen ist die „Edelstahl-Tapete“ ausreichend robust gegen das reaktive Flüssigmetall. →

Würde tatsächlich Natrium durch ein Leck auslaufen, geriete das flüssige Metall durch den Kontakt mit Luftsauerstoff umgehend in Brand. Dann träte eine Löschanlage der besonderen Art in Aktion: „Sie funktioniert mit 15 Tonnen flüssigem Argon und kann das Containment innerhalb von zwei Minuten mit dem Edelgas fluten.“ Dabei sinkt schlagartig die Temperatur, das ausgetretene Natrium erstarrt. Außerdem verdrängt das Argon den Luftsauerstoff, der Brand erstickt. „Im Januar 2016 haben wir die Löschanlage erfolgreich getestet“, erzählt Stefani. „Ich denke, dass wir jeden Störfall beherrschen können.“

Dann stapft der Physiker eine Metalltreppe hoch, betritt den noch unfertigen Kontrollraum und zeigt auf ein Fenster, das einen Blick auf die Anlage bietet. Die Scheibe besteht aus feuertfestem Panzerglas und soll die Forscher vor allen Eventualitäten schützen. „Vor sieben Jahren haben wir mit den Planungen angefangen“, erzählt Frank Stefani. „Wir arbeiten dafür eng mit der HZDR-Forschungstechnik sowie der TU Dresden zusammen. Als wir dann im Laufe der Zeit die Details berechnet haben, wurde uns klar, welche enormen Kräfte auf so eine Maschine wirken würden. In vielerlei Hinsicht tanzen wir am Rande des technisch Machbaren.“

Das bezieht sich unter anderem auf die Lager, mit deren Hilfe Zylinder und Drehteller in Rotation versetzt werden – alles Spezialanfertigungen, die die Hersteller enorm fordern. Bis

MASSIV: Während der Dynamoexperimente wirken gigantische Kräfte auf die Anlage. Ein starkes Fundament sorgt für die nötige Stabilität. Foto: Oliver Killig

Ende 2017 sollen die Komponenten fertig sein und in der Halle montiert werden. Danach ist eine einjährige Testphase geplant, bei der die Anlage mit Wasser statt mit Natrium betrieben wird. Die Tests sollen zeigen, ob die Mechanik wie erwartet funktioniert. Geht alles glatt, wollen die Forscher den Zylinder ab 2018 mit flüssigem Natrium füllen. „Ich bin ziemlich aufgeregt“, gibt Stefani zu. „Es wird spannend sein, zu sehen, in welchen Parameterbereichen des Experiments der Dynamoeffekt einsetzt.“

Rotierende Zylinder unter Starkstrom

Doch DRESDYN hat noch mehr zu bieten: Direkt neben dem Bunker für das Präzessionsexperiment bereiten die Techniker einen zweiten Versuchsaufbau vor – ein Metallgestell mit einem insgesamt drei Meter hohen Zylinder. Genau genommen handelt es sich um ein Ensemble aus zwei ineinander geschachtelten Röhren: Der innere Zylinder besitzt einen Durchmesser von 40, der äußere von 80 Zentimetern. Der innere kann mit einer Geschwindigkeit von bis zu 20 Umdrehungen pro Sekunde rotieren, der äußere dreht sich bis zu sechsmal pro Sekunde. Zwischen den Zylindern wird eine Tonne flüssiges Natrium fließen. Wenn beide Zylinder rotieren, wird sich eine kreisförmige Strömung ausbilden – innen schneller als außen, aber im Großen und Ganzen stabil.

Dann werden die Forscher elektrische Ströme von einigen tausend Ampere durch diverse Spulen und Leiter schicken und dadurch komplexe Magnetfelder erzeugen. Die entscheidende Frage: Wie wirken sie sich auf das Natrium in der Anlage aus, unter welchen Bedingungen wird die an sich gleichmäßige Strömung instabil? Die Fachleute bezeichnen das Phänomen als Magneto-Rotationsinstabilität (MRI). →





SPEICHER: Auch für die Sicherheit und Stabilität einer neuartigen Flüssigmetall-Batterie, die hier ein Physiker für die Untersuchungen vorbereitet, spielen Strömungen eine wichtige Rolle. Foto: Oliver Killig

Der Hintersinn ist überraschend: Die Motivation liegt in der Astrophysik. „Die MRI scheint wichtig, um die Bildung bestimmter Strukturen im Kosmos zu verstehen“, sagt Frank Stefani. „Sie bietet eine Erklärung dafür, wie Sterne und Planeten aus Akkretionsscheiben entstehen.“ Akkretionsscheiben sind riesige, flache Ansammlungen aus Gas, die in ihrem Zentrum so viel Materie horten, dass sich ein Planet oder ein Stern bilden und anschließend weiterwachsen kann.

Das Problem: „Eigentlich müssten Akkretionsscheiben sehr stabil sein“, erläutert Stefani. „Die Materie müsste stabil um das Zentrum kreisen und hätte gar keine Chance, dort hineinzufallen.“ Dafür scheint erst ein zusätzlicher Mechanismus zu sorgen: Demnach erzeugt das rotierende, zum Teil elektrisch leitfähige Gas in den Scheiben ein Magnetfeld. Dieses Feld wiederum interagiert mit den Gasteilchen, bringt sie bildlich gesprochen aus dem Tritt und kickt sie in Richtung Zentrum. „Diese Magneto-Rotationsinstabilität ist der derzeit beste Erklärungsversuch“, meint Stefani. Experimente, die das Phänomen im Labor nachvollziehen können, würden die These stützen.

Batterien für die Energiewende

Vorläuferexperimente am HZDR-Versuchsaufbau PROMISE (Potsdam Rossendorf Magnetic InStability Experiment) haben bereits zwei spezielle Versionen der MRI nachgewiesen. Die Anlage läuft allerdings lediglich mit sechs Litern Gallium-Indium-Zinn – einem Metallgemisch, das bereits bei Raumtemperatur flüssig ist. Weitere Versionen des Phänomens wollen die Dresdner Forscher in ein paar Jahren mit dem neuen Experiment in der DRESDYN-Halle untersuchen. Es funktioniert mit einer deutlich größeren Menge an Flüssigmetall und erlaubt höhere Drehgeschwindigkeiten der Zylinder – wodurch die

Physiker einen größeren Parameterbereich erkunden können.

Doch DRESDYN wird noch weitere Versuchsaufbauten beherbergen. Diese arbeiten ebenfalls mit Flüssigmetallen und widmen sich einem Feld mit konkretem Anwendungspotential – der Batterieforschung. Batterien spielen eine zentrale Rolle bei der Energiewende, etwa wenn es gilt, den Strom aus Solarzellen und Windkraftanlagen effizient zu speichern. Vielversprechende Kandidaten für solche Pufferspeicher sind Batterien, die auf Flüssigmetallen basieren. „Solche Batterien bestehen aus drei Schichten“, erläutert Frank

Stefani. „Oben schwimmt flüssiges Natrium, in der Mitte befindet sich eine dünne Schicht aus flüssigem Salz und unten ist flüssiges Wismut oder Blei.“

Damit diese Batterien wirtschaftlich arbeiten, brauchen sie eine gewisse Größe. Bei großen Batterien aber fließen unweigerlich hohe elektrische Ströme von einigen tausend Ampere. „Diese Ströme erzeugen Magnetfelder“, erläutert Stefani. „Und diese Felder können zu Instabilitäten führen, die die Batterie womöglich stören.“ Im Extremfall können diese Instabilitäten die Flüssigkeiten in der Batterie regelrecht durchquirlen und damit einen Kurzschluss verursachen – mit der Folge, dass die gespeicherte Energie futsch ist oder die Batterie sogar kaputtgeht. „Solche Prozesse werden wir mit unseren Anlagen im Detail untersuchen“, sagt Stefani. „Damit können wir wichtige Grundlagen schaffen, um künftig große und damit preiswertere Flüssigmetall-Batterien zu bauen.“

PUBLIKATIONEN:

F. Stefani u. a.: Towards a precession driven dynamo experiment, in *Magneto hydrodynamics*, 2015

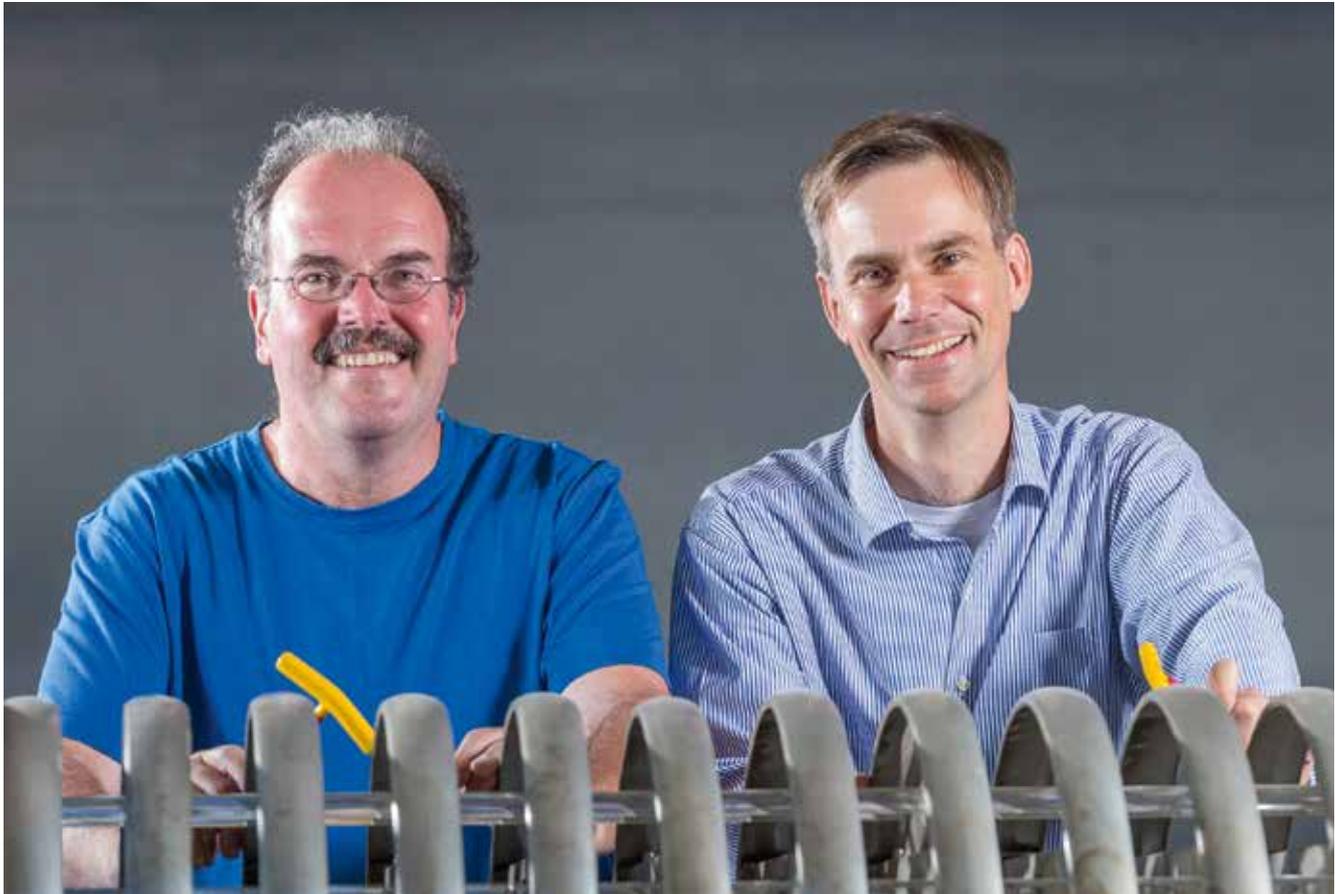
M. Seilmayer, V. Galindo, G. Gerbeth, T. Gundrum, F. Stefani, M. Gellert, G. Rüdiger, M. Schultz, R. Hollerbach: Experimental evidence for nonaxisymmetric magnetorotational instability in a rotating liquid metal exposed to an azimuthal magnetic field, in *Physical Review Letters*, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.024505)

F. Stefani u. a.: Magneto hydrodynamic effects in liquid metal batteries, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016 (DOI: 10.1088/1757-899X/143/1/012024) —

KONTAKT

— Institut für Fluidodynamik am HZDR
Dr. Frank Stefani
f.stefani@hzdr.de

// In Dresden wird derzeit der einzige Untertage-Beschleuniger Deutschlands aufgebaut. Forscher vom HZDR und der TU Dresden wollen dort gemeinsam Prozesse untersuchen, die in Sternen ablaufen.



AUS DRESDNER TIEFEN INS INNERE DER STERNE

TEXT Uta Bilow

Der Plauensche Grund am südwestlichen Stadtrand von Dresden ist ein Ort mit vielerlei Vorzügen. August der Starke nutzte das romantische Ambiente für ein großes Fest anlässlich der Hochzeit seines Sohnes im Jahr 1719. Die Felsenkeller-Brauerei wiederum, die Mitte des 19. Jahrhunderts dort ihren Standort gründete, schätzte den kühlen Grund des tief eingeschnittenen Tals. In die hohen Felswände trieb man bis zu 66 Meter lange Stollen und nutzte diese als Eiskeller. In den langen Gängen lagerten große Eisblöcke, mit denen – vor der Erfindung des Kühl-

schranks – das frisch gebraute Bier konserviert wurde. Und nun schickt sich die Wissenschaft an, hier ein einzigartiges Labor zu installieren: Forscher vom HZDR und der TU Dresden sind dabei, eine Experimentierstätte aufzubauen, in der sie Vorgänge untersuchen wollen, die im Innern von Sternen ablaufen. Das im Bau befindliche Felsenkeller-Beschleunigerlabor holt quasi den Himmel unter Tage.

Sterne wie die Sonne und auch die unzähligen hellen Punkte am dunklen Nachthimmel sind gewaltige Kraftwerke. Sie gewinnen Energie, indem sie in ihrem Innern bei unvorstellbarer Hitze Atomkerne miteinander verschmelzen. Die Sonne beispielsweise ist in ihrem Kern bis zu 16 Millionen Grad Celsius heiß und fusioniert Wasserstoff zu Helium. Massereichere und größere Sterne wiederum arbeiten mit anderem Brennstoff und erzeugen schwerere Elemente bis hin zum Eisen. Mit Ausnahme von Wasserstoff, Helium und

VISIONÄR: Die Physiker Kai Zuber (links) und Daniel Bemmerer (rechts) wollen die alten Stollen im Felsenkeller mit neuem Leben füllen.
Foto: Rainer Weisflog



Lithium, die schon kurz nach dem Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren entstanden, liefert die stellare Nukleosynthese – so der Fachbegriff für diese Vorgänge – somit einen Großteil des Inventars unseres Universums. Wenngleich diese Prozesse im Prinzip verstanden sind, gibt es für die Wissenschaftler noch

Ein Beschleuniger im Stollen

Möglich werden diese Untersuchungen durch das neue Labor in zwei Gängen des ehemaligen Eislagers der Felsenkeller-Brauerei. Der Kern ist ein Teilchenbeschleuniger. Denn, so er-



UNTERIRDISCHE STERNE: Im Dresdner Süden bietet der Felsenkeller Forschern optimale Bedingungen, um Prozesse zu untersuchen, die sich im Inneren von Sternen abspielen. Bilder: SchiDD (CC-BY-SA 4.0) (links) // ESA/Hubble & NASA Acknowledgement: J. Schmidt (rechts)

viel zu untersuchen, wie HZDR-Physiker Daniel Bemmerer weiß: „Jedes Element im Universum hat seine charakteristische Häufigkeit. Und wir können diese Verteilung nicht schlüssig erklären. Das fängt schon beim Verhältnis der Häufigkeiten von Kohlenstoff und Sauerstoff an.“

Denn die Sterne erzeugen die verschiedenen chemischen Elemente in einem äußerst komplexen Netzwerk, in das viele Atomkerne und mögliche Reaktionswege eingebunden sind. Prallen zwei Atomkerne zusammen, verschmelzen sie nur selten miteinander. Der sogenannte Wirkungsquerschnitt der Reaktion ist ein Maß dafür, wie häufig eine Fusion zustande kommt. Und diese Reaktionsraten sind gerade bei den Temperaturen, wie sie im Sternenninneren herrschen, oftmals nur sehr ungenau bestimmt. Ohne die exakten Parameter aber ist es schwierig, die Entwicklung von Sternen zu modellieren und so nachzuvollziehen, wie die Elemente entstanden sind und weshalb sie genau diese Häufigkeitsverteilung aufweisen. Deshalb wollen Daniel Bemmerer und der Kernphysiker Kai Zuber von der TU Dresden gemeinsam mit ihren Kollegen im neuen Felsenkeller-Labor entsprechende Experimente durchführen und so dazu beitragen, die Datenbasis für die nukleare Astrophysik zu erweitern und das Verständnis der Vorgänge in Sternen auf eine solide experimentelle Grundlage zu stellen.

läutert Bemmerer: „Die ersten fundamentalen Stadien, die in allen Sternen ablaufen, lassen sich mit einem Beschleuniger nachstellen. Wir können diese Reaktionen, die nach dem Urknall und auch heute noch in Sternen vorgehen, im Labor kopieren. Und dabei lassen sich ganz präzise die Reaktionsraten bestimmen.“ Die Anlage ist so konzipiert, dass beschleunigte Teilchen auf ein ruhendes Ziel treffen. So können die Physiker zum Beispiel einen Protonenstrahl auf ein Stickstoff-Target lenken und mit einem Detektor die entstehenden Produkte messen. Die Verschmelzung von Protonen mit Stickstoffkernen ist eine der zentralen Fusionsreaktionen im Zyklus des Wasserstoffbrennens. Mit Hilfe solcher Versuche kann man den Wirkungsquerschnitt bestimmen und nach und nach das komplexe System der nuklearen Reaktionen entwirren.

Eine Herausforderung besteht unter anderem darin, dass die Reaktionsraten bei nuklearen Fusionsreaktionen sehr klein sind. Über einen langen Zeitraum entstehen nur wenige Messsignale. Gleichzeitig gibt es jedoch jede Menge Signale, die von anderen Teilchen hervorgerufen werden, beispielsweise von der kosmischen Höhenstrahlung, die aus dem All auf die Erde trifft und überall auf der Erdoberfläche nachweisbar ist. Deshalb muss man die Versuchsanordnung vor äußeren Einflüssen abschirmen. Der Stollen des ehemaligen Eislagers ist dafür der perfekte Ort: Die annähernd 50 Meter Gestein, die sich über dem Gang auftürmen, bewirken eine Schutzfunktion. Die kosmische Strahlung wird durch die Felsendecke extrem abgeschirmt und ist im Innern des Stollens 40-mal schwächer. Dies haben bereits Vorarbeiten gezeigt, bei denen die Gänge mit einem sogenannten Myonen-Teleskop vermessen wurden.

