



XXL FORSCHEN IM EXTREMLABOR

Extreme Zustände unterm Acker

Ultrastarke Laser, höchste Magnetfelder und exorbitante Drücke ermöglichen völlig neuartige Experimente

Wenn Materialforschung auf Krebsmedizin trifft

Wie elektronische Nanosensoren Krankheitsherde aufspüren

Selbe Methode! Gleiches Ergebnis?

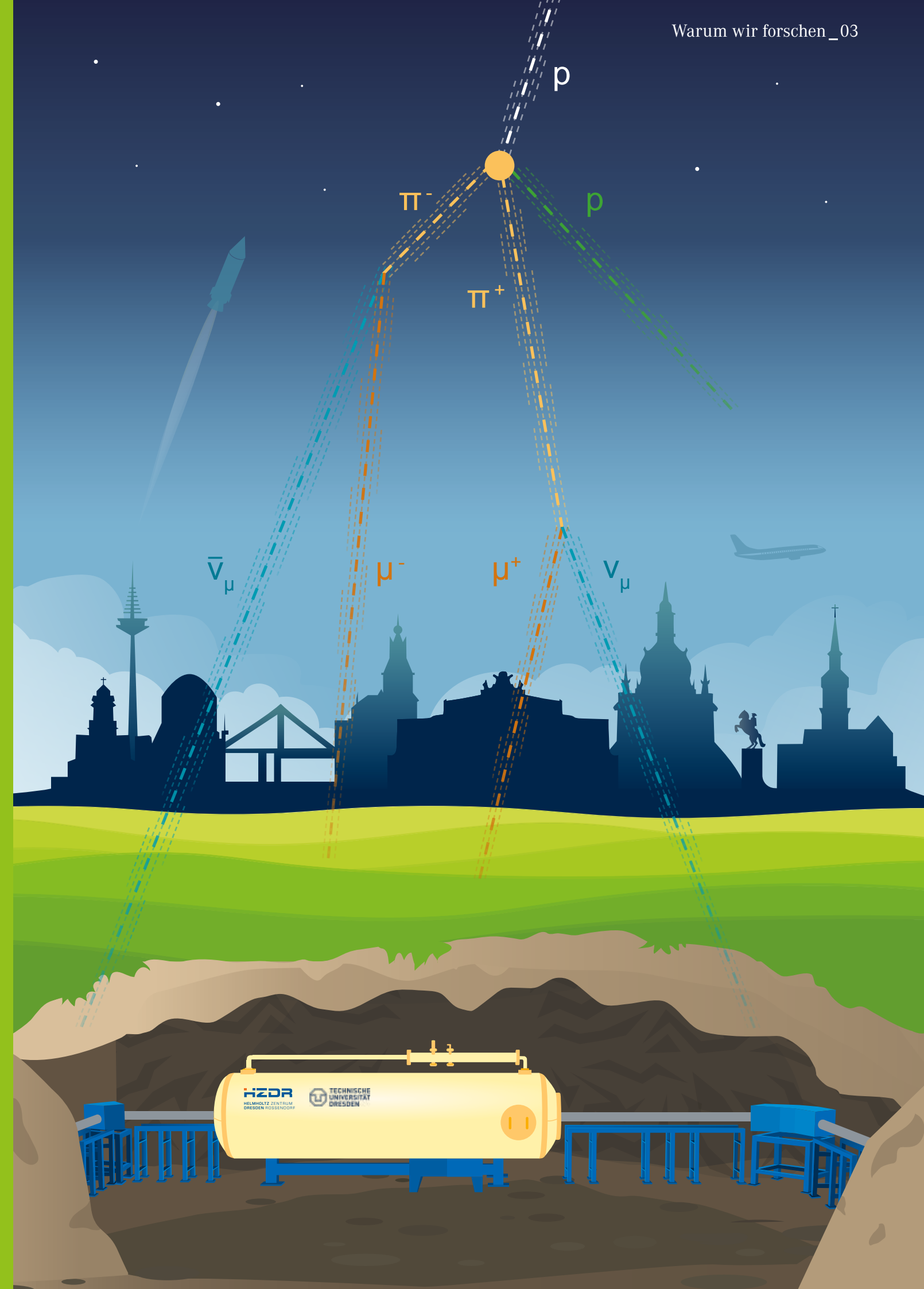
Weltweiter Vergleichsversuch mit überraschender Erkenntnis