Bislang sind solche Beschleuniger-Experimente einzig in Italien am LUNA-Experiment im Gran-Sasso-Labor möglich. Dieser weltweit einmalige Beschleuniger steht tief im Bergmassiv

→

08

09

und ist von einer 1,5 Kilometer dicken Felsschicht bedeckt. Dort werden vorrangig Kernreaktionen untersucht, die kurz nach dem Urknall stattfanden oder in der Sonne ablaufen. Der Felsenkeller-Beschleuniger ist stärker als LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics): Er kann die Atomkerne auf zehnfach höhere Energien, das sind bis zu fünf Mega-elektronenvolt, bringen. Damit öffnet sich auch ein Fenster zu Prozessen, die auf der Zeitskala der Entwicklung unseres Universums etwas später erfolgten und bei denen Helium oder Kohlenstoff der Brennstoff sind. Dazu zählt beispielsweise die Verschmelzung von einem Kohlenstoff- und einem Heliumkern zu einem Sauerstoffkern – eine Reaktion, die eine Schlüsselstellung bei der Modellierung von Sternen einnimmt.

Störende Einflüsse ausschließen

Der Beschleuniger vom Bautyp Pelletron steht derzeit noch am HZDR. Das sechs Meter lange und zehn Tonnen schwere Gerät, das einem Tank ähnlich sieht, war zuvor in England für die Arzneimittelentwicklung in Betrieb und wird nun mit einer zusätzlichen Ionenquelle für Wasserstoff- und Heliumkerne sowie einer neuen Steuerelektronik für seinen künftigen Einsatz ausgerüstet. Parallel dazu bereiten die Forscher die Detektorsysteme vor. Im Felsenkeller-Labor werden hochempfindliche Germaniumdetektoren zum Einsatz kommen, um die Reaktionsprodukte zu vermessen. Zusätzlich wird ein sogenanntes Veto-System eingebaut. Diese Detektoren erkennen Signale, die von störenden Einflüssen herrühren – dem sogenannten Untergrund, der von der Messung quasi subtrahiert wird. Mit diesen Tricks, so erklärt Daniel Bemmerer, wird der Dresdner Detektor fast so empfindlich, als wäre

GEWICHTIGE FORSCHUNG: Bald werden Kai Zuber, Bernd Rimarzig und Daniel Bemmerer (v.l.) den Teilchenbeschleuniger im Dresdner Untergrund aufbauen. Foto: Rainer Weisflog



er im Gran-Sasso-Labor installiert, also viel tiefer unter der Erdoberfläche. Außerdem erfasst derzeit ein Student für seine Masterarbeit die natürliche radioaktive Strahlung im kompletten Tunnelsystem, damit die Forscher auch diesen Parameter berücksichtigen können.

Derweil gehen die Bauarbeiten in den beiden Stollen voran. Der alte Fußboden wurde entfernt, nun wird eine neue Bodenplatte hergestellt und der Einbau der Technik vorbereitet. In den Kellergängen herrscht enorme Luftfeuchtigkeit. Deshalb muss in den Stollen eine zweite Hülle eingezogen werden, eine Einhausung, in der das Klima geregelt werden kann und die verhindert, dass die Anlage in kürzester Zeit rostet. Die Forscher rechnen damit, dass sie im kommenden Herbst die Anlage installieren und dann mit den Untersuchungen beginnen können. Kai Zuber will vor allem die Fusion von Helium-3- und Helium-4-Kernen zu Beryllium untersuchen, um damit die solaren Neutrinoflüsse besser berechnen und mit Experimenten vergleichen zu können. Das geplante Forschungsprogramm von Daniel Bemmerer fokussiert auf das Heliumbrennen und die Entstehung von Sauerstoff-16-Kernen.

Darüber hinaus steht das Felsenkeller-Beschleunigerlabor Wissenschaftlern aus der ganzen Welt zur Verfügung. Sie können sich für die Strahlzeit bewerben, von der die Dresdner Forscher nur einen Teil selber nutzen werden. Das Interesse bei den entsprechenden Arbeitsgruppen ist groß. Und auch für die Dresdner Studenten bietet das neue Beschleunigerlabor einzigartige Ausbildungs- und Forschungsmöglichkeiten. Eine Fahrt vom HZDR in den 25 Kilometer entfernten Plauenschen Grund ist schließlich weit weniger aufwendig als eine Reise nach Italien zum Gran-Sasso-Labor – und von der TU Dresden sind es sogar nur 3,7 Kilometer bis zum Felsenkeller.

PUBLIKATION:

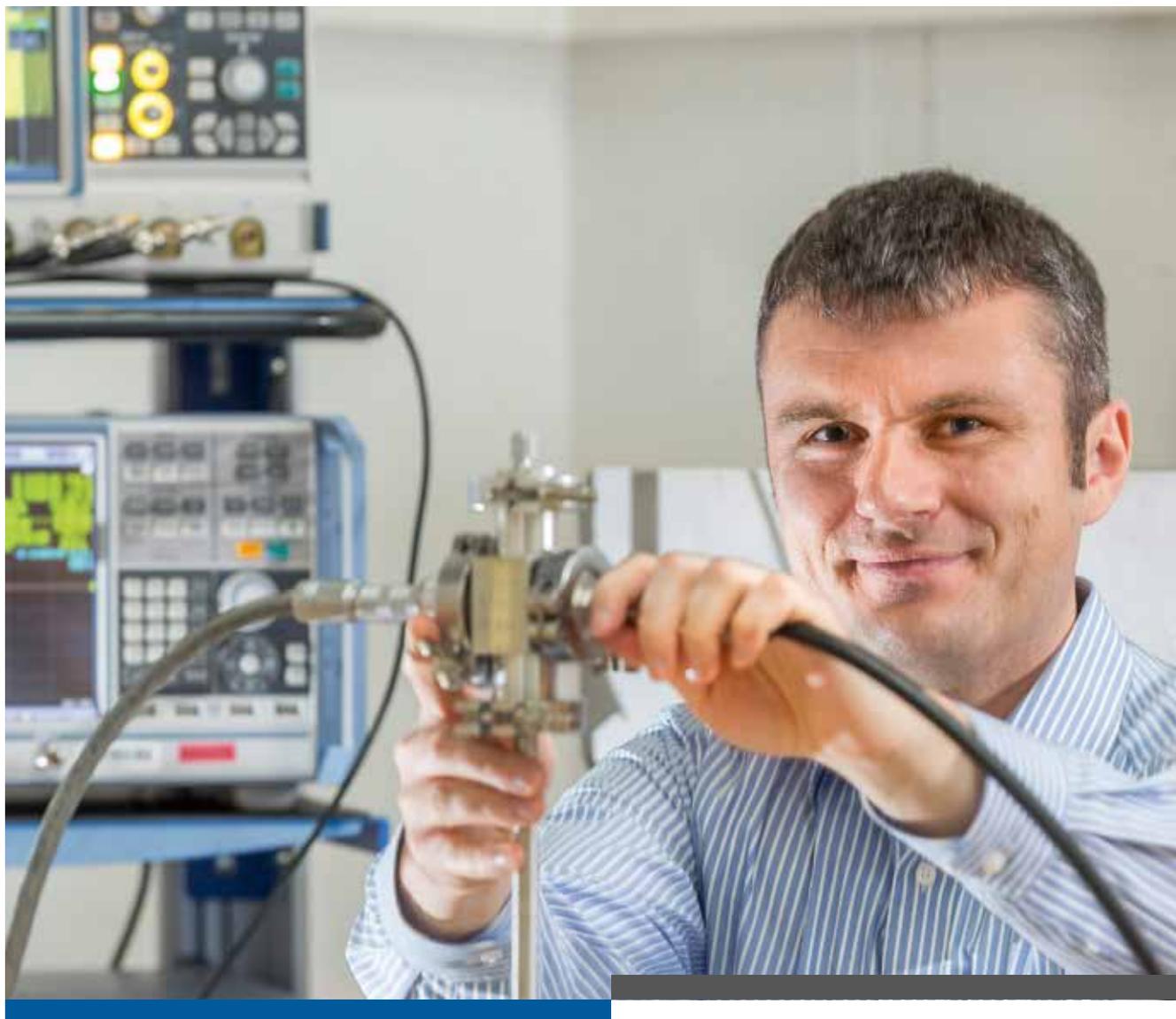
F. Cavanna, R. Depalo, M. Aliotta, M. Anders, D. Bemmerer, A. Best, A. Boeltzig, C. Broggin, C.G. Bruno, A. Cacioli, P. Corvisiero, T. Davinson, A. di Leva, Z. Elekes, F. Ferraro, A. Formicola, Z. Fülöp, G. Gervino, A. Guglielmetti, C. Gustavino, G. Gyürky, G. Imbriani, M. Junker, R. Menegazzo, V. Mossa, F. R. Pantaleo, P. Prati, D. A. Scott, E. Somorjai, O. Straniero, F. Strieder, T. Szücs, M. P. Takács, D. Trezzi: Three new low-energy resonances in the $^{22}\text{Ne}(p, \gamma)^{23}\text{Na}$ reaction, in *Physical Review Letters*, 2015 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.252501) —

KONTAKT

— Institut für Strahlenphysik am HZDR
PD Dr. Daniel Bemmerer
d.bemmerer@hzdr.de

— Institut für Kern- und Teilchenphysik
an der TU Dresden
Prof. Kai Zuber
kai.zuber@tu-dresden.de

// Das Hochfeld-Magnetlabor Dresden verbessert eine Methode, die Bilder aus dem Inneren von Materialien liefern kann, ohne Schaden anzurichten.



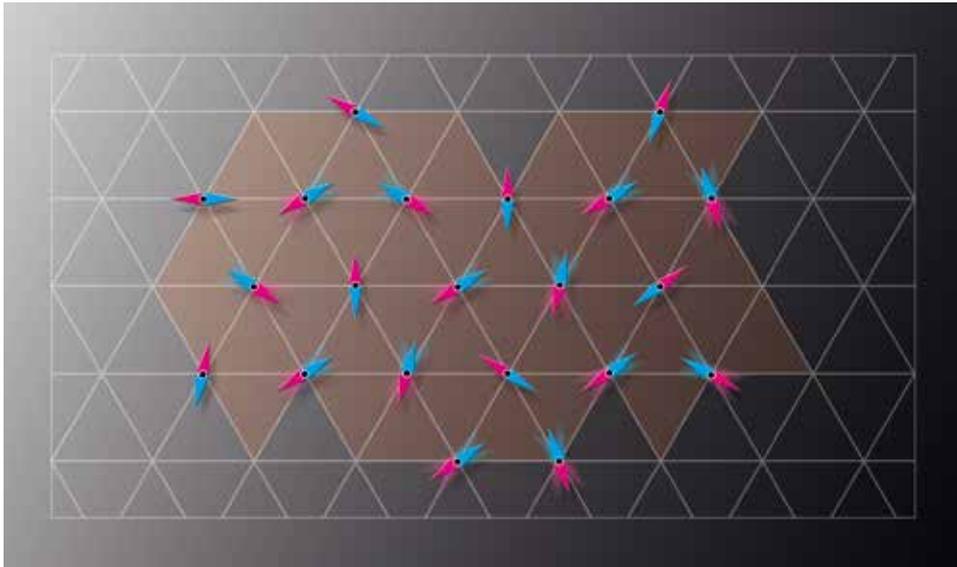
EXTREM: Bei tiefsten Minusgraden will Hannes Kühne mit höchsten Magnetfeldern Materialien noch genauer untersuchen, ohne sie zu zerstören. Foto: Rainer Weisflog

GESCHÄRFTER BLICK DANK ULTRAKURZER PULSE

_TEXT . Roland Knauer

Dreimal bereits hat das Nobelpreis-Komitee in den Jahren 1952, 1991 und 2002 Forscher für Entwicklungen rund um die Kernspinresonanz-Spektroskopie ausgezeichnet, die nach dem englischen Begriff „Nuclear Magnetic Resonance“ auch kurz „NMR“ genannt wird. Auf den ersten Blick scheint das ein Indiz zu sein, dass die Möglichkeiten dieser Methode schon gut ausgeschöpft sind, mit der Ärzte ohne Skalpell und Röntgenstrah-

len einen schonenden Blick in den Körper ihrer Patienten werfen und mit der Naturwissenschaftler diverser Disziplinen das Innenleben von Stoffen untersuchen, ohne diese zu zerstören. Die Physiker Hannes Kühne vom Hochfeld-Magnetlabor (HLD) des HZDR und Jürgen Haase von der Universität Leipzig aber sind fest davon überzeugt, auch nach drei Nobelpreisen die NMR-Methode noch entscheidend verbessern zu können. →



Kreisverkehr in den Atomen

Auch in den Atomen, aus denen sich praktisch alle Materie aufbaut, die wir auf der Erde und in unserem Sonnensystem kennen, spielt dieser Elektromagnetismus eine wichtige Rolle. Ein Wasserstoff-Atom ist zum Beispiel nichts anderes als ein elektrisch positiv geladener Kern, um den in relativ großer Entfernung ein viel kleineres und elektrisch negativ geladenes Elektron saust. Sowohl der Wasserstoff-Atomkern wie auch das Elektron verhalten sich wiederum wie winzige magnetische Teilchen. Vorstellen

kann man sich diesen Magnetismus in einem Elektron als Miniatur-Stromkreis, den Physiker „Spin“ nennen. Genau wie im Straßenverkehr aber gibt es für einen Kreisverkehr im Elektron nur zwei mögliche Richtungen: Entweder der Strom fließt rechtsherum im Uhrzeigersinn oder eben linksherum.

Ähnlich ist die Situation im Kern eines Wasserstoff-Atoms. Nur kreist dort eine positive elektrische Ladung in einer erheblich größeren Masse, die so schwer wie 1.836 Elektronen ist. „Daher lässt sich der Magnetismus dieses Atom-Kerns viel schwerer beeinflussen als der eines einzelnen Elektrons“, erklärt HZDR-Forscher Hannes Kühne. Genau solche Einflüsse von außen aber spielen bei der NMR-Methode eine entscheidende Rolle: Schwebt eine Wolke aus solchen Wasserstoff-Atomen fein verteilt und ohne weitere Einflüsse im luftleeren Raum, sollten sich deren Spins in alle Richtungen wenden. Legen die Forscher nun ein Magnetfeld an diese Wasserstoff-Wolke an, richten die Atome sich ähnlich wie winzige Kompassnadeln entlang dieser Feldlinien aus.

VERWIRRT: Ohne äußere Einflüsse wenden sich Kernspins von Wasserstoff-Atomen – hier dargestellt durch Kompassnadeln – in alle Richtungen. Erst ein Magnetfeld und möglichst tiefe Temperaturen bringen die gewünschte Ordnung.

Teamwork zwischen Sachsens Metropolen

Schließlich gilt für diese Technik ein klarer Zusammenhang. Je tiefer die Temperaturen und je stärker das Magnetfeld, umso schärfer ist der zerstörungsfreie Blick ins Innere. Experten für superstarke Magnetfelder hat Joachim Wosniza am HLD um sich gesammelt. Oft genug arbeiten sie auch bei extrem tiefen Temperaturen. Auf die NMR-Technologie hat sich wiederum Hannes Kühne spezialisiert und erweitert seit 2013 mit diesem Bereich das Forschungsspektrum am Hochfeld-Magnetlabor. Einer engeren Zusammenarbeit mit dem NMR-Fachmann Jürgen Haase und seinen Mitarbeitern in Leipzig steht seither nichts mehr im Weg.

Um ihre Arbeit zu erklären, müssen die Forscher allerdings recht weit ausholen und fangen mit den Grundlagen des Magnetismus an, die immerhin seit zwei Jahrhunderten bekannt sind: Bewegen sich elektrische Ladungen, erzeugen sie ein Magnetfeld. Dieses beeinflusst seinerseits die elektrischen Ladungen. Das klingt für einen Nicht-Physiker zwar zunächst einmal eher geheimnisvoll. Jeder Fahrrad-Dynamo zeigt aber, wie es funktioniert: Dreht sich das Rad, treibt es einen Dauermagneten an, der zum Beispiel aus einer Eisen-Legierung hergestellt wurde und in einer Spule aus Metalldrähten kreist. Anders als in Nichtmetallen können sich einige Elektronen in diesen Metalldrähten leicht und über größere Entfernungen bewegen. Das sich mit dem Magneten drehende Feld treibt diese Elektronen daher an, sie fließen als kleiner elektrischer Strom durch einen Draht zur Fahrradlampe und lassen diese leuchten.

Kompassnadeln in Atomen

Allerdings halten die Wasserstoff-Atome keineswegs still, sondern bewegen sich hin und her. Je niedriger die Temperatur ist, umso langsamer werden diese Bewegungen, bis die Atome bei der tiefsten möglichen Temperatur von minus 273,15 Grad Celsius zum Stillstand kommen. Bei deutlich höheren Temperaturen bewegen sich die Atome dagegen noch so heftig, dass sich nur ein Teil von ihnen entlang der Magnetfeldlinien ausrichtet. Je stärker nun das angelegte Magnetfeld ist, umso besser orientieren sich die Atome nach ihm. Sind dann auch noch die Temperaturen möglichst niedrig, richten sich die meisten Atomkerne nach den Feldlinien aus. Je besser das wiederum klappt, umso schärfer wird der Blick mit der NMR-Methode in die Materie hinein.

Mediziner untersuchen ihre Patienten daher in NMR-Apparaten, deren Magnetfeld eine Stärke von etwa einem Tesla hat. Das ist weit mehr als das Erdmagnetfeld, das in Mitteleuropa →

etwa zwanzigtausend Mal schwächer ist. Auch der Magnet an der Kühltür bringt es nur auf rund 0,05 Tesla, während Wissenschaftler in NMR-Laboren Materie mit rund zehn Tesla untersuchen. „Inzwischen gibt es allerdings auch Anlagen, die mit bis zu 23,5 Tesla arbeiten“, berichtet Hannes Kühne. Am HZDR wiederum haben Joachim Wosnitz und seine Kollegen für wenige Bruchteile von Sekunden bereits 95,6 Tesla erreicht und halten damit den Europa-Rekord. Genau solche extrem hohen Magnetpulse möchte Jürgen Haase gerne verwenden, um den Blick mit der NMR-Methode zu schärfen.

Wenn Atomkerne umklappen

Bei einer NMR-Analyse strahlen die Forscher Energie in Form von Radiowellen in das zu untersuchende Material. Diese Energie reicht aus, um den Spin von bestimmten Atomkernen entlang der Feldrichtung umklappen zu lassen. Einzelne dieser Miniatur-Kompassnadeln stellen sich daher im Material um und können so entdeckt werden. In einem typischen NMR-Experiment strahlen die Forscher nacheinander verschiedene Radiowellen-Frequenzen in eine Probe. Jede Frequenz liefert dabei Energiepäckchen einer exakt bestimmten Größe. Da die Forscher genau wissen, bei welcher Energie der Spin eines bestimmten Atomkerns umklappt, können sie so gezielt zum Beispiel Wasserstoff-Atome umpolen. Allerdings sind diese Atome häufig nicht allein, sondern haben Nachbarn, deren elektromagnetische Eigenschaften einen deutlichen Einfluss ausüben und so diese Umklapp-Energie ein wenig ändern.

Gleichzeitig sausen um die beteiligten Atome Elektronen herum, die eine negative elektrische Ladung haben und so ebenfalls das Magnetfeld beeinflussen. Ein Atomkern ist also einer ganzen Reihe verschiedener Magnetfelder ausgesetzt, die alle zusammen die Energie verändern, die seinen Spin umklappen lassen. Polen sich Wasserstoff-Atome bei einer anderen Frequenz um, können die Forscher aus dieser Änderung ermitteln, wie die Nachbarschaft aussieht und so die Struktur des untersuchten Materials aufdecken. So öffnet das NMR-Verfahren den Blick in das Innere der Materie, ohne diese zu zerstören. Da wundert sich niemand, dass diese Methode seit Jahrzehnten zu einem der wichtigsten Handwerkzeuge vieler Naturwissenschaftler gehört.