In die weiße Wüste der Antarktis, in die unendliche Weite des Weltalls, tief in Richtung des Kerns der Erde: Um ungestört zu forschen, hat sich die Menschheit viele abgelegene Orte erschlossen, die unwirtlich und unwegsam erscheinen – immer mit dem Ziel, neues Wissen und Erkenntnisse zu generieren. Der Aufwand, solche Stationen und Anlagen aufzubauen und zu betreiben, übersteigt jedoch meist die finanziellen Mittel und personellen Kapazitäten einzelner Länder und Einrichtungen. Moderne naturwissenschaftliche Forschung ist deshalb größtenteils ein Gemeinschaftsprojekt zahlreicher Staaten und Köpfe. In jedem Land die ähnlichen Großforschungsanlagen zu errichten, wäre wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Irrsinn.

Als Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft bietet das HZDR eine einmalige Infrastruktur, die Forscherinnen aus der ganzen Welt offensteht – unter anderem auch an abgelegenen Orten wie dem Dresdner Felsenkeller. Zwar müssen die Wissenschaftlerinnen keine gefährvolle Anreise auf sich nehmen, um den Teilchenbeschleuniger zu erreichen, den das Rossendorfer Forschungszentrum in Kooperation mit der TU Dresden dort aufgebaut hat. Trotzdem sollten sie nicht unter Klaustrophobie leiden. Denn über dem Labor erstrecken sich rund 45 Meter massives Gestein – und das aus gutem Grund: Die Felsdecke schirmt die empfindlichen Experimente im Stollen von der kosmischen Höhenstrahlung ab, die als Teilchenhagel täglich auf die Erde herabfällt.

Das erlaubt es den Physikern, nukleare Fusionsreaktionen zu untersuchen und im Detail zu entschlüsseln, wie unsere Sonne und andere Sterne – gigantischen Kraftwerken gleich – in ihrem Inneren Atomkerne miteinander verschmelzen und so schwerere Elemente erzeugen. Weltweit sind solche Versuche nur an zwei weiteren Orten möglich. Vom Beschleuniger-Labor im Felsenkeller profitiert somit die gesamte Gemeinschaft der nuklearen Astrophysik. Denn für Experimente unter Tage – wie auch bei den anderen Großforschungsanlagen des HZDR – können sich natürlich Wissenschaftlerinnen jederzeit bewerben. Und so neues Wissen in die ganze Welt tragen.

Große Forschung für kleinste Teilchen





Liebe Leserinnen und Leser,

seit über einem Jahr zwingt uns ein vermeintlich kleines Virus Einschränkungen auf, die viele in einer globalisierten Welt wahrscheinlich kaum noch für möglich gehalten hätten. Auch die Forschung, die ja vom wissenschaftlichen Austausch lebt, hat in den ersten Tagen der Pandemie eine Schrecksekunde erfahren, in der sie scheinbar vor der globalen Herausforderung erstarrt ist – nur um im Anschluss umso stärker zurückzukehren. In Rekordzeit haben Wissenschaftlerinnen das Erbgut des Virus entschlüsselt, seine Verbreitungswege enttarnt und vor allem Impfstoffe entwickelt, die ihm seinen Schrecken nehmen.

Eine wichtige Rolle spielten dabei auch Großforschungsanlagen, bei denen Wissenschaftler länder- und fächerübergreifend ihre Expertise bündeln. Das HZDR betreibt mit dem Hochfeld-Magnetlabor, dem Ionenstrahlzentrum und dem Zentrum für Hochleistungsstrahlenquellen ELBE selbst drei solcher Einrichtungen, die Forscherinnen aus aller Welt nach Dresden ziehen. Auch an weiteren Anlagen in Deutschland und anderen Staaten ist das Wissen unserer Experten gefragt – so zum Beispiel bei der Helmholtz International Beamline for Extreme Fields am weltweit stärksten Röntgenlaser European XFEL oder an der Rossendorf Beamline, die wir an der European Synchrotron Radiation Facility in Grenoble schon seit langem betreiben.

Welche Forschung dies ermöglicht, möchten wir Ihnen in dieser Ausgabe anhand einiger Beispiele vorstellen. Auf Ihre Kommentare und Anregungen freue ich mich und wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre.

Simon Schmitt
Abteilung Kommunikation und Medien im HZDR

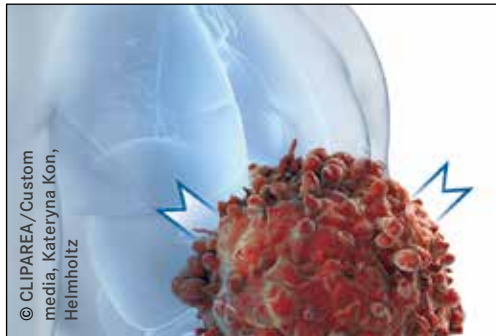
Inhalt



Porträt

28 Den unsichtbaren Feind sichtbar machen

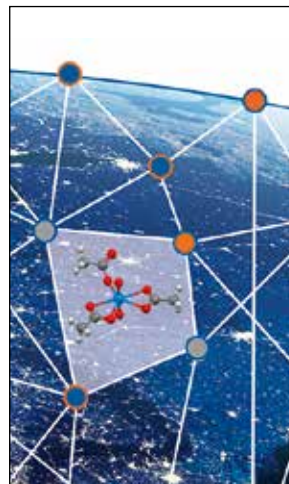
Radioaktiv markierte Moleküle sind nicht nur in der Lage, Tumore und ihre Metastasen zu visualisieren – sie können die Krebszellen sogar zerstören. Ein Spezialist für diese Theranostik genannte Idee ist Klaus Kopka.



Forschung

34 Selbe Methode! Gleiches Ergebnis?

20 Labore in sechs Ländern auf drei Kontinenten machen mit beim Methodencheck. Auf dem Prüfstand: spektroskopische Verfahren. Jede Methode liefert einen anderen Blickwinkel auf ein Objekt. Sind die Arbeitsweisen in den Laboren vergleichbar und stimmen die Methoden tatsächlich überein?



Titel

XXL Forschen im Extremelabor

10 Schärferer Röntgenblick für strahlende Elemente

Weltweit einzigartige Experimente mit radioaktiven Substanzen sind an der HZDR-Beamline am Europäischen Synchrotron in Grenoble möglich. Durch den hochintensiven Röntgenstrahl lassen sich selbst feinste Spuren von Selen oder Plutonium in einer Probe aufspüren.

16 Forschungslabor in der Größe eines Fingerhuts

Im Hochfeld-Magnetlabor Dresden sind Spulen im Einsatz, die unglaublichen Drücken trotzen müssen. Durch die Materialproben in ihrem schmalen Inneren jagen starke elektromagnetische Pulse. Das Ziel: die Entdeckung verborgener Eigenschaften von Nano-Werkstoffen oder Supraleitern.

20 Extreme Zustände unterm Acker

Die Röntgenblitze des European XFEL gehören zu den stärksten überhaupt. Das HZDR richtet hier über ein internationales Konsortium die Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF) ein. Die Kombination der besten verfügbaren Instrumente soll neue Erkenntnisse über Sterne, Planeten, Plasmawolken, Quantensysteme und vielseitige Materialien ermöglichen.



Titelbild: Experimente in hohen Magnetfeldern bieten einzigartige Möglichkeiten, grundlegende Erkenntnisse über die uns umgebende Materie zu erlangen. Magnetfelder erlauben dabei, Materialeigenschaften gezielt und vor allem kontrolliert zu beeinflussen, wie es sonst nicht möglich ist. Aus diesem Grund kommen hohe Magnetfelder bei der Untersuchung vieler neu entdeckter Materialien zum Einsatz, um deren Eigenschaften besser zu verstehen und letztendlich auch zu optimieren. In der Kondensatorbank des Hochfeld-Magnetlabors Dresden am HZDR wird die Energie gespeichert, die für die pulsartige Erzeugung der Magnetfelder notwendig ist. Quelle: HZDR/A. Wirsig

Rubriken

- 02 Warum wir forschen
- 04 Editorial
- 06 Woran wir forschen
- 40 Nachrichten aus dem HZDR
- 42 Impressum
- 43 Die Welt von Morgen