Grenzen überwinden

Leider stoßen die Forscher in einigen Bereichen an deutliche Grenzen. So gibt es Materialien, in denen die Elektronen so stark zusammenhängen oder „korrelieren“, dass herkömmliche Magnetfelder der NMR-Labore diese Korrelation nicht auflösen können und daher auch nicht „sehen“. Solche korrelierten Elektronen aber spielen bei Zukunftstechnologien wie der Hochtemperatur-Supraleitung oder dem Riesenmagneto-Widerstand eine entscheidende Rolle. „Die extrem hohen Magnetfelder am HZDR schaffen das jedoch und ermöglichen uns, diese wichtigen Materialien besser zu verstehen“, erklärt Hannes Kühne. Bis es so weit ist, muss er allerdings jede Menge Arbeit in die Methode stecken. So messen NMR-Geräte normalerweise in konstanten Magnetfeldern – die

Rekordwerte in Dresden lassen sich dagegen nur für winzige Bruchteile von Sekunden erreichen.

Hannes Kühne muss die Methode daher an die kurzen Zeitspannen anpassen und gleichzeitig die bisherigen Experimente mit höchsten Magnetfeldern in ein Standard-Verfahren überführen, mit dem Jürgen Haase und seine Mitarbeiter, aber auch andere Gäste arbeiten können. Damit kommt er gut voran: Inzwischen haben die Forscher im sächsischen Teamwork zum Beispiel die magnetischen Muster in der Verbindung Strontium-Kupfer-Borat, die ein wichtiges Modellsystem für Magnetismus-Untersuchungen ist, bei minus 271 Grad Celsius in einem Magnetfeld von 54 Tesla analysiert. Gerade einmal sechs tausendstel Sekunden hat diese Messung gedauert, mit der die Forscher die Tür zu weiteren Experimenten mit solchen Materialien der Zukunft aufgestoßen haben.

PUBLIKATION:

J. Kohlrautz, J. Haase, E. L. Green, Z. T. Zhang, J. Wosnitz, T. Herrmannsdörfer, H. A. Dabkowska, B. D. Gaulin, R. Stern, H. Kühne: Field-stepped broadband NMR in pulsed magnets and application to $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ at 54 T, in Journal of Magnetic Resonance, 2016 (DOI: 10.1016/j.jmr.2016.08.005) ↪

TEAMARBEIT: Der Physiker Hannes Kühne und Doktorandin Daryna Dmytriieva bereiten NMR-Messungen vor. Foto: Rainer Weisflog



KONTAKT

_Hochfeld-Magnetlabor Dresden am HZDR
Dr. Hannes Kühne
h.kuehne@hzdr.de

_Universität Leipzig
Prof. Jürgen Haase
j.haase@physik.uni-leipzig.de

// Der Bau des Dresdner Hochfeld-Magnetlabors war für alle Beteiligten eine anspruchsvolle Premiere.

EIN LABOR DER EXTREME

_TEXT . Sara Schmiedel



PULSZELLE ÖFFNE DICH: Der Physiker Thomas Herrmannsdörfer war von Anfang an beim Bau des Hochfeld-Magnetlabors beteiligt. Die massiven Labortüren sind nur ein Aspekt des aufwendigen Sicherheitskonzepts. Foto: Rainer Weisflog

„Der Ingenieur findet immer eine Lösung“, versichert Matthias Herold lachend. Der promovierte Bauingenieur und Geschäftsführer der Baubüro Freiberg GmbH (BBF) weiß, wovon er spricht – immerhin nimmt er auch schwierige Herausforderungen

an. Zum Beispiel den Bau einer Anlage der Superlative: das Hochfeld-Magnetlabor Dresden. Mit der weltweit größten Kondensatorbank speichern Forscher hier Energien von bis zu 50 Megajoule und erzeugen damit die höchsten gepulsten Magnetfelder Europas, ohne die Probe oder die Spule zu zerstören. Ihr Ziel: in bisher unerforschte physikalische Gebiete gelangen. Einer der ambitionierten Wissenschaftler, der vor 14 Jahren am Bau der Anlage beteiligt war, ist Thomas Herrmannsdörfer, Festkörperphysiker und heute Abteilungsleiter im HZDR-Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden. „Wir hatten zwar alle Ahnung von Festkörperphysik, aber über die Erzeugung hoher Magnetfelder wussten wir nicht wirklich viel“, gibt er zu. Hilfreich seien da die Erfahrungen der internationalen Kollegen gewesen, die bereits Magnetlabore betrieben. Und die auch von extremen Havarien berichten konnten. „Uns war deutlich bewusst, dass wir auf den Sicherheitsaspekt großes Augenmerk legen mussten“, erzählt Herrmannsdörfer.

Sondermaterialien notwendig

So war schnell klar, dass im Gebäude keinerlei magnetische Materialien verbaut werden dürfen, um Wechselwirkungen zwischen Bauwerk und Magnetspulen zu vermeiden. „Wir mussten im Beton nicht-magnetischen Edelstahl verwenden. Der ist etwa zehnmal so teuer wie sonst üblicher Stahl“, so Matthias Herold. „Am Anfang ging es erst einmal darum, rauszufinden, wer so etwas überhaupt herstellt und wie sich das Material verhält, wenn man es bearbeitet.“ Das führte allerdings gleich zu einem Problem: Die erste tonnenschwere Lieferung war magnetisch. „Wir haben uns geweigert, den Stahl anzunehmen und auf eine neue Lieferung bestanden, denn ein Magnetspuls würde wie ein Presslufthammer kurze und intensive Kraftstöße auf die magnetische Wand ausüben – das hält kein Gebäude auf Dauer aus“, sagt Thomas Herrmannsdörfer. Bevor es ans Betonieren ging, haben die Wissenschaftler mit einem starken Permanentmagneten in der Hand deshalb sämtliche Edelstahl-Bewehrungsstäbe noch einmal überprüft.

Die Wände der eigentlichen Experimentierkammern sind mit 70 Zentimetern fast dreimal so dick wie die in Wohngebäuden. Die eigens angefertigten Stahltüren sind mit überdimensionalen Tresortüren vergleichbar. Zusätzlich verfügen die kleinen Räume über sogenannte Berstscheiben in der Decke – Druckausgleichsflächen aus Metallfolie, die bei schnell ansteigendem Druck im Inneren als Sicherheitsventile wirken. „Wir haben während der Planungsphase ein Berstschutzgutachten erstellen lassen, dessen Ergebnisse entscheidend für die weitere Planung waren“, berichtet der Physiker. „Dadurch haben wir festgestellt, dass im Falle der Detonation →

einer Magnetspule während eines Experiments auf das Gebäude Kräfte wie bei einer Explosion von zwölf Kilogramm des Sprengstoffs TNT einwirken können.“ Entsprechend hat es die weltweit leistungsstärkste Kondensatorbank, die die Spulen mit Energie versorgt, in sich: Für Sekundenbruchteile kann sie Millionen von PS, also etwa die Leistung einer großen startenden Trägerrakete, abgeben. Diese Energie kann frei werden – das Szenario muss das HLD-Gebäude aushalten können. Eine nicht unrealistische Situation.

Außergewöhnliche Kooperation

Zweifel daran, dass die Anforderungen nicht umsetzbar wären, hat Matthias Herold nie gehabt. Bauchschmerzen vor dem ersten Experiment im neuen Labor auch nicht. „Ich wusste ja, was wir geplant und berechnet hatten. Außerdem hatten wir das Glück, ausführende Firmen gefunden zu haben, die ihr Handwerk hundertprozentig beherrschen – obwohl auch für sie vieles Neuland war.“

Nervöser als der Baumeister war der Wissenschaftler Herrmannsdörfer. Vor allem nach der ersten großen Spulenhavarie, die bis in den acht Kilometer entfernten Nachbarort zu hören war. Aber der Blick ins HLD bestätigte die Vorabentscheidungen: Türen intakt, Gebäude intakt – durchatmen. Herold fand die Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern von Anfang an spannend, wenn auch vielleicht manchmal ein bisschen anstrengend. „Wir haben in der Planungsphase

schon sehr viel geändert, weil es immer wieder neue Ideen gab“, erinnert er sich. „Aber das HLD ist eben auch ein Speziallabor, bei dem alle Regelungen und Erfahrungswerte nicht anwendbar waren.“

Innen hui – außen auch

„Zwar wird das Gebäude durch seine innere Funktion bestimmt, aber es ist uns auch architektonisch gelungen“, findet Matthias Herold. Die Außenfassade aus anthrazitfarbener Keramik ist zeitlos, sehr langlebig und zu großen Teilen verglast, im Inneren gibt es farbige Wände und Stützen. Das war nicht von Anfang an der Fall: „Zunächst war die Gestaltung ein bisschen bieder, wir haben nicht viel Wert auf große Architektur gelegt“, erinnert sich Herold. Aber dann hat sich Peter Joehnk, der Kaufmännische Direktor des HZDR, eingemischt: Er wollte ein Superlabor, das auch optisch innovativ ist und den Blick auf die Experimentieranlagen zulässt.

Forscht es sich besser in einer schönen Atmosphäre? „Definitiv ja“, versichert Herrmannsdörfer. „Unsere externen Nutzer loben zum Beispiel neben der Experimentalausstattung und dem Service die breiten hellen Gänge im HLD und scheinen sich auch sonst hier wohl zu fühlen. Sie kommen gern wieder.“ Ein Vorbild ist die Optik auch international: So gleicht der neue Anbau der Kollegen im französischen Hochfeld-Magnetlabor in Toulouse dem Dresdner Modell fast wie ein Spiegelbild.

Das HLD wurde nach zweijähriger Bauzeit 2004 eingeweiht. Sieben Jahre später folgte die Grundsteinlegung für den Anbau HLD II, in dem seit Ende 2013 geforscht wird. Matthias Herold und Thomas Herrmannsdörfer sind sich einig: Die gemeinsamen Projekte waren und sind ein voller Erfolg. „Die Bauherren wussten, was sie wollten, wir haben die Anforderungen nur noch gemeinsam präzisiert. Wir sind im Zeit- und Kostenplan geblieben. Außerdem haben alle Partner gut miteinander funktioniert – das ist leider nicht immer üblich“, erklärt Herold. Noch heute verfolgt er Meldungen in der Presse und kommt regelmäßig zum Tag des offenen Labors nach Rossendorf. —

KONTAKT

_Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden am HZDR
Dr. Thomas Herrmannsdörfer
t.herrmannsdorfer@hzdr.de

_Baubüro Freiberg GmbH
Dr. Matthias Herold
herold@bbf-freiberg.de



REKORDVERDÄCHTIG: Die weltweit leistungsstärkste Kondensatorbank liefert für Bruchteile von Sekunden die höchsten Magnetfelder Europas. Foto: Jürgen Lösel

// An der Helmholtz International Beamline for Extreme Fields „HIBEF“ wollen Physiker außergewöhnliche Materiezustände unter die Lupe nehmen.

RÖNTGEN IM AUSNAHMEZUSTAND

_TEXT . Frank Grotelüschen

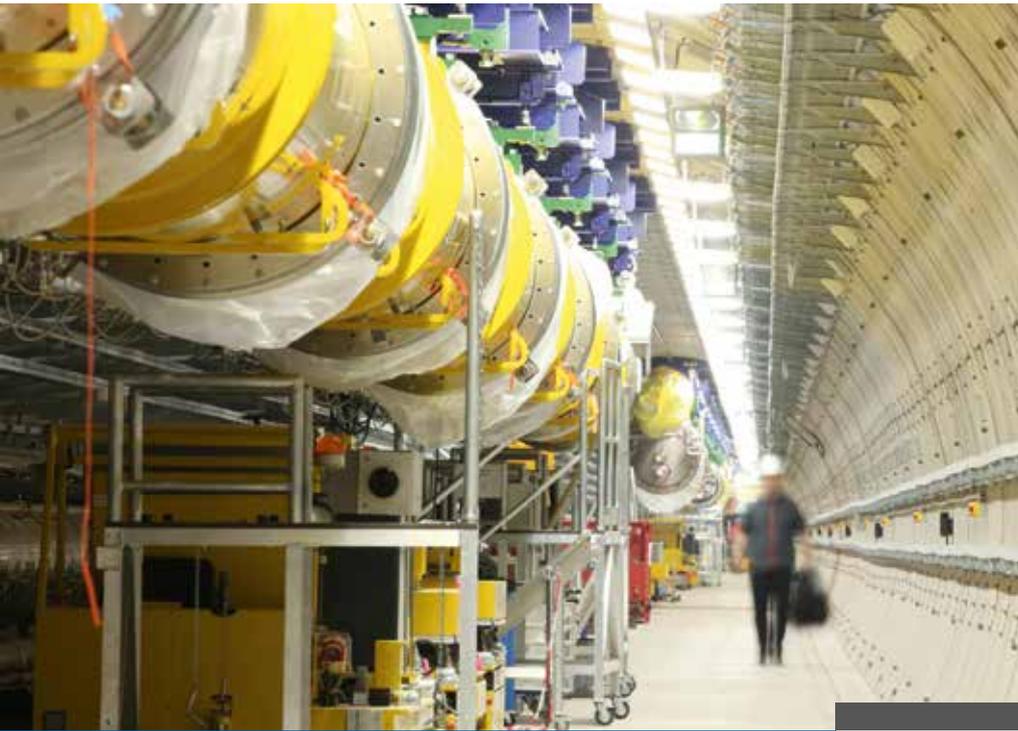
Mit dem Fahrstuhl ist Carsten Bächtz 20 Meter in die Tiefe gefahren. Nun steht der Forscher mitten in einer Halle, die groß wie ein Konzertsaal ist, und schaut auf ein geschäftiges Montagetreiben: Techniker schneiden Beton, bohren Löcher, stellen Wände auf. Die Arbeiten spielen sich im schleswig-holsteinischen Schenefeld unmittelbar an der Grenze zu Hamburg ab und stecken in einer heißen Phase: 2017 soll hier eine der größten Wissenschaftsmaschinen Europas ihren Betrieb aufnehmen: Der European XFEL ist der leistungsstärkste Röntgenlaser der Welt. Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf ist maßgeblich an dem Großgerät beteiligt: Es führt ein Nutzerkonsortium namens HIBEF, das Materie in extremen Zuständen ins Visier nehmen wird – Materialproben, die auf Temperaturen geheizt werden, wie sie im Inneren von Planeten vorkommen, die allerhöchsten Magnetfeldern ausgesetzt sind oder die buchstäblich unter Hochdruck stehen.

ÜBERBLICK: Der Physiker Carsten Bächtz koordiniert den Aufbau der Helmholtz International Beamline for Extreme Fields.
Foto: Axel Heimken

Der Europäische Röntgenlaser dient dabei als hochpräzises Analyseinstrument. Gebaut wird er in Hamburg gemeinsam von elf europäischen Partnerländern unter Federführung der gemeinnützigen European XFEL GmbH, deren Hauptgesellschaft das Deutsche Elektronen Synchrotron DESY ist. Basis ist ein supraleitender, knapp zwei Kilometer langer Teilchenbeschleuniger. Er bringt Elektronen fast auf Lichtgeschwindigkeit und schickt sie durch spezielle Magnetstrukturen, sogenannte Undulatoren. Diese zwingen die schnellen Elektronen auf eine Slalombahn – mit der Folge, dass die Teilchen kurze, extrem starke Röntgenblitze aussenden. Sie landen in der unterirdischen Riesenhalle in Schenefeld, aufgeteilt auf sechs „Beamlines“, sechs verschiedene Experimentierstationen.

Im Vergleich zu den bislang gebräuchlichen intensiven Röntgenquellen, den Synchrotrons, werden die Röntgenpulse des European XFEL milliardenfach heller sein und zudem Eigenschaften des Laserlichts besitzen. Zwar gibt es seit einigen Jahren bereits Röntgenlaser in Japan und den USA. Doch da sie nicht auf supraleitender Beschleunigungstechnik basieren, können sie maximal 120 Röntgenblitze pro Sekun-





KILOMETERLANG: Im Beschleuniger-tunnel des europäischen Röntgenlasers XFEL werden Teilchen auf Höchstgeschwindigkeiten getrieben. Foto: DESY

de abfeuern. Der European XFEL dagegen wird 27.000 Blitze schaffen. Da so sehr viele Aufnahmen in kurzer Zeit gesammelt werden können, verkürzt sich die Messzeit für jedes Experiment deutlich und es erhalten mehr Gruppen Zugang zu der Anlage – aufgrund der erwarteten starken Nachfrage ein entscheidender Vorteil. Denn die Möglichkeiten sind vielseitig. Dank der kurzen Dauer und der hohen Intensität der Lichtblitze können Chemiker den Ablauf einer Reaktion detailliert verfolgen, Geoforscher den Einfluss künstlicher Schockwellen in Gesteinsproben studieren und Molekularbiologen Bilder von einzelnen Proteinen aufnehmen.

HIBEF-Koordinator Carsten Bächtz steuert das hintere Ende der Halle an und zeigt auf eine nackte Hütte aus Schwerbeton: „Bei unseren Experimenten entstehen energiereiche Elektronen“, erklärt der Wissenschaftler. „Und deren Strahlung müssen wir abschirmen, deshalb die massiven Betonwände.“ Die Hütte gehört zu HED, einer der sechs Experimentierstationen am Europäischen Röntgenlaser. Die Abkürzung steht für „High-Energy Density Science Instrument“. Damit die Messstation ihre Mission – Wissenschaft bei extremen Dichten – erfüllen kann, wird das HIBEF-Konsortium wesentliche Komponenten beisteuern: darunter zwei Spezial-Laser, eine ultrastarke Magnetspule und einen extrem schnellen Röntgendetektor.

Powerlaser im Obergeschoss

Jetzt geht Bächtz in die Experimentierhütte hinein, seine Stimme hallt wie in einer Kathedrale. Noch ist kaum etwas zu sehen, der klassenzimmergroße Raum ist kahl und leer. Bächtz zeigt auf eine unscheinbare Öffnung in der Wand: „Aus diesem Loch werden die ultrakurzen, hochintensiven Röntgenblitze des European XFEL kommen“, beschreibt er. Dann zeigt er nach oben, zur Decke. „Auf das Dach der Hütte setzen wir

ein weiteres Stockwerk, da werden unsere beiden Laser Platz finden.“ Der eine soll – finanziert vom HZDR – sehr kurze und starke Lichtpulse erzeugen, mit einer Leistung von bis zu 300 Terawatt pro Puls und soll vor allem für Plasmaphysik-Experimente Verwendung finden. Der andere ist auf die Erzeugung von Pulsen mit hoher Energie gedrillt und wird von britischen HIBEF-Partnern beigesteuert. Seine Pulse sollen bis zu 100 Joule stark sein – wichtig etwa für Experimente, bei denen heftige Schockwellen durch Materialproben gejagt werden. Beide Anlagen sollen maximal zehn Blitze pro Sekunde abfeuern können.

Das Prinzip der Experimente: Die Laser versetzen mit ihren hochintensiven Pulsen eine Materialprobe in einen Extremzustand: Sie heizen sie auf Abermillionen Grad auf oder komprimieren sie auf einen Bruchteil ihres ursprünglichen Volumens. Unmittelbar danach durchleuchten die Röntgenblitze des European XFEL die malträtierte Probe – und verraten detailliert, was bei den Extremprozessen geschieht.