Highlights aus unserer Forschung

NANOELEKTRONIK

Halbleiter luftdicht verpackt

Eine neue Technik, um elektronische Bauteile aus empfindlichen Materialien vor Luftkontakt oder Chemikalien zu schützen, haben Wissenschaftlerinnen des Instituts für Ionenstrahlphysik und Materialforschung entwickelt. Dafür haben sie zweidimensionale Halbleiter aus Indium- und Galliumselenid in hexagonales Bornitrid eingebettet. Obwohl sie hervorragende Eigenschaften mitbringen, um äußerst kleine Elektronik herzustellen, kommen diese Halbleiter bislang kaum zum Einsatz. Jedoch zersetzen die üblichen Prozesse bei der Produktion die anfälligen Substanzen, sodass sie stark an Leistungsfähigkeit einbüßen. Wie die Experimente der Dresdner Physiker gezeigt haben, löst die vollständige Verkapselung mit zwei Schichten aus Bornitrid dieses Problem. Dafür ätzen die Forscherinnen zunächst in das obere Plättchen das gewünschte Elektrodenmuster und füllten die so entstandenen Löcher mit Palladium und Gold. Diese Schicht laminieren sie anschließend auf die hauchdünnen Halbleiter, um den elektrischen Kontakt herzustellen.

Publikation: H. Arora et al., in ACS Applied Materials & Interfaces, 2019 (DOI: 10.1021/acsami.9b13442)



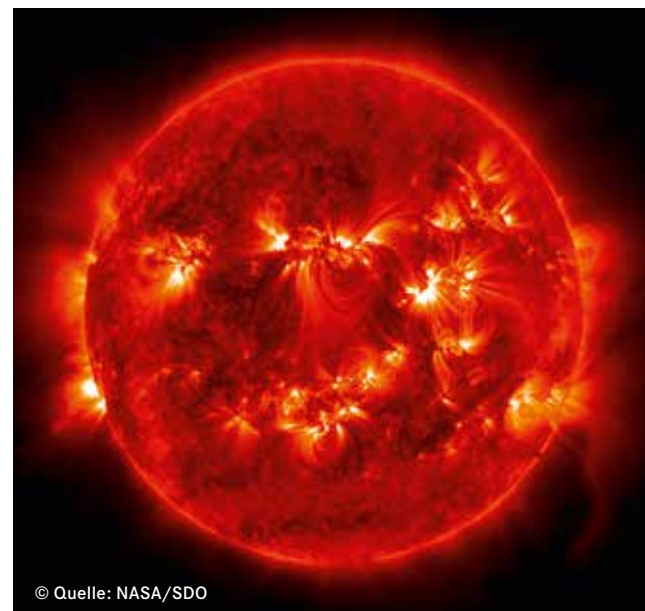
© HZDR/Sahneweiß/graphiclmotion, Shutterstock

ASTROPHYSIK

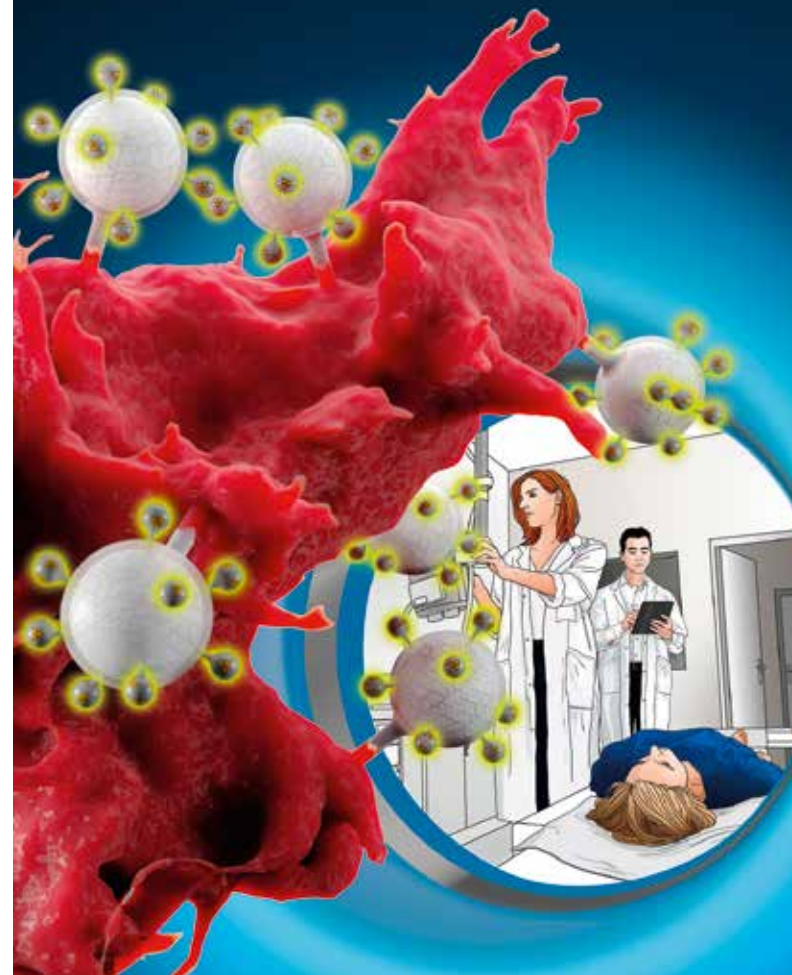
Stabil oder instabil?