Unter anderem möchten die Wissenschaftler herausfinden, wie es im Inneren von riesigen Gasplaneten aussieht. Im Jupiter zum Beispiel herrschen gewaltige Drücke und Temperaturen. Mit ihren Experimenten wollen die HIBEF-Forscher das Innenleben dieses Gasriesen simulieren und herausbekommen, welche exotischen Kristallstrukturen die Materie dort annimmt. Um die Extremverhältnisse zu erreichen, werden die Physiker mit Diamantstempeln arbeiten. Diese werden mit hoher Kraft aufeinandergedrückt und können einen enormen Druck erzeugen – bis zu sechs Millionen Atmosphären. Bei manchen Versuchen dürften die Spitzen der Diamantstempel sogar unter dem Hochdruck zerbrechen. Dann sollen die Experimente so schnell über die Bühne gehen, dass die Aufnahme im Kasten ist, bevor der Diamant versagt. →

Rasende Schockwellen

Spektakulär auch die Schockwellen-Experimente: Hier betten die Experten das eigentliche Probenmaterial in ein dünnes Sandwich aus anderen Schichten ein. Die werden vom britischen Hochenergielaser dann quasi pulverisiert, was eine bis zu 5.000 Meter pro Sekunde schnelle Schockwelle durch die Probe rasen lässt. Bei der Analyse dieses Phänomens sind die extrem kurzen Röntgenpulse des European XFEL hilfreich – sie erlauben eine ungemein hohe Zeitauflösung. „Indem wir eine Reihe von Schnappschüssen aufnehmen, können wir wie in einem Video verfolgen, wie sich die Schockwelle im Material ausbreitet“, erklärt Bächtz.

Der Hochleistungslaser vom HZDR hingegen soll vor allem der Erforschung von Plasma-Phänomenen dienen. Das Prinzip: Er feuert kurze Lichtblitze auf eine Probe, etwa eine Folie. Auf einem winzigen Fleck bildet sich ein Plasma, also ein überaus heißes, elektrisch geladenes Gas. Gleich darauf folgt ein Röntgenblitz aus dem European XFEL und durchleuchtet das Geschehen. Indem die Forscher die Zeit zwischen Laserpuls und Röntgenblitz variieren, können sie den Prozess zeitlich abrastern und die Einzelaufnahmen anschließend zu einem Film kombinieren. Die Methode soll das Plasma bis auf wenige Dutzend Nanometer auflösen – fein genug, um detaillierte Instabilitäten zu erkennen. Wichtig sind solche Experimente

KENNT KEINE GRENZEN: Die Tunnel des Röntgenlasers XFEL reichen vom Gelände des Deutschen Elektronensynchrotrons DESY in Hamburg bis nach Schenefeld im benachbarten Schleswig-Holstein. Foto: European XFEL



Internationale Kooperation

HIBEF steht für „Helmholtz International Beamline for Extreme Fields“. Das HZDR koordiniert das internationale Nutzerkonsortium, das sich aus etwa 80 Gruppen von mehr als 60 Instituten in 16 Ländern zusammensetzt. Wichtigster Kooperationspartner ist das Forschungszentrum DESY. Das Konsortium umfasst über 350 Wissenschaftler und rund 300 Doktoranden. Das Spektrum der Fachrichtungen ist breit und reicht von Laserexperten über Röntgenforscher bis zu Plasmaphysikern. HIBEF trägt zur Station für Experimente bei hohen Energiedichten („High-Energy Density Science Instrument“, HED) wesentliche Instrumentierung bei. Neben HIBEF fördert die Helmholtz-Gemeinschaft zwei weitere Projekte am European XFEL – die „Serial Femtosecond X-Ray Crystallography“ (SFX) sowie das „Heisenberg Resonant Inelastic X-Ray Scattering“ (hRIXS), deren Aufbau DESY koordiniert. Das gesamte Fördervolumen liegt bei 29,8 Millionen Euro.

insbesondere für die Laserplasmabeschleunigung. Sie verspricht einen Mechanismus für die Beschleunigung elektrisch geladener Teilchen, der deutlich effizienter ist als bei den heutigen, zum Teil kilometergroßen Anlagen.

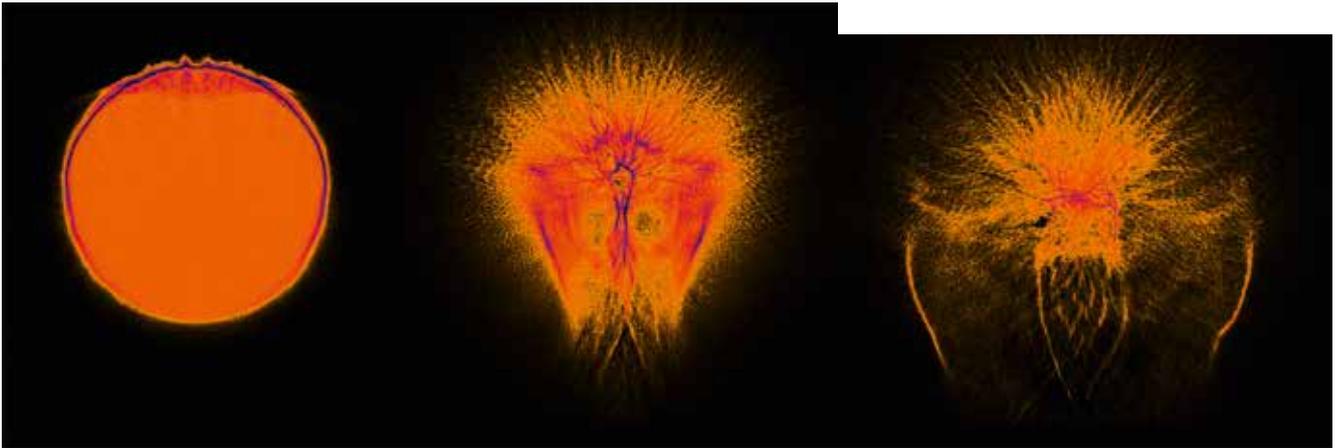
Extreme Magnetfelder

Jetzt schreitet Carsten Bächtz den kargen Raum der Länge nach ab und bleibt nach einigen Schritten stehen: „Hier wird der Teststand für die Magnetexperimente hinkommen.“ Der

Elektromagnet, um den es geht, ist kein gewöhnliches Exemplar. „So große Magnetfelder, wie wir sie benötigen, lassen sich nur kurzzeitig erzeugen“, erläutert der Forscher.

„Deshalb arbeiten wir mit einer gepulsten Magnetspule, die immer nur für eine knappe Millisekunde aktiviert wird, sonst würde sie durchbrennen.“

Während selbst die besten supraleitenden Gleichstrommagnete eine Feldstärke von etwa 20 Tesla schaffen, werden es die gepulsten Magnetfelder der Spezialspule auf bis zu 60 Tesla bringen – ein Strompuls wird durch eine Spule gejagt, dabei →



LASERPLASMA: An der Helmholtz International Beamline for Extreme Fields „HIBEF“ wollen die Forscher untersuchen, wie sich Materie unter extremen Bedingungen verhält - zum Beispiel beim Beschuss mit einem Hochleistungslaser. Abgebildet ist die simulierte Expansion eines Kugeltargets. Der Röntgenlaser wird es ermöglichen, solche Prozesse in Experimenten tatsächlich darzustellen. Simulation: Axel Hübl

entsteht für einen Wimpernschlag ein Magnetfeld, das 20-mal so stark ist wie bei einem modernen MRT-Scanner.

Mit dieser Technik lassen sich Materialproben kurzzeitig in einen magnetischen Ausnahmezustand versetzen – und simultan mit einer Pulssalve aus dem Europäischen Röntgenlaser unter die Lupe nehmen. Damit lässt sich unter anderem die Kristallstruktur erkunden. Spektroskopische Methoden verraten etwas über die unmittelbare chemische Umgebung bestimmter Atomsorten. Und ein spezielles Phasenkontrast-Verfahren erlaubt sogar eine direkte Bildgebung. „Bei solch hohen Magnetfeldern ist zu erwarten, dass sich magnetische Materialien wie Kobaltchromoxid zu neuartigen, exotischen Kristallstrukturen anordnen“, sagt Carsten Bächtz. Die Experimente am XFEL ergänzen sich mit den Versuchen am Hochfeld-Magnetlabor in Dresden-Rossendorf. Zwar lassen sich dort noch höhere Magnetfelder erzeugen, dafür aber können die Proben nicht mit dem Röntgenlaser analysiert werden.

Dann tritt Bächtz wieder aus der Experimentierhütte heraus und zeigt auf eine Öffnung im oberen Bereich der Hallenwand. „Bei HIBEF planen wir ein weiteres Gebäude. Es wird außerhalb der Halle stehen und mit ihr durch einen Tunnel verbunden sein, der dort oben endet.“ In diesem Bau soll unter anderem die Kondensatorbank stehen, die die Magnetspule mit Strom versorgt. Außerdem bietet er Platz für noch stärkere Laser, deren Pulse zum Beispiel eine Leistung von einem Petawatt statt 100 Terawatt haben sollen – ehrgeizige Zukunftspläne.

Dicht gepackt

Ein paar Schritte weiter wartet Bächtz' Kollege Andreas Schmidt vom European XFEL auf dem noch nackten Betonboden. „Hier kommt der Kontrollraum hin“, erklärt der Ingenieur. „Noch stehen nicht einmal die Wände, doch bald werden hier lauter Monitore und Tastaturen sein – und vermutlich auch eine Kaffeemaschine.“ Dann zeigt Schmidt auf die Halle: „Derzeit ist sie noch relativ leer, doch in einigen Monaten werden dort dicht an dicht

unzählige Experimentierhütten und Technikräume stehen.“ Um den Platz optimal zu nutzen, wird systematisch aufgestockt: Auf die Hütten kommen Räume mit Elektronik-Gestellen, dazu Klimaschächte, Kabeltrassen und Rohrleitungen.

Derzeit stehen noch die eher groben Montagen an, doch die Feinarbeit wird folgen, etwa für den Aufbau und das Justieren der hochkomplexen Laseranlagen. „Die Hütten sollen bis Anfang 2017 fertig sein“, erläutert Andreas Schmidt. „Die ersten Experimente sind für 2018 eingeplant.“ Manche der HIBEF-Aufbauten werden allerdings erst in den darauffolgenden Jahren dazukommen, erst um das Jahr 2020 dürfte der Messstand halbwegs komplett sein.

Die Untersuchungen werden dann im Schichtbetrieb laufen, sieben Tage die Woche, 24 Stunden am Tag. Allerdings werden sich die HIBEF-Fachleute die Röntgenblitze des European XFEL mit der benachbarten Messstation teilen müssen: Ein extrem fein polierter Spezialspiegel lenkt die Pulse alle zwölf Stunden um und verteilt sie auf eines von zwei Strahlrohren. Während der Experimente mit den HIBEF-Instrumenten darf aus Strahlenschutzgründen niemand in die Hütte hinein. In den zwölf Stunden, in denen die andere Messstation dran ist, werden die Forscher jedoch nur wenig Muße finden. „In dieser Zeit müssen wir neue Proben vorbereiten und einsetzen“, sagt Carsten Bächtz. „Dann dürfte sogar noch mehr Hektik herrschen als während der eigentlichen Datennahme.“ —

KONTAKT

— Institut für Strahlenphysik am HZDR
Dr. Carsten Bächtz
c.baehtz@hzdr.de

www.xfel.eu

// Wie HZDR-Physiker das Vakuum studieren wollen.

LASERSCHUSS INS NICHTS

_TEXT . Frank Grotelüsch



GESPANNT: Ulrich Schramm, Thomas Cowan und Roland Sauerbrey (v.l.) warten darauf, ihr Vakuum-Experiment an der Helmholtz International Beamline for Extreme Fields „HIBEF“ umzusetzen.

Foto: Rainer Weisflog

Der Plan mutet an wie ein Schildbürgerstreich: Physiker schießen hochintensive Laserblitze auf ein Vakuum, also das pure Nichts – und erhoffen sich dennoch spektakuläre Messwerte. Das Experiment soll tatsächlich in einigen Jahren stattfinden, und zwar an der Helmholtz International Beamline for Extreme Fields „HIBEF“ am Europäischen Röntgenlaser in Hamburg. Gelingt es, wäre entweder eine grundlegende Physiktheorie eindrucksvoll bestätigt oder aber – noch spannender – ein Anzeichen für neue, bislang unentdeckte Teilchen gefunden.

Die Idee für den Versuch kam Roland Sauerbrey, dem Wissenschaftlichen Vorstand des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf, bereits im vergangenen Jahrzehnt. Schon vorher wusste die Fachwelt, dass das Vakuum in Wirklichkeit gar nicht leer ist – eine der seltsamen Folgen der Quantenphysik. Ins-

besondere können laufend aus dem Nichts Paare von Teilchen und Antiteilchen entstehen, die sich gleich darauf wieder gegenseitig vernichten, nach einer unmessbar kurzen Zeitspanne. „Wenn man sich das Vakuum genauer anschaut, ist es eigentlich eine brodelnde Suppe aus entstehenden und vergehenden Teilchen und Antiteilchen“, erläutert Sauerbrey.

Unmittelbar beobachten lassen sich diese kurz aufpoppenden Teilchen-Antiteilchen-Paare zwar nicht. Aber sie erzeugen für einen winzigen Augenblick einen kleinen elektrischen Dipol, dessen Feld sich indirekt nachweisen lässt: Es führt dazu, dass elektrische Ladungen in Atomen ein klein wenig abgeschwächt oder verstärkt erscheinen. Im Prinzip sollten diese „virtuellen“ Dipole jedoch auch mit Licht interagieren – schließlich ist Licht nichts anderes als eine elektromagnetische Welle. Genau das wollen Sauerbrey und seine Kollegen mit ihrem Experiment nun erstmals nachweisen: „Wir planen einen Versuch, mit dem wir uns die optischen Eigenschaften des Vakuums anschauen.“

Nur: Mit der bisher verfügbaren Technik lässt sich das schlicht nicht messen. Denn die Dipole poppen rein zufällig irgendwo →

auf und weisen mal in die eine, dann in eine andere Richtung. Sie sind statistisch verteilt, wobei sich ihre Gesamtheit zu null addiert. „Um überhaupt etwas messen zu können, müsste man die Dipole ausrichten“, erklärt Sauerbrey. „Das ist die Idee unseres Experiments.“ Die Herausforderung: Für die Dipol-Ausrichtung braucht es extrem starke elektrische Felder, wie sie nur durch Speziallaser erzeugt werden können. Diese Laser liefern kurze, nur Femtosekunden währende Lichtblitze, in denen die ungeheure Leistung von einem Petawatt steckt – eine Billion Watt.

Vakuum interagiert mit Licht

Diese Extremblitze müssten ausreichen, um die virtuellen Vakuum-Dipole in Reihe und Glied zu bringen. Das sollte auf Licht einen ungewöhnlichen Effekt haben: Theoretisch sollten die Dipole – ähnlich wie Quarzkristalle – die Eigenschaft der Doppelbrechung zeigen und die Schwingungsebene des Lichts ein wenig drehen. Würde man diese geänderte Polarisation messen, wäre bewiesen, dass das Vakuum tatsächlich mit Licht interagiert – eine physikalische Weltneuheit.

Geplant ist der Versuch in Hamburg, wo derzeit der stärkste Röntgenlaser der Welt entsteht – der European XFEL. Im HIBEF-Projekt baut das HZDR hier in den nächsten Jahren einen Petawatt-Laser auf. Er soll die Dipole im Vakuum ausrichten. Die starken, ultrakurzen Röntgenblitze aus dem XFEL dienen anschließend als „Testballon“: Ändert sich ihre Schwingungsebene, wäre der neue Effekt bewiesen.

Schauplatz wird eine stählerne Vakuumkammer sein, in der ein Druck von nur etwa 10^{-9} Millibar herrscht – rund ein billionstel Atmosphärendruck. Der eigentliche Messbereich ist nur wenige Mikrometer groß. „Darin darf sich kein einziges Atom befinden, es würde die Messung zerstören“, betont Thomas Cowan, der das HIBEF-Nutzerkonsortium koordiniert. Deshalb haben sich die Forscher eine spezielle Art von Staubsauger ausgedacht: Dem Petawatt-Puls wollen sie einen anderen Lichtblitz vorausschicken, der alle noch vorhandenen Atome

LEISTUNGSSTARK: Am HZDR wird derzeit der Petawatt-Laser PENELOPE aufgebaut. Ein ähnlicher Hochleistungslaser wird auch bei HIBEF zum Einsatz kommen. Foto: Oliver Killig



ionisiert, also elektrisch auflädt. Diese Ionen werden dann von zwei unter Hochspannung stehenden Kondensatorplatten angezogen und damit flugs aus dem Messbereich entfernt.

In diese bereinigte Region feuert der Petawatt-Laser einen Blitz, gebündelt durch einen Parabolspiegel. „Normalerweise schießt man mit solchen Lasern ja auf Materialproben“, erzählt Cowan. „Wir schießen ganz einfach auf das Nichts.“ Kurz darauf lenken die Forscher einen polarisierten Röntgenblitz in die Kammer. Anschließend kann eine raffinierte Detektorapparatur sehr genau nachweisen, ob sich die Schwingungsebene des Röntgenblitzes beim Durchgang durch das Vakuum tatsächlich um einen Hauch verändert hat.

Power mit Petawatt

„Eine der größten Herausforderungen besteht darin, die Blitze von Petawatt-Laser und dem XFEL präzise miteinander zu synchronisieren“, erklärt der HZDR-Experte für Laser-Teilchenbeschleunigung, Ulrich Schramm. „Die Abfolge der Pulse muss bis auf zehn Femtosekunden genau sein.“ Garantieren soll das ein ausgeklügelter Zeitvergleich mit den Elektronenpaketen des XFEL-Teilchenbeschleunigers. „Mit einer Messzeit von einer Stunde müsste man das Experiment eigentlich machen können“, hofft Schramm. „Aber zuvor müssen wir es erstmal zum Laufen bekommen, und das dürfte Jahre dauern, mindestens bis 2021.“

Bislang sind fünf Forscher im Team – Sauerbrey als Initiator, dazu weitere Physiker aus Dresden und der britischen Universität Plymouth. Jetzt, zur Umsetzung des Projekts, soll die Arbeitsgruppe auf bis zu 20 Experten wachsen. Zwar ist Sauerbrey als HZDR-Vorstand gut mit organisatorischen und administrativen Aufgaben eingedeckt. Dennoch nimmt er sich die Zeit für das ehrgeizige Forschungsprojekt, denn: „Die Wissenschaft ganz links liegen zu lassen, wäre nicht gut.“

Gelingt das Experiment, wird das Resultat auf jeden Fall interessant: „Entweder können wir die bisherige Theorie, die Quantenelektrodynamik, in einem ganz anderen Bereich bestätigen, als man das bisher kannte“, erläutert Roland Sauerbrey. „Oder wir finden etwas, das von der Theorie abweicht.“ Manche Experten spekulieren bereits, dass sich hypothetische, bislang unentdeckte Teilchen in den Messdaten verraten könnten, indem sie das erwartete Signal auffällig verstärken oder abschwächen. Und das wäre laut Sauerbrey nichts anderes als eine handfeste Sensation. —

KONTAKT

— Wissenschaftlicher Direktor des HZDR
Prof. Roland Sauerbrey
r.sauerbrey@hzdr.de

— Direktoren am Institut für Strahlenphysik des HZDR
Prof. Thomas Cowan | Prof. Ulrich Schramm
t.cowan@hzdr.de | u.schramm@hzdr.de

Eine neue Tumor-Therapie soll zunächst die Krebszellen markieren und sie später zerstören.

GETRENNT MARSCHIEREN UND VEREINT SCHLAGEN

_TEXT . Roland Knauer

Diagnostiziert der Arzt einen gefährlichen Tumor, ändert sich das Leben für die meisten Patienten radikal. Und das nicht nur durch die oft lebensgefährliche Krankheit selbst, sondern häufig zusätzlich durch eine Chemo- oder Strahlentherapie, die zwar den Krebs und mögliche bereits vorhandene Tochtergeschwülste beseitigen soll, aber eben auch starke Nebenwirkungen hat. Diese negativen Begleiterscheinungen möchte Hans-Jürgen Pietzsch vom HZDR-Institut für Radio-pharmazeutische Krebsforschung erheblich verringern, wenn er die innere Strahlentherapie mit radioaktiven Stoffen auf zwei Etappen aufteilt. Dadurch verkürzt er die Zeit, in der ein Wirkstoff gesundes Gewebe bestrahlt.

Mit Iod verwechselt

Radioaktive Elemente setzen Nuklearmediziner bereits seit Jahrzehnten ein – zunächst eher zur Untersuchung, zunehmend aber auch zur Behandlung. Für die Diagnose spielt Technetium-99m eine wichtige Rolle. Dieses Radionuklid verbindet sich gern mit vier Sauerstoff-Atomen und bildet ein Pertechnetat-Ion, das der Organismus mit einem Iod-Ion verwechselt, da es ähnlich groß und genauso elektrisch geladen ist. Diese Verbindung taucht daher an den Stellen im Körper auf, an denen viel Iod gebraucht wird, also in der Schilddrüse. Befindet sich dort ein Tumor mit besonders wachstumsaktivem Gewebe, sammelt sich in ihm sehr viel Pertechnetat. Die Hälfte des darin enthaltenen Technetium-99m sendet innerhalb von sechs Stunden Gammastrahlung aus und verrät so, wo es sich gerade

befindet. Dabei registrieren die Messgeräte nicht nur in den „heißen Knoten“ und damit im Schilddrüsen-Tumor besonders starke Gammastrahlung, sondern auch in den sonst nur schwer nachweisbaren Metastasen, wie Tochtergeschwülste von Ärzten genannt werden.

„Technetium-99m wird in eine Reihe anderer Verbindungen eingebaut, die sich in verschiedenen Gewebetypen anreichern und so zum Beispiel eine veränderte Durchblutung nach einem Schlaganfall im Gehirn oder nach einem Infarkt im Herzen sichtbar machen“, erklärt Hans-Jürgen Pietzsch. Solche radioaktiven Substanzen zeigen aber nicht nur Tumore und Metastasen, sondern können sie auch gleich behandeln. Schließlich belastet ihre Strahlung das Gewebe. Sammeln sich die Stoffe also vor allem im Tumor, können sie ihn schädigen. An Stelle eines Gamma-Strahlers wie Technetium-99m nehmen Ärzte für eine Radionuklidtherapie allerdings Beta-Strahler, zum Beispiel Yttrium-90. Dessen Strahlung ist energiereicher, wirkt intensiver und schädigt daher die erkrankten Zellen stärker als Gammastrahlung.

Strahlen vernichten Tumore

Um den radioaktiven Stoff zu den Krebszellen zu bringen, greifen Nuklearmediziner auf Antikörper zurück, die normalerweise das Abwehrsystem des Körpers produziert. Sie erkennen Strukturen auf der Oberfläche von Krankheitserregern sehr exakt und hängen sich genau dort und nirgendwo sonst an. Diese Markierung zeigt den Abwehrkräften also zuverlässig einen Feind, der dadurch rasch bekämpft wird. Auch auf vielen Tumoren gibt es diese Strukturen, gegen die sich Antikörper herstellen lassen. Ärzte nutzen sie, um die gefährliche Geschwulst und auch daraus bereits entstandene Metastasen gezielt anzusteuern. An die Antikörper binden Chemiker am HZDR einen sogenannten „Chelator“. Das sind Moleküle, in die sich ein Metall-Ion einklinken kann. Der entstehende Komplex wird dadurch stabiler. Ein solches Metall ist Yttrium-90, das der Antikörper zuverlässig zum Tumor trägt.

Diese Methode funktioniert sehr zuverlässig, hat aber einen gravierenden Haken: „Es dauert bis zu 48 Stunden, bis der Antikörper seine größte Dichte am Tumor erreicht“, erklärt Hans-Jürgen Pietzsch. In diesen zwei Tagen sind die Tumor-Antikörper mit ihrer strahlenden Fracht im Organismus unterwegs und können gesundes Gewebe schädigen. Besonders betroffen sind normalerweise das Blut und das Knochenmark, in dem ständig große Mengen von Blutzellen hergestellt werden, sowie die Leber und die Niere, in denen der Antikörper mitsamt des daran hängenden Yttrium-90 entsorgt wird. →



IM EINSATZ GEGEN KREBS: Dresdner Forscher wollen Antikörper nutzen, um Tumore zu zerstören. Foto: Frank Bierstedt

Ein molekulares Pärchen

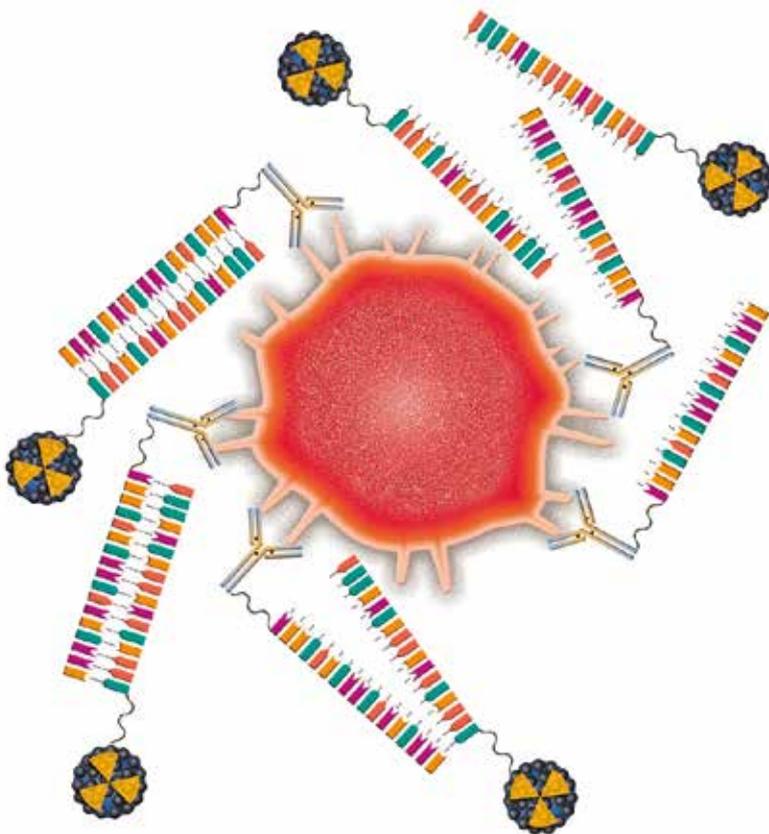
Mit einem eleganten Trick können Nuklearmediziner solche gravierenden Nebenwirkungen erheblich verringern. In Vogeleiern gibt es ein relativ großes Biomolekül, das Biochemiker Avidin nennen. Dieses Avidin wiederum schnappt sich gern das viel kleinere Molekül Biotin, das Laien auch als Vitamin H kennen. „An dieses Biotin wiederum lässt sich das Radionu-

klid Yttrium-90 anhängen“, berichtet Hans-Jürgen Pietzsch. Ob mit oder ohne strahlender Fracht ist dieses Vitamin H viel schneller im Organismus unterwegs als ein Antikörper auf der Suche nach einem Tumor.

Damit ist der Weg für eine Doppelstrategie frei: Zunächst wird an den Antikörper, der gezielt einen Tumor aufspürt, das Avidin-Molekül angehängt. Dieses große und behäbige Molekül

STRATEGIE: Hans-Jürgen Pietzsch setzt auf Antikörper, Moleküle und die Erbsubstanz, um erkrankte Zellen aufzuspüren und zu behandeln. Foto: Rainer Weisflog





STARKE KOMBINATION: Bei der sogenannten Pre-Targeting-Strategie werden zunächst „Späher“, wie hier zum Beispiel Peptid-Nukleinsäuren in Kombination mit Antikörpern, vorausgeschickt, die sich an den erkrankten Zellen sammeln. Im zweiten Schritt binden sich an ihnen radioaktiv markierte Gegenstücke. Grafik: Pfefferkorn

kann langsam, aber sicher den Tumor und eventuelle Metastasen suchen. Da es noch keine Radioaktivität trägt, belastet es in dieser Zeit auch kein Gewebe. Erst wenn der Antikörper mit dem Avidin-Molekül in ausreichender Menge am Ziel angekommen ist, schickt der Nuklearmediziner das Biotin mitsamt seinem Yttrium-90 auf den Weg. Das findet in einigen Minuten seinen Weg und schädigt daher das gesunde Gewebe viel weniger als bei einer Zwei-Tages-Anreise. Am Tumor kuppelt das Biotin an das Avidin und eliminiert die Krebszellen.

Die Nukleinsäure-Kupplung

Noch aber ist dieses Verfahren relativ umständlich und daher auch teuer. „Einfacher und preiswerter wäre es, wenn man stattdessen die Erbsubstanz DNA oder RNA zum Anhängen des radioaktiven Elements an den Antikörper verwendet“, erklärt Hans-Jürgen Pietzsch seine Strategie. Die Erbsubstanz besteht aus zwei Strängen einer Nukleinsäure, die sich fest zu einem Doppelstrang verbinden. Hängt man nun einen dieser Stränge an den Antikörper und versieht sein Gegenstück mit Yttrium-90 oder anderen Radionukliden, erreicht dieses relativ kleine Molekül ebenfalls rasch seinen Partner am Tumor – und beginnt, diesen zu vernichten.

Allerdings hat auch diese Methode einen entscheidenden Nachteil: Im Organismus gibt es hochspezialisierte Enzyme, die solche Einzelstrang-Nukleinsäuren rasch abbauen. Daher verwenden die Forscher am HZDR künstliche Nukleinsäure-Bausteine, deren Rückgrat statt aus Zucker und Phosphat aus Peptiden besteht. Eine weitere Alternative ist ein Nukleinsäure-Rückgrat, bei dem der natürliche Zuckerbaustein durch sein künstliches Spiegelbild-Molekül ersetzt ist. Solche Verbindungen kennt der Organismus nicht und besitzt daher auch keine Enzyme, um sie abzubauen. Diese Arbeiten

führen die HZDR-Forscher gemeinsam mit der Firma NOXXON Pharma Berlin durch.

„An eine solche Spiegelbild-Nukleinsäure hängen wir einen Chelator, der Technetium-99m oder andere Radionuklide bindet“, erklärt Hans-Jürgen Pietzsch. Diese Konstruktion erreicht in Mäusen rasch einen Tumor, taucht aber viel seltener als bei einer herkömmlichen Radionuklidtherapie in der Leber auf. „Als nächstes wollen wir untersuchen, ob diese Spiegelbild-Nukleinsäuren in Kombination mit einem Radionuklid einen Tumor in einer Maus auch tatsächlich schrumpfen lassen“, erläutert der Forscher. Die Investitionen des HZDR in die radiopharmazeutische Krebsforschung könnten so in einiger Zukunft die starken Nebenwirkungen einer Tumorbehandlung für die Patienten erheblich verringern.

PUBLIKATIONEN:

A. Leonidova, C. Foerster, M. Schubert, K. Zarschler, H. Pietzsch, J. Steinbach, R. Bergmann, N. Metzler-Nolte, H. Stephan, G. Gasser: In vivo demonstration of an active tumor pretargeting approach with peptide nucleic acid bioconjugates as complementary system, in *Chemical Science*, 2015 (DOI: 10.1039/c5sc00951k)

M. Patra, K. Zarschler, H. Pietzsch, H. Stephan, G. Gasser: New insights into the pretargeting approach to image and treat tumours, in *Chemical Society Reviews*, 2016 (DOI: 10.1039/c5cs00784d) —

KONTAKT

— Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung am HZDR
Dr. Hans-Jürgen Pietzsch
h.j.pietzsch@hzdr.de

Radioaktive Arzneimittel für die Positronen-Emissions-Tomographie sind eine Spezialität des HZDR – auch wenn die Forscher einen starken Gegner haben.

DAS TÄGLICHE RENNEN GEGEN DIE ZEIT

_TEXT . Sara Schmiedel

Morgens muss es immer schnell gehen. 20 Minuten – länger sollte die Synthese des radioaktiven Arzneimittels FDG, das mit Fluor-18 markiert ist, nicht dauern, denn die Wissenschaftler und Labormitarbeiter kämpfen gegen einen übermächtigen Widersacher: Die Halbwertszeit. Bereits nach zwei Stunden ist über die Hälfte des Arzneimittels zerfallen und damit für weniger Patienten nutzbar. „Wir arbeiten hier nach einem genauen Zeitplan“, erklärt Frank Füchtner. „Ab 5 Uhr beginnt die Radionuklidproduktion mit der Bestrahlung am Zyklotron, also einem Teilchenbeschleuniger, gegen 7 Uhr geht das fertige Produkt auf die Straße zum Anwender.“ Füchtner ist Leiter der Abteilung Radiopharmaka-Herstellung am Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung des HZDR und bildet mit seinem Team quasi einen ganzen arzneimittelherstellenden Betrieb ab – mit gerade einmal 15 Personen.

STRAHLENDE MÖGLICHKEITEN: Frank Füchtner leitet am HZDR die Herstellung radioaktiver Arzneimittel.
Foto: Rainer Weisflog

Kurzlebige Krebsdetektoren

Radiopharmaka, also radioaktive Arzneimittel, für die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) kommen vor allem in der Onkologie bei der Diagnostik von Tumoren, aber auch in der Kardiologie und Neurologie zum Einsatz. Patienten wird vor einer Untersuchung eine geringe Menge der radioaktiven Substanz injiziert. Oft ist das ein mit Fluor-18-markierter Zucker, die F-18-markierte Fluorodesoxyglucose oder kurz FDG, der sich in erkranktem und gesundem Gewebe unterschiedlich anreichert. Die ausgesendete Strahlung beim Zerfall der Radionuklide wird während der PET-Untersuchung detektiert und gibt so beispielsweise Aufschluss über Größe und Lage von Tumoren und Metastasen.

Auch in Rossendorf ist FDG das mit Abstand am häufigsten produzierte Radiopharmakon. Seine Herstellung erfolgt in drei Etappen. Im ersten Schritt muss an einem Zyklotron das Radionuklid erzeugt werden. Dafür bestrahlen die Wissenschaftler ein festes, flüssiges oder gasförmiges Ausgangsmaterial – das Target – mit beschleunigten Protonen. Die Wucht der kleinen Teilchen beim Aufprall löst eine Kernreaktion aus.



Um das Radionuklid Fluor-18, das für die FDG-Herstellung benötigt wird, zu erzeugen, nutzen die Forscher Wasser, das mit dem Sauerstoff-Isotop O-18 angereichert ist.

Gute Herstellungspraxis: Garant für Qualität

Im zweiten Schritt wird das Radionuklid beispielsweise in ein Zucker- oder ein Aminosäure-Molekül integriert, um es für die Nuklearmedizin nutzbar zu machen. Im Reinraum-Labor stellen die Dresdner Forscher das eigentliche Arzneimittel aus dem Radionuklid und weiteren Stoffen her – abgeschirmt im Reinraum hinter zehn Zentimeter dicken Bleiwänden. „Wir arbeiten mit Synthese-Automaten, die per Computer gesteuert werden“, sagt Frank Füchtner.

Der dritte Schritt bei der Radiopharmaka-Herstellung ist die Qualitätskontrolle spezieller Proben, die bei jeder einzelnen Charge durchgeführt werden muss. Parallel dazu befinden sich die frisch hergestellten Arzneimittel – verpackt in einem Container – bereits im Transportfahrzeug auf ihrem Weg ans Dresdner Uniklinikum oder andere nuklearmedizinische Einrichtungen. „Sobald von uns die Freigabe kommt, kann das Produkt am Patienten angewandt werden“, beschreibt Frank Füchtner den täglichen Takt.

Die gesamte Radiopharmaka-Herstellung unterliegt GMP-Bedingungen (Good Manufacturing Practice – Gute Herstellungspraxis). Die Regeln sind in internationalen und nationalen Gesetzen und Verordnungen verankert und schreiben beispielsweise die Anforderungen an die Räumlichkeiten, das

ABGESCHIRMT: In den Reinräumen am Zentrum für Radiopharmazeutische Tumorforschung stellen HZDR-Chemiker nachgefragte Radiopharmaka her. Foto: Rainer Weisflog



Personal und die Qualitätskontrolle vor. Erst wenn sämtliche Auflagen erfüllt werden, erhält eine Einrichtung die Herstellungs-erlaubnis. Das HZDR darf derzeit 14 Radiopharmaka produzieren und liefert jährlich etwa 2.500 Patientendosen aus.

Zwar haben die meisten der hier hergestellten Radiopharmaka keine arzneimittelrechtliche Zulassung, angewendet werden dürfen sie dennoch. „Es ist erlaubt, radioaktive Arzneimittel innerhalb einer Einrichtung herzustellen und zu nutzen“, erklärt Radiopharmazeut Füchtner. Bis 2015 gab es am HZDR einen eigenen Patientenbetrieb, jetzt laufen die Untersuchungen ausschließlich im Dresdner Universitätsklinikum Carl Gustav Carus im gemeinsamen PET-Zentrum. „Eine Zulassung für neue Radiopharmaka zu erlangen, ist sehr aufwendig und teuer“, erläutert Füchtner. „Wir müssten dafür klinische Studien durchführen. Das ist mit unserer Manpower nicht möglich.“

Höhere Energien und kürzere Wege ab 2017

Trotzdem ist das Portfolio des Teams noch nicht abgeschlossen. Weitere neuartige Substanzen sind denkbar. Von der Beschreibung einer Substanz in der Literatur bis zur medizinischen Anwendung vergeht allerdings mindestens ein Jahr. „Der Prozess funktioniert nur in enger Zusammenarbeit mit den medizinischen Partnern“, sagt Frank Füchtner. Eine gute Grundlage bietet dafür das neue Zentrum für Radiopharmazeutische Tumorforschung, das derzeit auf dem HZDR-Gelände Gestalt annimmt. Im Abschirmbunker wartet bereits ein komplett neues Zyklotron auf seinen Einsatz zur Radionuklidherstellung.

Das alte Rossendorfer Modell – das Herzstück der Radiopharmaka-Herstellung – ist mittlerweile in die Jahre gekommen. „Wir hätten die Steuerelektronik nachrüsten und das Transportsystem sowie andere Bauteile modernisieren müssen, was zu sehr hohen Kosten geführt hätte“, erklärt Zyklotron-Ingenieur Stephan Preusche. „Zusätzlich sind die Leistungsparameter ausgereizt.“ Das neue Zentrum bringt nun das Zyklotron, die Radiopharmaka-Produktionsräume und die Forschungslaboratorien unter ein Dach. Der neue Teilchenbeschleuniger eröffnet den Forschern darüber hinaus vielfältigere Möglichkeiten, da er wesentlich leistungsfähiger als sein Vorgänger ist.