Im rotierenden Plasma der Sonne wirkt eine bislang unbeachtete magnetische Instabilität. Forscher vom HZDR-Institut für Fluidodynamik haben zusammen mit Kollegen der Universität Leeds und des Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam diesen Spezialfall der sogenannten Magnetorotationsinstabilität entdeckt. Der Mechanismus destabilisiert rotierende, elektrisch leitfähige Flüssigkeiten und Gase in einem Magnetfeld. Erst auf diese Weise lässt sich die Entstehung von Sternen und Planeten aus großen, sich drehenden Staub- und Gasscheiben erklären. Anders als in diesen Scheiben drehen sich in der Nähe des Sonnenäquators die inneren Schichten allerdings langsamer als die äußeren, was bisher als ein extrem stabiles Strömungsprofil galt. Das internationale Team konnte nun jedoch demonstrieren, dass bei einem schraubenförmigen Magnetfeld die magnetische Instabilität bereits dann einsetzt, wenn die Geschwindigkeit zwischen den rotierenden Plasmaschichten nur schwach zunimmt – genau die Bedingung, die in der äquatornahen Region der Sonne vorherrscht.

Publikation: G. Mamatsashvili et al., in Physical Review Fluids, 2019 (DOI: 10.1103/PhysRevFluids.4.103905)



© Quelle: NASA/SDO



RADIOPHARMAZIE

Abgerichtet auf den Tumor

Ein interdisziplinäres Team vom HZDR-Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung und der FU Berlin konnte bioverträgliche Nanopartikel entwickeln, die sich hervorragend als Trägermoleküle eignen, um bestimmte Krebszellen aufzuspüren. Die Forscherinnen haben dafür winzige Teilchen aus dendritischen Polyglycerolen mit einem Antikörperfragment ausgestattet, das gezielt an dem Antigen EGFR (Epidermaler Wachstumsfaktor-Rezeptor) bindet. Verschiedene Krebsarten produzieren dieses Protein im Übermaß, sodass es in hoher Konzentration auf der Oberfläche der erkrankten Zellen anzutreffen ist. Bei ihren Experimenten konnten die Chemikerinnen belegen, dass sich ihre modifizierten Nanopartikel insbesondere am Tumor anreichern. Durch die zusätzliche Kombination mit dem Radionuklid Kupfer-64 und einem Farbstoff-Molekül lassen sich die Krebszellen sowohl mit der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als auch der Nah-Infrarot-Fluoreszenz sichtbar machen. Nach kurzer Zeit scheidet der Körper die Nanopartikel, die nicht am Tumor gebunden sind, über die Niere wieder aus.

Publikation: K. Pant et al., in Small, 2019 (DOI: 10.1002/smll.201905013)

MATERIALFORSCHUNG

Störrisch im Magnetfeld

Ein ungewöhnliches, physikalisches Phänomen haben Forscherinnen des Helmholtz-Zentrums Berlin und des Hochfeld-Magnetlabors Dresden am HZDR beobachtet, als sie spezielle Urankristalle in hohen Magnetfeldern untersuchten. Üblicherweise richten sich die winzigen magnetischen Momente in einem Festkörper nach einem äußeren Magnetfeld aus. Ist es stark genug, wird dadurch für gewöhnlich jedes Material ferromagnetisch. Die Uranverbindung U_2Pd_2In hat nun jedoch ein deutlich komplexeres Verhalten gezeigt. Oberhalb von 25,8 Tesla orientieren sich die magnetischen Momente nicht mehr am Magnetfeld, sondern formieren sich zu einer Art Überstruktur im Kristall, die sich in einem bestimmten Rhythmus wiederholt. Einen Grund dafür sehen die Physiker in verschiedenen, starken Wechselwirkungen, die im Kristallgitter gegeneinander arbeiten. Parallel zum Magnetfeld verschiebt sich deren Kräfteverhältnis. Die Ergebnisse erlauben einen Einblick in die Wechselwirkungen zwischen den sogenannten 5f-Elektronen, den äußersten Elektronen des Urans, die die magnetischen Momente tragen.