„Wir können dann mehr Protonen auf Energien von bis zu 30 Megaelektronenvolt beschleunigen, bisher waren es nur 18 Megaelektronenvolt. Das ermöglicht uns zum einen, Radionuklide mit viel höherer Aktivität zu erzeugen“, blickt Füchtner in die Zukunft. Es können aber zum anderen auch neue Radionuklide hergestellt werden, die sich besonders für die nuklearmedizinische Therapie eignen. Der Routinebetrieb soll im Frühjahr 2017 starten. Frank Füchtner freut sich darauf: „Wir werden dann sehr, sehr gute Bedingungen haben.“ —

KONTAKT

„Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung am HZDR
Dr. Frank Füchtner
f.fuechtner@hzdr.de

// Der Rossendorfer Campus ist nur eine halbe Autostunde von Dresdens Innenstadt entfernt – und liegt doch mitten im Wald. „entdeckt“ sprach mit dem Kaufmännischen Direktor Peter Joehnk über die Herausforderungen, die diese außergewöhnliche Lage mit sich bringt.

„WIR HABEN DIE WEICHEN RICHTIG GESTELLT“

_Interview . Sabine Penkawa



MASTERPLANER: Als Kaufmännischer Direktor leitet Peter Joehnk seit vielen Jahren die Geschicke am HZDR. Foto: Philip Benjamin/NCT Dresden

Herr Joehnk, was macht den Forschungscampus so besonders?

Es sind viele Dinge, zum einen die Lage inmitten der Natur, die Auswirkungen auf alle unsere Tätigkeiten hat. Der Natur- und Klimaschutz und das nachhaltige Bauen sind in unserer Masterplanung seit vielen Jahren verankert. In unserem integrierten Klima- und Umweltschutzkonzept, das wir bis Sommer 2017 erarbeiten, werden wir sie noch weiter definieren. Zum

anderen machen uns unsere Spitzenforschung und vor allem die Menschen, die hier arbeiten, besonders. Unsere Doktoranden und Auszubildenden zählen oft zu den besten ihres Jahrgangs, das zeigen zahlreiche Auszeichnungen.

Seit fast 15 Jahren wird am HZDR nach nachhaltigen Gesichtspunkten saniert und gebaut.

Um die Modernisierung des Standortes voranzubringen, haben wir 2002 einen Masterplan erarbeitet. Seitdem werden alle Maßnahmen vor ihrer Umsetzung nach ökonomischen, ökologischen und ästhetischen Kriterien beurteilt. Der Masterplan gilt heute noch, allerdings in seiner dritten Fortschreibung, und auch unser Anliegen von damals hat nichts an Aktualität verloren. Wir wollten ein Areal, das einen attraktiven Rahmen und herausragende Arbeitsmöglichkeiten für Forschung auf Weltklasse-Niveau bietet. →



GROSSE FORSCHUNG IM GRÜNEN: Auf einer Fläche fast so riesig wie der Stadtstaat Monaco erstreckt sich der Campus des HZDR. Foto: Jürgen-M. Schuster/dresden-luftfoto.de

Wie profitieren die Wissenschaftler von diesen Veränderungen?

Wir haben hier in den vergangenen Jahren einzigartige Experimentiermöglichkeiten geschaffen. Forschungsanlagen wie unser Hochfeld-Magnetlabor, das Ionenstrahlzentrum und das Zentrum für Hochleistungs-Strahlenquellen ELBE bieten für Wissenschaftler aus der ganzen Welt hervorragende Bedingungen. Unser neues Zentrum für Radiopharmazeutische Tumorforschung nimmt mehr und mehr Gestalt an. 2017 wird es in Betrieb gehen und den Krebsforschungsstandort Dresden weiter stärken. Ein weiteres Zukunftsprojekt ist die Forschungsplattform DRESDYN, eine weltweit einzigartige Anlage für Experimente mit Flüssigmetallen. Auch hier laufen hoffentlich im nächsten Jahr die ersten Versuche. Innerhalb der Forschungsgemeinschaft wird dieses Projekt sicher wieder große Aufmerksamkeit hervorrufen.

Seitdem hat sich auf dem Gelände viel verändert. Worauf haben Sie Ihr Hauptaugenmerk gerichtet?

Wenn man unseren Campus heute sieht, denke ich, dass wir die Weichen richtig gestellt haben. Die überwiegende Zahl der Gebäude und Labore ist saniert und mit dem neugestalteten Eingangsbereich haben wir dem Zentrum ein Gesicht nach außen gegeben. Vor allem aber haben wir die Forschungsinfrastruktur grundlegend modernisiert und erweitert. Das ist nicht selbstverständlich. Das Thema Sanierung wird innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft aktuell heftig diskutiert, weil eine Anzahl von Zentren die notwendigen Leistungen in der Vergangenheit nicht durchführen konnte. Bei vielen stehen noch erhebliche Arbeiten an.

Warum ist das nachhaltige Bauen so wichtig für das HZDR?

Das ist unser Beitrag zur Schonung der Ressourcen, aber natürlich auch zur Schonung unserer Budgets. Um nur einige Beispiele zu nennen: Unser Zentrum wird vorrangig durch erneuerbare Energien mit Wärme versorgt. Wir arbeiten mit einer hocheffizienten Geothermie-Anlage und einem eigenen Blockheizkraftwerk, das neben Wärme auch Energie liefert. Die gesetzliche Forderung, mindestens 50 Prozent des Wärmebedarfs bei Neubauten durch erneuerbare Energien zu decken, wird von uns deutlich übererfüllt. Bei der Sanierung von Gebäuden haben wir auf eine entsprechende Dämmung geachtet und konnten dadurch Wärmeeinsparungen von 55 bis 70 Prozent pro Gebäude erreichen.

Wo sehen Sie für die nächsten Jahre noch Handlungsbedarf?

Wir sind auf dem richtigen Weg. Rossendorf muss zukunftsfähig bleiben, und zwar in allen Belangen. Daran arbeiten wir mit großem Engagement und sichtbaren Ergebnissen. Ein Thema, dem auch in Zukunft eine hohe Bedeutung zukommt, ist das Energiesparen. Durch die zusätzlichen Gebäude und die neuen Forschungsausstattungen verzeichnen wir einen permanent steigenden Energieverbrauch, der erheblichen Einfluss auf die Betriebskosten hat. Dem müssen wir etwas entgegensetzen. Gemeinsam mit anderen Helmholtz-Zentren haben wir gerade das Projekt „Campus 2030“ abgeschlossen. Dabei haben wir wichtige Daten über Medienverbräuche gewonnen. Darauf aufbauend wollen wir mit anderen Helmholtz-Zentren und Kollegen vom Fraunhofer-Kompetenzzentrum an der Universität Bayreuth ein Energiekonzept erarbeiten, das Modellcharakter für Campusstandorte mit hohem Energiebedarf haben soll. Das Ziel ist ein nachhaltiger und effizienter Energieeinsatz. Wir tragen mit unserer detaillierten Datenerfassung und den Erfahrungen aus einer Vielzahl baulicher und anlagentechnischer Maßnahmen mit dazu bei. Am Ende bewerten wir die Ergebnisse und setzen sie bei Passfähigkeit hier am Standort um. Die anderen Zentren verfolgen dieses Ziel ebenfalls. —

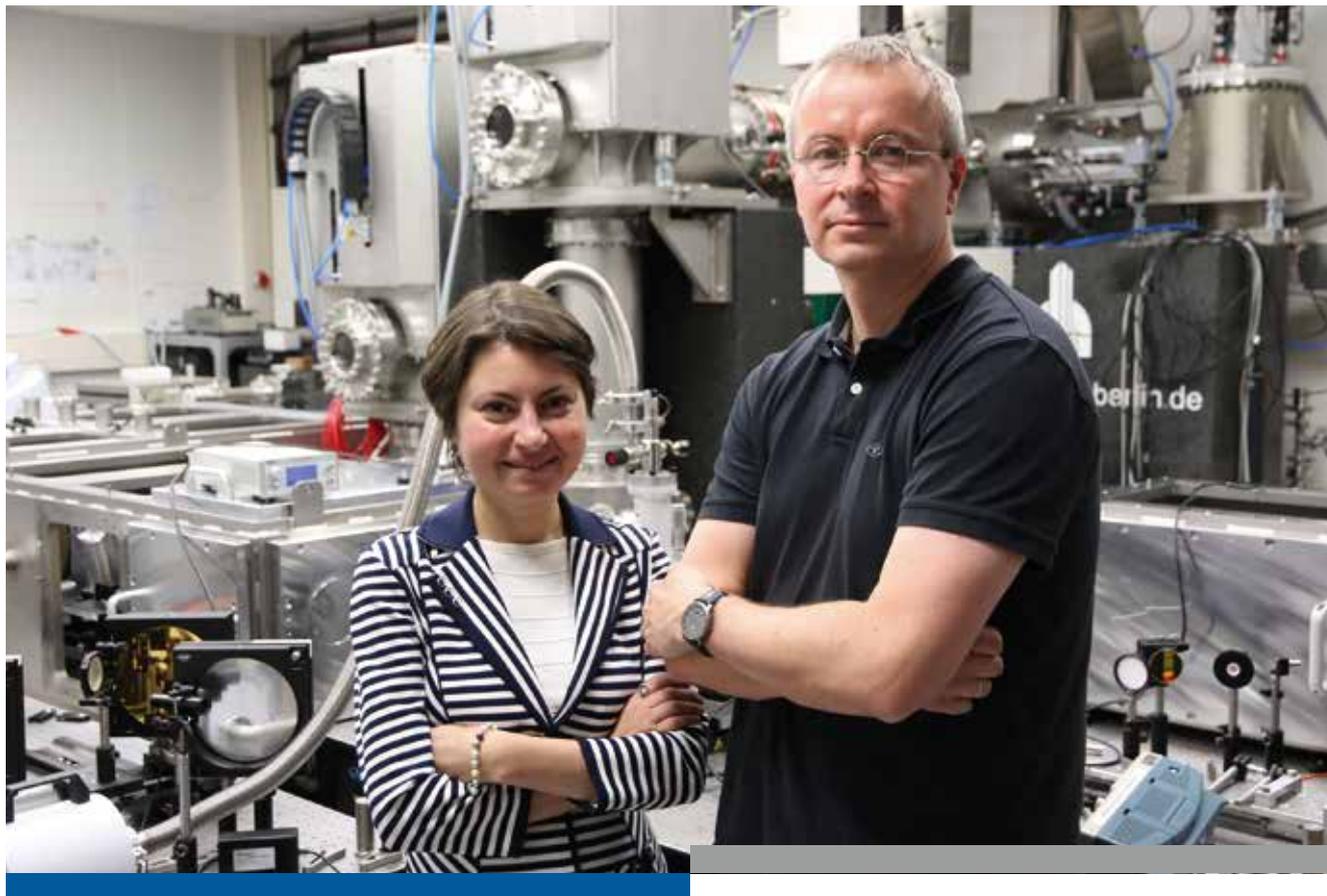
KONTAKT

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

// Dank internationaler Vernetzung konnten Alina Deac und Michael Gensch das EU-Projekt TRANSPIRE anschieben. Das vielversprechende Vorhaben könnte die Datenfunk-Netze wesentlich schneller machen.

PER TERAHERTZ-QUELLE IN DIE GIGABIT-GESELLSCHAFT

_Text . Heiko Weckbrodt



LÄNDERÜBERGREIFENDES TEAM: Alina Deac und Michael Gensch forschen an neuen Konzepten für Hochgeschwindigkeits-WLAN.

Der Weg Europas zu turboschnellem Internet könnte über Irland, Norwegen, Schweiz und Deutschland führen. Forscher und Ingenieure aus diesen Ländern wollen in dem Projekt TRANSPIRE gemeinsam eine neuartige Terahertz-Funktechnologie zur Praxisreife führen: Dünne Schichten besonderer magnetischer Materialien sollen dafür sorgen, dass die Datenfunk-Netze der Zukunft Informationen 100- bis 1.000-mal schneller als das WLAN von heute übertragen. Die EU fördert dieses Projekt mit rund 4,4 Millionen Euro aus dem „FET Open“-Programm. Möglich wurde all dies vor allem durch eine internationale Vernetzung junger und gestandener Forscher über die Ländergrenzen hinweg. Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf ist in diesem Verbund mit zwei Gruppen vertreten.

Eine dieser Netzknüpferinnen ist Alina Deac. Die rumänische Spintronik-Expertin hatte bereits in Japan, Frankreich, der Schweiz, den Vereinigten Staaten und Deutschland geforscht, bevor sie Anfang 2011 ans HZDR wechselte. „Ich bin nach Dresden gekommen, weil ich hier sehr gute Chancen gesehen habe, meine Forschung voranzubringen und mit Kollegen zusammenzuarbeiten, die eine besondere Expertise in der Material-Charakterisierung haben“, erklärt die Leiterin einer Helmholtz-Nachwuchsgruppe. Seitdem hat sie ihre internationalen Kontakte immer wieder spielen lassen, hat junge Forscher und Firmen in Sachsen, Irland, Norwegen und der Schweiz zusammengebracht.

„Alina war der zentrale Knoten im Netz, sie hat die Verbindung zwischen dem Trinity College in Dublin und dem HZDR hergestellt“, erzählt Michael Gensch, der mit seiner HZDR-Gruppe für „THz-getriebene Phänomene“ ebenfalls an dem Vorhaben beteiligt ist. „Sie kam eines Tages mit den Proben dieser

→

28

29

dünnen magnetischen Filme zu uns, auf deren Wachstum die irischen Kollegen spezialisiert sind, und mit denen auch das Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe in Dresden experimentiert.“ Denn Alina Deac wusste, dass ihr in Dresden mit der Terahertz-Strahlungsquelle TELBE eine besondere Anlage zur Materialanalyse zur Verfügung steht. „Bei unseren Untersuchungen stellte sich heraus, dass Laserimpulse diese Filme sehr einfach dazu anregen können, Terahertz-Strahlung mit genau einstellbarer Frequenz auszusenden.“

Winzige Terahertz-Quellen im LED-Format absehbar

Das war eine kleine Sensation. Denn üblicherweise sind sehr große und teure Anlagen nötig, um spektral durchstimmbare Strahlung in diesem Wellenlängenbereich zu erzeugen. Die hauchdünnen Filme, die am Trinity College in Dublin präpariert wurden, eröffneten plötzlich einen neuen technologischen Ansatz, um in naher Zukunft Terahertz-Quellen entwickeln zu können, die kaum größer als ein Stecknadelkopf sind, erklärt Gensch. „Als das klar war, kam uns die Idee, gemeinsam einen Förderantrag bei der EU zu stellen, um zu beweisen, dass wir damit eine praxistaugliche neue Klasse solcher Quellen konstruieren können. Der Clou des Antrags: die Anregung dieser Lichtquellen soll dann über Strom statt Laserlicht laufen.“

„Internationale Kooperationen sind für junge Forscher selbstverständlich.“

Und das gemeinsame Vorhaben „Terahertz RAdio communication using high anisotropy SPIn torque Resonators“ (TRANSPIRE) erhielt tatsächlich einen Zuschlag aus dem europäischen Zukunftstechnologie-Programm „Future and Emerging Technologies – Open“ (FET Open). Dies ist schon per se eine Auszeichnung, denn nur wenige Projekte haben hier überhaupt eine Chance: Von 544 Anträgen bewilligten die Geldgeber in der entsprechenden Runde gerade einmal 22 Projekte. Dass TRANSPIRE zum Zuge kam, liegt einerseits am großen Nutzen, den kompakte Terahertz-Quellen für leistungsstarke Datennetz-Sender und -Empfänger erlangen könnten. Andererseits hat das Projekt auch Vorbildkraft, denn hier arbeiten Wissenschaftler aus führenden Universitäten und Forschungsinstituten und Entwickler aus der freien Wirtschaft länderübergreifend eng zusammen.

Die Forscher vom Trinity College präparieren die dünnen Filme mit ihren besonderen magnetischen Eigenschaften. Die Arbeitsgruppe von Michael Gensch kümmert sich um ihre Charakterisierung, während Arne Brataas von der Universität im norwegischen Trondheim den Theorie-Part übernimmt: Mit Computersimulationen versucht er, die tiefere Physik hinter den Terahertz-Emissionen im Material zu klären, um die „Zutaten“ für die Filme weiter zu optimieren. Emile de Rijk von der Firma „SWISSto12“ aus der Schweiz bringt die industrielle Perspektive ein – denn es nützt nichts, Terahertz-Quellen

zu entwerfen, die nur im Labor funktionieren. Und all diese Fäden laufen schließlich bei Alina Deac zusammen, deren Gruppe das Design für erste Prototypen entwickeln wird.

Kulturelle Vielfalt befruchtet Forschung

Die Federführung für das Gesamtprojekt übernimmt Plamen Stamenov vom Trinity College und der irischen Wissenschaftsstiftung AMBER: „Die Förderung ist eine Anerkennung für unsere Arbeit an der Physik spinpolarisierter Materialien in den vergangenen fünf bis zehn Jahren, aber auch für die Qualität und Expertise unserer Kooperationspartner in Deutschland, Norwegen und der Schweiz. Ich hoffe, dass wir damit die Fundamente für die Hochgeschwindigkeits-Datennetze der Zukunft legen.“

Die Selbstverständlichkeit, mit der sich heute junge Forscher wie Alina Deac und ihre Mitstreiter beizeiten international vernetzen und europäische Top-Themen wie eben die Gigabit-Technologien angehen, ist in Sachsen erst in den vergangenen 10 bis 20 Jahren langsam gewachsen: Früher mussten sich selbst brillante Nachwuchswissenschaftler jahrelang durch die Hierarchien „hochdienen“, bevor sie ein eigenes Team mit internationalem Format leiten durften. Heute aber saugen sie schon mit der akademischen Muttermilch die Idee auf, dass ohne Kooperation mit den Besten weltweit kaum noch naturwissenschaftliche Spitzenergebnisse erzielbar sind, dass internationale Netzwerke essentiell auch für die eigene Forscherkarriere sind. Zudem eröffnen Instrumente wie die Nachwuchsgruppen den besten jungen Wissenschaftlern die Chance, schon früh Verantwortung zu übernehmen.

Und auch die Forschergruppen innerhalb der Institute sind kosmopolitisch geworden. „Wir haben hier nicht nur deutsche, sondern auch amerikanische, russische, indische, irische, chinesische und türkische Wissenschaftler in unseren Teams“, erzählt Michael Gensch. „Diese kulturelle Vielfalt ist sehr befruchtend.“ Und sie ist exzellenzgetrieben: „Die besten Köpfe weltweit gehen dorthin, wo sie mit den Besten zusammenarbeiten können, wo sie die besten Forschungsgeräte und Arbeitsmöglichkeiten – wie bei uns die TELBE – finden“, ist Gensch überzeugt.

PUBLIKATIONEN:

N. Awari u.a.: Narrow-band tunable terahertz emission from ferrimagnetic Mn₃-xGa thin films, in Applied Physics Letters, 2016 (DOI: 10.1063/1.4958855)

B. Green u.a.: High-field high-repetition-rate THz sources for the coherent control of matter, in Scientific Reports, 2016 (DOI: 10.1038/srep22256) →

KONTAKT

— Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung am HZDR
Dr. Alina Deac
a.deac@hzdr.de

— Institut für Strahlenphysik am HZDR
Dr. Michael Gensch
m.gensch@hzdr.de

// Seit Anfang Juli leitet Mechthild Krause das HZDR-Institut für Radioonkologie und das OncoRay-Zentrum. Die Strahlentherapeutin setzt auf den schnellen Transfer der Forschung in die Anwendung.

VOM LABORTISCH ZUM PATIENTENBETT

_Text . Simon Schmitt

„Die Kombination Arzt und Labor-Forscher in einer Person kommt relativ selten vor“, schätzt Mechthild Krause ein. Nach Ansicht der Strahlentherapeutin ist das ein Fehler. „Die beiden Bereiche befruchten sich gegenseitig. Durch die Arbeit in der Klinik kann ich besser einschätzen, an welcher Stelle die Forschung ansetzen muss. Gleichzeitig können wissenschaftliche Ergebnisse viel schneller in die Behandlung einfließen.“ Es ist diese Brücke zwischen der präklinischen Forschung auf der einen Seite und der Anwendung in der Krebstherapie auf der anderen, die die neue Direktorin des HZDR-Instituts für Radioonkologie und des OncoRay-Zentrums begeistert: „Als junge Assistenzärztin konnte ich Grundlagenforschung betreiben – das ist leider nicht oft der Fall.“

Seit 2001 konnte sie diese Kenntnisse mit Erfahrungen kombinieren, die sie bei der Behandlung von Krebserkrankungen an der Klinik für Strahlentherapie der Dresdner Uniklinik sammelte. „Das Modell des Clinician Scientist – also des Wissenschaftlers, der gleichzeitig als Krankenhausarzt arbeitet – ist

DIE FORSCHUNG IM KOPF, DEN PATIENTEN IM BLICK:
Mechthild Krause. Foto: Philip Benjamin/NCT Dresden



immer noch eher ungewöhnlich“, erzählt Mechthild Krause. „Es könnte allerdings den Transfer vom Labor in die Klinik verbessern. Generell ist der Übergang von neuen Ergebnissen der Krebsforschung in die Patientenbehandlung noch schleppend. Durch spezielle Abteilungen, die sich auf diese Schnittstelle konzentrieren, wollen wir das Problem beheben.“ Die Dresdner Forscherin baut dafür auf ein starkes Netzwerk, das sich in Deutschland etabliert hat – und das sie selbst mitaufgebaut hat.

Neben ihren Positionen am HZDR und OncoRay ist Krause gleichzeitig Professorin des Deutschen Konsortiums für Translationale Krebsforschung. Anfang November übernahm sie die Leitung der Klinik für Strahlentherapie am Dresdner Uniklinikum. Über das Nationale Centrum für Tumorerkrankungen am Standort Dresden verstärkt sich die Verbindung zum Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg. Als neue Institutsdirektorin will Mechthild Krause diese Netzwerke auch international erweitern: „Besonders mit anderen Partikeltherapie-Zentren, beispielsweise in Groningen, Aarhus und Manchester, streben wir enge Kooperationen an.“ Einen Weg sieht sie in Austauschprogrammen für junge Forscher: „Die persönlichen Beziehungen ermöglichen einen belastbaren Wissensaustausch.“

Ein Schwerpunkt liegt für Krause dabei auf der biologischen Individualisierung. „Wir stehen immer noch vor dem Problem, das ähnliche oder vermeintlich gleiche Tumore bei dem einen Patienten auf die Behandlung reagieren, bei dem anderen nicht. Der Grund dafür sind individuelle biologische Einflüsse.“ Die Medizinerin will deswegen spezielle Biomarker entwickeln, die die Wirkung der Strahlentherapie vorhersagen. „Dies könnte uns ermöglichen, gezielt bei den Prozessen zu intervenieren, die den Erfolg der Behandlung behindern.“ Als Institutsdirektorin wird sie zwar sicher eher selten selbst Daten auswerten: „Trotzdem möchte ich die Forschung nicht zu sehr vernachlässigen, auch wenn die Management-Aufgaben zunehmen. Die Entwicklung neuer Ideen und Projekte, die Einwerbung von Fördermitteln, die Koordination von multizentrischen Studien und vor allem die Betreuung junger Wissenschaftler werden weiterhin ein großer Teil meines Arbeitsalltags sein.“ Auch hier wird sie bestimmt die richtige Balance finden. —

KONTAKT

_Institut für Radioonkologie am HZDR / Nationales Zentrum für Strahlenforschung in der Onkologie – OncoRay
Prof. Mechthild Krause
m.krause@hzdr.de

// Unter der Leitung von Andrea Cherkouk erforschen Nachwuchswissenschaftlerinnen Mikroorganismen, die in Salzstöcken vorkommen. Das kann für nukleare Endlager von großer Bedeutung sein.

WINZLINGE IM SALZGESTEIN

Text: Inge Gerdes

Ob heiß, kalt oder salzig – manche Lebewesen können selbst unter extremen Bedingungen existieren. „In Umgebungen mit hoher Salzkonzentration, die wir erforschen, überleben nur überaus halophile, also salzliebende Mikroorganismen“, erklärt Andrea Cherkouk, Geoökologin am HZDR-Institut für Ressourcenökologie. „Vor allem Archaeen, die auch als Urbakterien bezeichnet werden, sind typisch für ausgefallene Lebensräume wie heiße Quellen oder eben Salzgestein.“

Die 38-jährige Wissenschaftlerin leitet die Nachwuchsgruppe „MicroSalt“ in der Abteilung Biogeochemie. Mit ihrem Team untersucht sie Mikroorganismen in Salzgesteinformationen. Thematisch bewegt sich die Arbeitsgruppe damit auf einem recht neuen Gebiet in der Mikrobiologie, das insbesondere für die Endlagerforschung von Bedeutung ist. Denn bei einer potentiellen Endlagerung im Salzstock könnten die vorkommenden Mikroorganismen mit radioaktiven Substanzen auf unterschiedliche Art und Weise wechselwirken.

ÜBERLEBENSKÜNSTLERN AUF DER SPUR: Gemeinsam mit ihren Doktorandinnen Madlen Franze (links) und Miriam Bader (rechts) untersucht Andrea Cherkouk Mikroorganismen im Salzgestein.

Start mit Verzögerung

Die Idee, die winzigen Mikroorganismen näher zu betrachten, entstand schon vor einigen Jahren. Richtig los ging es allerdings erst nach der Geburt ihrer Zwillinge Malika und Jakob und der Elternzeit. Um den wissenschaftlichen Anschluss nicht zu verlieren, stieg sie acht Monate nach der Geburt mit einer halben Stelle wieder ein. Rund ein halbes Jahr später erhöhte sie auf 75 Prozent. Das HZDR unterstützte die stufenweise Rückkehr in den Job und half ihr, eine Tagesmutter für die Kinder zu finden. „Das hat mir den Wiedereinstieg nach der Elternzeit sehr erleichtert“, erzählt die Gruppenleiterin. „Anders wäre es sicher weitaus schwieriger gewesen, den Beruf und die Familie zu vereinbaren.“

Seit 2014 widmet sich Andrea Cherkouk in Vollzeit dem Aufbau und der Leitung ihrer Arbeitsgruppe. Gleichzeitig machte sie sich in einem speziellen Kurs an der Helmholtz-Akademie, dem Weiterbildungsinstitut der Helmholtz-Gemeinschaft, fit für diese Aufgabe. Miriam Bader wurde die erste Doktorandin des neuen Forscherteams. In ihrer Promotion untersucht sie die Wechselwirkung von Mikroorganismen mit Radionukliden in hochsalinaren Systemen. Dafür ging sie im vergangenen Jahr für zwei Monate zum US-amerikanischen Los Alamos National Laboratory – Carlsbad Operation in New Mexico.

Zusammen mit der Kollegin Julie Swanson erforschte sie die im Salzstock des nahe gelegenen Endlagers „Waste Isolation Pilot Plant“ enthaltenen Mikroorganismen, insbesondere deren Wechselwirkungen mit Radionukliden. „Sie hat gute Ergebnisse mitgebracht, die wir gemeinsam publizieren werden“, so Andrea Cherkouk.

Ein starkes Team

Gern nutzt die Gruppenleiterin ihre Kontakte, um für ihre Schützlinge Forschungsaufenthalte im Ausland zu organisieren oder ermutigt sie, ihre Re- →





HARSCHER BEDINGUNGEN: Selbst im Salz tummeln sich kleinste Lebewesen. Foto: Los Alamos National Laboratory

sultate auf internationalen Konferenzen zu präsentieren. Nach ihrer Erfahrung wirkt sich das persönliche Kennenlernen positiv auf die weitere Zusammenarbeit aus. Das gilt auch für den Austausch mit den USA, der sich durch Miriam Baders Arbeit intensiviert hat. Im nächsten Jahr ist geplant, dass die zweite Doktorandin, Madlen Franze, dort ebenfalls zu halophilen Mikroorganismen forscht, wobei diesmal eher die Widerstandsfähigkeit gegenüber radioaktiver Strahlung im Fokus steht.

Das Team von Andrea Cherkouk ist inzwischen auf sechs Köpfe angewachsen. Neben der Leiterin und den beiden Doktorandinnen gehören Nicole Matschiavelli als Postdoc, Jennifer Steglich als Masterandin sowie die Technische Assistentin Sindy Kluge zum Team. „Dass es eine reine Frauengruppe ist, liegt nicht nur an mir“, betont die Leiterin. „Die Bewerberinnen wurden alle von einem Gremium ausgewählt.“

Der Aufwuchs der Gruppe ist Projekten wie MIND oder UMB zu verdanken. MIND nimmt auf Betreiben der EU Mikroorganismen im Endlager unter die Lupe. Im UMB-Projekt geht es darum, welchen Einfluss Mikroorganismen auf die Umwandlung von Bentonit haben. Das verwitterte Vulkangestein, das aufquillt, wenn es mit Wasser in Berührung kommt, soll in Lagerstätten als Barrierematerial dienen und zur Abdichtung eingesetzt werden. Spannende Themen für die jungen Wissenschaftlerinnen, die viel Zeit im Labor verbringen. Sie analysieren Proben aus dem Untergrund, versuchen die Organismen zu kultivieren oder die Winzlinge mithilfe von Gensequenzen zu bestimmen.

Forschung und Familie

Das Team aufbauen, Doktorandinnen betreuen, Experimente begleiten, Publikationen vorantreiben, laufende Projekte mit Leben füllen, neue Ideen entwickeln und Anträge schreiben – als Gruppenleiterin hat Andrea Cherkouk viel zu tun. Trotzdem geht sie auch noch ins Labor, um selbst einige kleinere Projekte zu bearbeiten. Auch kümmert sie sich um die Vernetzung

mit anderen Instituten und pflegt den Austausch mit Partnern in Europa und den USA. Neben Videokonferenzen stehen regelmäßig Dienstreisen zu Konferenzen und Meetings an.

Bleibt da überhaupt noch Zeit für die Familie? „Zugegeben, es ist nicht immer ganz einfach“, sagt die zweifache Mutter. „Doch die Rahmenbedingungen im HZDR helfen, Beruf und Familie unter einen Hut zu bringen.“ Morgens, kurz vor acht, bringt sie die Zwillinge in die Kita und holt sie dort am Nachmittag wieder ab. Da der Kindergarten auf dem Weg liegt, muss sie dafür nicht einmal einen Umweg machen. Auch ihr Mann kümmert sich oft darum. Für ihn ist das etwas schwieriger, weil er in Freiberg arbeitet. Während der Dienstreisen stehen ihnen die Großeltern tatkräftig zur Seite.

„Natürlich sind Jakob und Malika neugierig, was die Mama den ganzen Tag so macht“, erzählt Andrea Cherkouk. „Sie fassen das gern unter dem Stichwort ‚Experimente‘ zusammen und rechnen sich gegenseitig vor, wie oft sie mich schon bei der Arbeit besucht haben.“ Gute Gelegenheiten bieten sich am Tag des offenen Labors, an dem sie dieses Jahr tolle Versuche bestaunen konnten.

Andrea Cherkouk ist sehr froh, dass sich die Familie mit ihrer wissenschaftlichen Arbeit vereinbaren lässt. Sie freut sich darauf, die Nachwuchswissenschaftlerinnen weiter zu begleiten und die Ergebnisse der Gruppe zu kommunizieren. Außerdem möchte sie durch Vorlesungen an der Uni Studenten für ihr Fachgebiet begeistern. —

Familie und Beruf – im HZDR kein Widerspruch

Mit einer ganzen Reihe von familienfreundlichen Angeboten bietet das Helmholtz-Zentrum seinen Mitarbeitern gute Voraussetzungen, um Beruf und Familie in Einklang zu bringen: Flexible Arbeitszeiten durch Gleitzeit und Teilzeit-Modelle sowie die Möglichkeit der Telearbeit schaffen Freiräume für die Familie. Kooperationen mit zwei Kindertagesstätten und einer Tagesmutter sichern den Mitarbeitern einen einfachen Zugang zur Kinderbetreuung. Auch wird den persönlichen Belangen der Mitarbeiter durch verlässliche Regelungen rund um Eltern- und Pflegezeit Rechnung getragen. Ein Eltern-Kind-Zimmer im Gästehaus des HZDR ermöglicht es, im Notfall die Kinder mitzubringen und hier zu arbeiten.

KONTAKT

„Institut für Ressourcenökologie am HZDR
Dr. Andrea Cherkouk
a.cherkouk@hzdr.de

// Sie spielt Tennis und liebt Bücher. Aber ihre Leidenschaft gilt Phänomenen an der Schnittstelle von Physik und Ingenieurwissenschaft. Kerstin Eckert ist den Geheimnissen von Prozessen an Grenzflächen auf der Spur. Denn diese geben der Forschung noch immer zahlreiche Rätsel auf.

DIE GRENZGÄNGERIN

_Text . Sabine Penkawa



se, wenn ein Fahrrad zu rosten beginnt. Aber auch die Verschmutzung von Oberflächen oder der selbstreinigende Effekt der Lotuspflanze, bei dem das Wasser in Tropfen von den Blättern abperlt und alle Schmutzpartikel auf der Oberfläche mitnimmt, finden an Grenzflächen statt – also dort, wo verschiedene Materialien aufeinandertreffen.“

Schwerelosige Forschung

Seit Oktober ist Kerstin Eckert Professorin für „Transportprozesse an Grenzflächen“ an der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden. Am Institut für Fluidodynamik des HZDR leitet sie eine Abteilung gleichen Namens. „Damit es an der Grenzfläche zu einer Anlagerung von Partikeln oder Molekülen, zu einem Stoffübergang oder einer chemi-

PHYSIKERIN DURCH UND DURCH: Für ihre Forschung nutzt Kerstin Eckert sogar die Schwerelosigkeit.

Kerstin Eckert experimentierte schon als Kind leidenschaftlich gern. „Physikalische Themen empfand ich immer als spannend“, erzählt sie. Gefördert durch die vertiefte Ausbildung am Dresdner Martin-Andersen-Nexö-Gymnasium war es für sie selbstverständlich, diese Naturwissenschaft zu studieren. Heute interessiert sie vor allem, was passiert, wenn unterschiedliche Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe aufeinander treffen. Welche Vorgänge laufen an den Kontaktstellen ab? Und wie kann man sie beeinflussen?

„Gerade weil die Grenzflächenprozesse so einen großen Einfluss auf die Eigenschaften von Materialien haben, ist es wichtig, sie besser zu verstehen“, betont die Wissenschaftlerin. „Es ist uns sicherlich nicht immer bewusst, aber wir haben täglich mit Reaktionen an Grenzflächen zu tun. Beispielswei-

sen Reaktion kommt, müssen sie erst dorthin transportiert werden. Wir wollen die dabei ablaufenden Teilprozesse besser verstehen und neue Methoden entwickeln, um einzelne Schritte gezielt zu beeinflussen“, erklärt die Physikerin. Dafür scheut sie auch nicht die Schwerelosigkeit. So nutzt sie für ihre Forschung die Parabelflüge des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, bei denen dieser Zustand erreicht wird.

Im September beschäftigte sich das Team um Kerstin Eckert während eines solchen Fluges mit Methoden, um Ionen der Seltenerd-Metalle zu trennen. „Wir testen die Anwendung von magnetischen Feldern auf wässrige Lösungen, die solche Ionen enthalten. Aufgrund ihrer paramagnetischen Eigenschaften sammeln sie sich unter bestimmten Bedingungen an Grenzflächen, sofern ein inhomogenes magnetisches Feld anliegt. Die Forschung unter Schwerelosigkeit gibt uns die einzigartige Möglichkeit, detaillierte Kenntnisse über die einzelnen Teilschritte zu erhalten, weil die Schwerkraft unsere Beobachtungen nicht stört. Die magnetische Separation könnte helfen, den Verbrauch von Lösungsmitteln beim Recycling der Seltenen Erden zu reduzieren.“ →

Methoden für verfahrenstechnische Prozesse optimieren

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt der neuen Abteilung liegt im Bereich der Flotation für feinkörnige Feststoffe. Diese Methode nutzt aus, dass sich Gasblasen leicht an hydrophobe, also durch Wasser schwer benetzbare, Oberflächen anlagern, und diesen Partikeln Auftrieb verleihen, so dass sie schwimmen. „Flotation ist der klassische Prozess zur Erzaufbereitung und besitzt gleichzeitig ein hohes Potential für die Weiterentwicklung von Recyclingverfahren und die Abwasseraufbereitung. Mit unseren Kollegen vom Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie wollen wir den Haftungsprozess relevanter Wertstoffpartikel an Blasen unter komplexen hydrodynamischen Bedingungen besser verstehen und für verschiedene Flotationsverfahren optimieren“, veranschaulicht die Professorin.

Neben der Forschung ist ihr vor allem die Familie wichtig. Wenn es die Arbeit zulässt, wandert Kerstin Eckert gern mit ihrem Mann und ihren Kindern. Aber so richtig lässt sie die Wissenschaft auch in ihrer Freizeit nicht los. Ihr Ehemann Sven Eckert – ebenfalls passionierter Physiker – leitet die Abteilung Magneto hydrodynamik am Institut für Fluid dynamik des HZDR. „Natürlich sind unsere Forschungsthemen auch bei uns zu Hause sehr präsent. Wir beraten uns oft. Das ist sehr hilfreich.“ —

KONTAKT

— Institut für Fluid dynamik am HZDR
Prof. Kerstin Eckert
k.eckert@hzdr.de

Schon fast ein halbes Dutzend – Christian Golnik mit Behnken-Berger-Preis ausgezeichnet

2012: Kristin Gurtner. 2013: Christian Richter. 2014: Karl Zeil. 2015: Kristin Stützer. Und nun Christian Golnik. Bereits zum fünften Mal in Folge ging eine Auszeichnung der Behnken-Berger-Stiftung an Forscher des HZDR oder des OncoRay-Zentrums. Der Preis, der abhängig von der Platzierung mit einer Summe zwischen 5.000 und 15.000 Euro dotiert ist, richtet sich an Nachwuchswissenschaftler auf dem Gebiet der Strahlenforschung. Die Erfolge unterstreichen auch die gute Kooperation zwischen den beiden Einrichtungen. So erhielten Christian Richter vom OncoRay und Karl Zeil vom HZDR-Institut für Strahlenphysik den Preis für ihre gemeinsame Forschung zur Anwendung laserbeschleunigter Protonen bei der Krebsbehandlung.

Kristin Stützer wiederum, die ihre Promotion am HZDR begonnen und am OncoRay abgeschlossen hat, konnte auf das Fachwissen beider Institutionen zurückgreifen. In ihrer

Doktorarbeit hat sie dazu beigetragen, die Genauigkeit der Partikeltherapie-Positronen-Emissions-Tomographie zu verbessern. Und auch der Sieger in diesem Jahr, Christian Golnik, konnte von der Zusammenarbeit profitieren. So lief ein Teil der Experimente am ELBE-Beschleuniger und am Ionenstrahlzentrum des HZDR ab. Das Ergebnis kann sich sehen lassen. Immerhin mündete die Doktorarbeit des Krebsforschers in eine weltweite Patentanmeldung. Während seiner Promotion entdeckte er eine neue Methode, um die Reichweite von Partikelstrahlen bei der Tumorbehandlung zu messen.

Bislang ließ sich der Verlauf des Teilchenstrahls, der äußerst wirksam gegen erkrankte Zellen ist, nur mit begrenzter Genauigkeit vor der Anwendung berechnen, wodurch die Therapieform nicht ihr volles Potential ausschöpfen konnte. Mit dem neuen Verfahren lässt sich dagegen der Weg der Partikel ohne Eingriff in den Körper genau nachverfolgen. Es nutzt dafür eine physikalische Gesetzmäßigkeit: Durchquert ein geladenes Teilchen Gewebe, werden Atomkerne angeregt, die Gammastrahlung abgeben. Die Forscher können dadurch über Detektoren die Abbremszeit – also die Dauer, die Teilchen im Gewebe unterwegs sind – feststellen, was ihnen ermöglicht, Bremsweg und damit Reichweite des Partikelstrahls zu bestimmen. Das Verfahren könnte so Abweichungen von der geplanten Bestrahlung sofort sichtbar machen. —



AUSGEZEICHNETE FORSCHUNG:
Christian Golnik

Internationaler Nachwuchspreis für Hochleistungsrechnen geht an Axel Hübl

Es gibt Aufgaben, bei denen selbst die leistungsstärksten Computer ins Schwitzen kommen. Zum Beispiel die Simulation eines Laserstrahls, der mit hunderten Billionen von Watt auf eine Folie trifft. Dabei entsteht ein Hoch-Energie-Plasma – ein wildes Gemisch aus Milliarden von Elektronen und Ionen. Um das Zusammenspiel all dieser Teilchen dreidimensional zu modellieren, braucht es eine gewaltige Rechenkraft und einen effizienten Code. Diesen konnte Axel Hübl mit weiteren Nachwuchsphysikern des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf entwickeln. Bereits seit dem Jahr 2008 tüftelt das Team um Michael Bussmann vom HZDR-Institut für Strahlenphysik an der Software „PIConGPU“, die es als Open Source jedem Forscher zur Verfügung stellt.

Das Ergebnis: der heute leistungsfähigste Simulationscode der Laser-Plasmaphysik. PIC steht dabei für „Particle-in-Cell“. Das Programm beschreibt die Wechselwirkung geladener Teilchen mit elektromagnetischen Feldern in einem virtuellen räumlichen Gitter über die Lösung von Differentialgleichungen. Anders als sonst üblich nutzt es jedoch nicht nur die normalen Hauptprozessoren, das Herzstück eines Computers, sondern auch GPUs – die Recheneinheiten von Grafikkarten, die die Prozesse viel schneller verarbeiten können. Axel Hübl trug wesentlich dazu bei, den Code auch für Supercomputer fit zu machen. Dadurch erhielten die HZDR-Nachwuchsforscher bereits zweimal Zugang zum derzeit drittschnellsten Computer der Welt.



Foto: Rainer Weisflog

So konnten sie am TITAN des Oak Ridge National Laboratory im US-Bundesstaat Tennessee 2013 die Bewegung von Milliarden Elektronen in Plasmajets simulieren und deren abgestrahltes Licht berechnen. Im vergangenen Jahr modellierten sie am gleichen Ort den Beschuss eines kugelförmigen Targets mit einem Laser. Auf diese Weise konnten sie die komplette Beschleunigung der Ionenstrahlen dreidimensional simulieren – bisher war dies nur in zwei Dimensionen möglich. Dadurch stimmen die neuen Modelle wesentlich besser mit den experimentellen Ergebnissen überein. Für seinen großen Anteil an diesen Leistungen zeichneten die Association for Computing Machinery und das Institute of Electrical and Electronics Engineers Axel Hübl Mitte November auf der SC16 in Salt Lake City mit der George Michael Memorial Fellowship aus, die mit 5.000 US-Dollar dotiert ist. —

Tobias Vogt erhält Helmholtz-Doktorandenpreis im Forschungsbereich Energie



Foto: Rainer Weisflog

Erstmals konnte in diesem Jahr ein Forscher des HZDR den Doktorandenpreis der Helmholtz-Gemeinschaft gewinnen. Während seiner Promotion beschäftigte sich Tobias Vogt vom Institut für Fluidodynamik mit Tornado-ähnlichen Wirbeln, Wellen, die im flüssigen Erdkern auftreten, und Mischprozessen beim Stahlrecycling – das verbindende Element: Strömungen. In all diesen Bereichen spielen sie eine zentrale Rolle. Für seine Untersuchungen nutzte der Dresdner Forscher leitfähige Flüssigkeiten. So erzeugte er in einer flüssigen Metalllegierung aus Gallium, Indium und Zinn mit einem rotierenden und einem wandernden Magnetfeld berührungslos Volumenkräfte, mit denen sich verschiedene Phänomene abbilden ließen.

Über Ultraschallmessungen konnte er dadurch die Ausbildung und den Zerfall eines Tornado-ähnlichen Wirbeltrichters beobachten und beschreiben. Der Wirbel zeigte dabei die gleichen fluidodynamischen Eigenschaften wie ein echter Tornado. Im zweiten Teil seiner Arbeit untersuchte Vogt sogenannte Trägheits- oder Inertialwellen im Flüssigmetall. Diese Bewegungen treten aufgrund der Erdrotation zum Beispiel in ozeanischen und atmosphärischen Strömungen auf, aber auch im flüssigen Erdkern. Durch gezielte Magnetpulse hat der Ingenieur die Wellen in verschiedenen Varianten in Flüssigmetall-Drehströmungen angeregt und detaillierte Informationen zu ihrer Dynamik gesammelt.

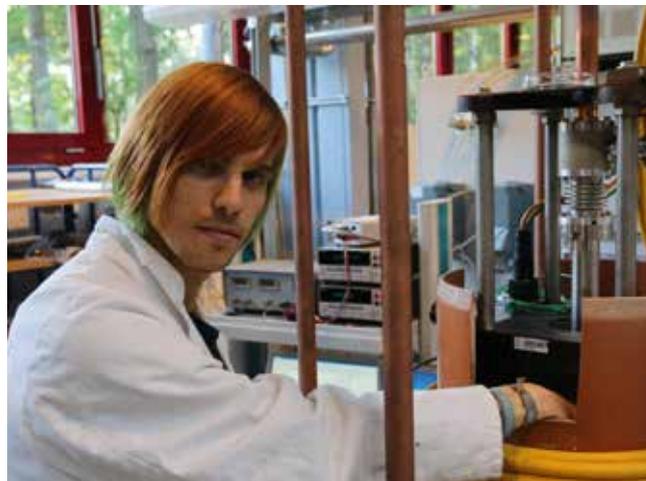
Außerdem konnte Tobias Vogt zeigen, dass sich Blasenströmungen, die häufig beim Einschmelzen und Aufbereiten von Stahlschrott eingesetzt werden, um die Schmelze zu durchmischen, über rotierende Magnetfelder beeinflussen lassen. Das ermöglicht eine bessere Gasverteilung, was den Energieverbrauch entsprechender großtechnischer Prozesse deutlich verringern würde. Für diese Leistungen erhielt er auf der Jahrestagung der Helmholtz-Gemeinschaft den Doktorandenpreis im Bereich „Energie“, der mit 5.000 Euro dotiert ist. Die dazugehörige, monatliche Reisekostenpauschale in Höhe von 2.000 Euro will der gebürtige Dresdner für einen Forschungsaufenthalt an der US-amerikanischen University of California in Los Angeles nutzen. —

WISSENSWERT – NACHRICHTEN RUND UM DAS HZDR

HZDR-Azubi bester Physiklaborant in Deutschland

Erst Dresden, dann Sachsen und nun ganz Deutschland – mit 96 von 100 möglichen Punkten ist Kevin Bauch im vergangenen Jahr bundesweit der beste Absolvent unter den Physiklaboranten. Diese Auszeichnung erhielt der frühere HZDR-Azubi Anfang Dezember vom Deutschen Industrie- und Handelskammertag (DIHK). Zuvor hatten ihn bereits die IHK Dresden und Sachsen für sein exzellentes Ausbildungsergebnis als Kammer- und Landesbester geehrt. Nach seiner dreieinhalb-jährigen Lehre arbeitet Kevin Bauch mittlerweile am HZDR-Institut für Fluidodynamik. Im August 2017 will er eine berufsbegleitende Weiterbildung zum Staatlich geprüften Techniker für Elektrotechnik beginnen.

Die Ehrung bestätigt gleichzeitig das Ausbildungskonzept des HZDR. So hat die IHK das Forschungszentrum zum 17. Mal in Folge als ausgezeichneten Ausbildungsbetrieb eingestuft. Mehr als 200 junge Männer und Frauen haben in den vergangenen 24 Jahren am HZDR die Grundlagen für ihren Beruf erlernt. 85 Prozent schlossen ihre Ausbildung mit guten und sehr guten Leistungen ab. 27-mal waren sie die besten



Kevin Bauch

Absolventen des IHK-Kammerbezirks Dresden, 20-mal die besten Azubis sachsenweit. Auf Bundesebene konnte sich im Jahr 2008 Joachim Wagner, ebenfalls als bester Physiklaborant, durchsetzen. Seit 2011 ist der Mitarbeiter am Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung selbst Ausbilder für die Physiklaboranten am HZDR.

DeltaX feiert 5-jähriges Jubiläum

Als in Dresden-Rossendorf vor mehr als sechs Jahren die Idee aufkam, ein eigenes Schülerlabor einzurichten, war noch nicht klar, ob es funktionieren wird. „Wir haben ganz bei null angefangen“, erinnert sich der jetzige Leiter Matthias Streller, der als Doktorand von Beginn an mit dabei war. „Möglich war und ist das Gelingen eines solchen Projektes nur durch die kontinuierliche Kooperation mit den verschiedenen Bereichen und Abteilungen am HZDR, denen wir als DeltaX-Team viel zu verdanken haben.“

Seit der offiziellen Eröffnung 2011 ist viel passiert: Zum Pilot-Experimentiertag „Magnetismus“ sind drei weitere hinzugekommen, es gibt zahlreiche ein- und mehrtägige Ferienangebote sowie Veranstaltungen für Lehrer. Und das wichtigste: Mehr als 11.000 Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen fünf bis dreizehn waren bereits zu Gast.

„Wir freuen uns, dass die Angebote unseres Schülerlabors regional und überregional ausgesprochen gut angenommen werden“, erzählte Roland Sauerbrey, der Wissenschaftliche Direktor des HZDR, als er zum 5-jährigen Jubiläum eine Kooperationsvereinbarung mit dem Werner-Heisenberg-Gymnasium Riesa unterzeichnete. „Wir erhoffen uns dadurch eine noch stärkere Zusammenarbeit mit Schulen, die eine anspruchsvolle naturwissenschaftliche Ausrichtung haben.“

Wissenschaft unter freiem Himmel

Was leisten kleinste Teilchen im Kampf gegen Krebs? Wie oft kann ein Axolotl seine Beinchen regenerieren? Und welche Materialien bringen Möbel zum Fliegen? Diese und weitere Fragen beantwortete von Juni bis Oktober 2016 eine Ausstellung, die die Partnereinrichtungen im Verbund Dresden-concept entworfen hatten. Am Neumarkt präsentierten sie über interaktive Stelen Höhepunkte der Dresdner Forschung. So stellten das OncoRay-Zentrum, das Uniklinikum Carl Gustav Carus und das HZDR in ihrem gemeinsamen Beitrag das Potential der Krebsbehandlung mit Protonen und die Möglichkeit, diese kleinen Teilchen per Laser zu beschleunigen, vor.

Die Ausstellung war auch Teil der Wissenschaftsmeile, die zum Bürgerfest für den Tag der Deutschen Einheit zahlreiche Besucher auf den Dresdner Neumarkt lockte. Neben vielen weiteren sächsischen Forschungseinrichtungen erläuterten vom 1. bis zum 3. Oktober HZDR-Wissenschaftler ihre Arbeit mit Exponaten und Experimenten. Die Stelen sind mittlerweile an neue Standorte umgezogen. Ein Teil fand seinen Weg ans HZDR. Vor dem Eingangsgebäude steht nun ein CityTree des Start-ups Green City Solutions. Über eine Symbiose aus Deckbepflanzung und Moossubstrat in fast 1.700 kleinen Töpfen bindet der natürliche Luftfilter Feinstäube langfristig. Wie die Hersteller angeben, schaffen die grünen Wände eine Filterleistung von 275 Bäumen.

HIF bezieht neuen Standort

Vor fünf Jahren ging es erst einmal nach unten – im tatsächlichen Sinne. An einem historischen Ort tief unter Tage, dem Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche“ der TU Bergakademie Freiberg, hatte die damalige Bundesministerin für Bildung und Forschung, Annette Schavan, den Schlüssel für das neue Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) überreicht. Seitdem arbeiten die HZDR-Forscher an innovativen Technologien, um Rohstoffe nachhaltig zu gewinnen und zu recyceln. Beinahe gleichzeitig mit seinem fünften Geburtstag konnte das Institut nun Mitte Juni sein neues Quartier beziehen.

Auf einer Fläche von rund 3.000 Quadratmetern sind damit fast alle HIF-Gruppen an dem Standort vereint. Das denkmalgeschützte Gebäude auf der Chemnitzer Straße wurde in den vergangenen drei Jahren aufwendig saniert. Insgesamt fließen rund 24 Millionen Euro in den neuen Forschungsstandort, die der Bund, das Land Sachsen und die Stadt Freiberg tragen. Während der Einweihung unterstrich die Sächsische Forschungsministerin, Eva-Maria Stange, die tragende Rolle des HIF und der TU Bergakademie Freiberg, dem wichtigsten Kooperationspartner des Instituts, für die Rohstoffstrategie des Freistaates.



Zusammen mit den beiden HIF-Direktoren, Markus Reuter (1.v.l.) und Jens Gutzmer (2.v.r.) erklären die Recyclingexperten Christiane Scharf (2.v.l.) und Philipp Rädicker (4.v.l.) der Sächsischen Forschungsministerin, Eva-Maria Stange (3.v.l.), dem Vertreter des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Michael Stötzel (3.v.r.), und Freibergs Oberbürgermeister, Sven Krüger (1.v.r.), bei der Einweihung des neuen Forschungsstandortes die Solvent-Extraktion. Foto: Detlev Müller

Terminvorschau

Reihe Naturwissenschaftliche Einsichten in Kunst- und Kulturgut

12.01.2017

Chemische Kriminaltechnik in der Archäologie
Ernst Pernicka | Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie
Dresden | Residenzschloss

09.02.2017

Großflächige Elementverteilungsbilder historischer
Gemälde zeigen Verborgenes
Matthias Alfeld | Sorbonne-Universität Paris
Dresden | Kulturrathaus

24.02.2017

Lehrerfortbildung „Physik trifft Informatik“
HZDR | Schülerlabor DeltaX

22.03.2017

Wiedereröffnung des sanierten Laborbereichs an der
HZDR-Forschungsstelle Leipzig

24.05.2017

Grundsteinlegung Nationales Centrum für
Tumorerkrankungen Dresden

16.06.2017

Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften
HZDR-Stand im Hörsaalzentrum der TU Dresden

17.06.2017

Lange Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft
Freiberg

Wissenschaftliche Veranstaltungen

13.-16.02.2017

Workshop „Towards Reality in Nanoscale Materials“
Levi (Finnland) | Co-Organisation durch Institut für
Ionenstrahlphysik und Materialforschung

14.-19.05.2017

22nd International Symposium on Radiopharmaceutical
Sciences 2017 (ISRS)
International Congress Center Dresden | Institut für
Radiopharmazeutische Krebsforschung

IMPRESSUM

Der Planetarische Nebel NGC 6302 – auch bekannt als Schmetterlingsnebel. Foto: NASA/ESA/Hubble SM4 ERO Team

HERAUSGEBER

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

ERSCHEINUNGSDATUM

Dezember 2016
ISSN: 2194-5705 // Ausgabe 02.2016

REDAKTION

Dr. Christine Bohnet, Simon Schmitt, Jana Grämer (Bilder) |
Kommunikation und Medien am HZDR
Wissenschaftlicher Redaktionsbeirat (nach Forschungsbereichen):
Energie – Dr. Harald Foerstendorf, Dr. Frank Stefani
Gesundheit – Dr. Fabian Lohaus, Dr. Holger Stephan
Materie – Dr. Stefan Facsko, Dr. Andreas Wagner

AUTOREN DIESER AUSGABE

Dr. Uta Bilow | Freie Wissenschaftsjournalistin, Dresden
Inge Gerdes | Freie Journalistin, Dresden
Frank Grotelüschen | Freier Wissenschaftsjournalist, Hamburg
Dr. Roland Knauer | Journalistenbüro Viering und Knauer, Lehnin
Sabine Penkawa | Kommunikation und Medien, HZDR
Sara Schmiedel | Freie Wissenschaftsjournalistin, Leipzig
Heiko Weckbrodt | Freier Wissenschaftsjournalist, Dresden

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

4.000 // Gedruckt auf Inapa Infinity Silk, FSC zertifiziert

KONTAKT // BESTELLUNG (kostenfrei)

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
Kommunikation und Medien
Dr. Christine Bohnet
Postfach 51 01 19 | 01314 Dresden
Tel. 0351.260 2450
E-Mail c.bohnet@hzdr.de

NACHDRUCK

mit Quellenangabe gestattet. Belegexemplar erbeten.

„entdeckt“ erscheint zweimal jährlich, unter dem Titel „discovered“ auch auf Englisch.
Alle Print-Ausgaben finden Sie als E-Paper auf den Internetseiten des HZDR.

➤ www.hzdr.de

Das HZDR auf Facebook und Twitter.

➤ www.facebook.com/Helmholtz.Dresden

➤ www.twitter.com/hzdr_dresden

iSRS 2017

HELMHOLTZ
ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF

22nd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RADIOPHARMACEUTICAL SCIENCES

May 14 – 19, 2017 | Dresden | Germany

KEYNOTE SPEAKERS

Prof. Andreas Türler – Universität Bern & Paul-Scherrer-Institut (Switzerland)
Opening Plenary Lecture: Heavy Elements

Prof. Alberto Signore – Sapienza Università di Roma (Italy)
Plenary Lecture I: Alzheimer Disease / Diabetes

Prof. Dr. Sibylle Ziegler – Technische Universität München (Germany)
Plenary Lecture II: Radiotracer-based Imaging

Prof. Wolfgang Enghardt – Technische Universität Dresden (Germany)
Plenary Lecture III: Radiotherapy with Heavy Ions

THANK YOU FOR MORE THAN
560 ABSTRACTS.

HOSTED BY

Deadline Early-Registration: February 21, 2017

www.isrs2017.org

HZDR

 SOCIETY OF
Radiopharmaceutical
Sciences