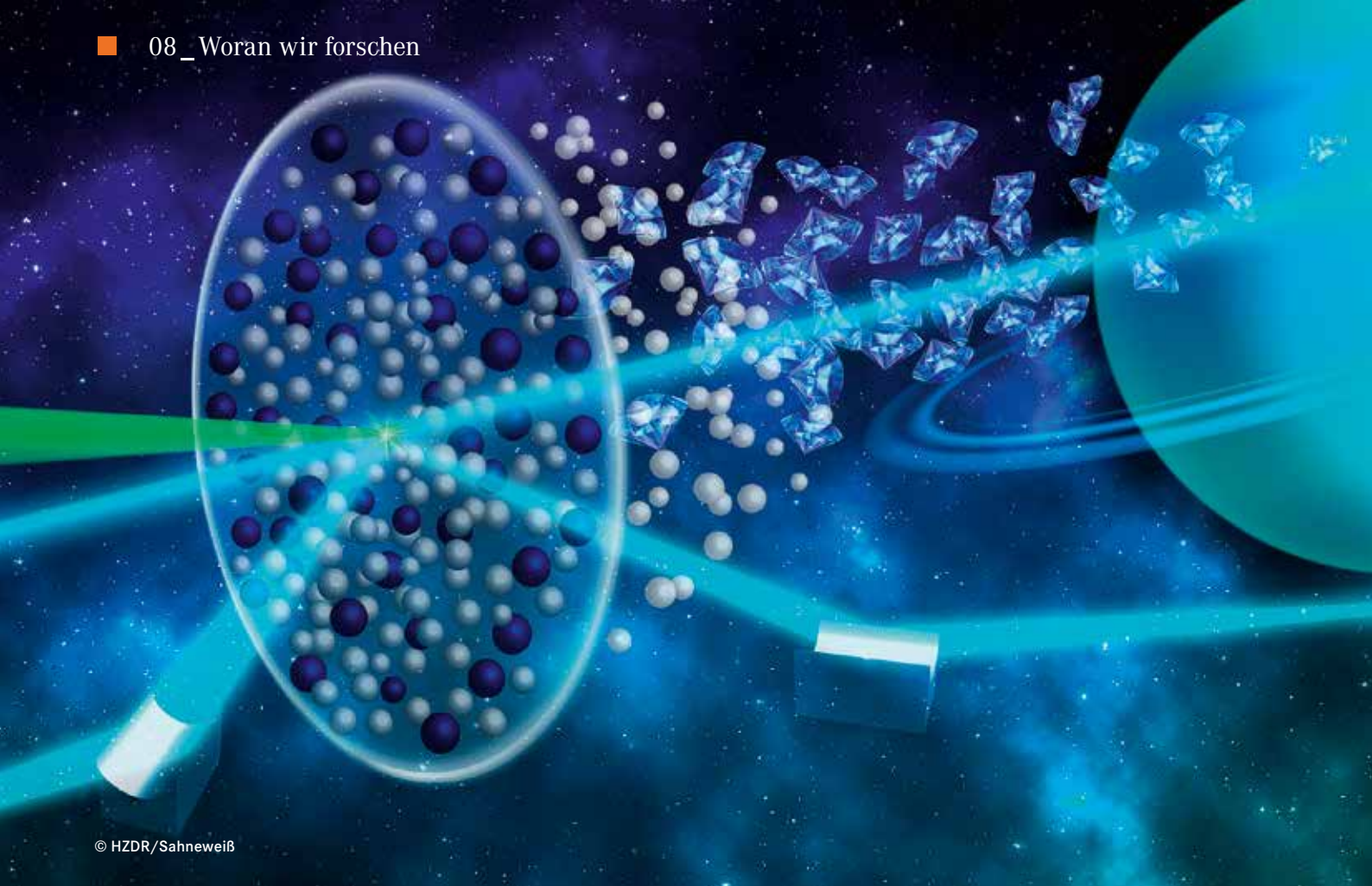
Publikation: K. Prokeš et al., in Physical Review Research, 2020 (DOI: 10.1103/PhysRevResearch.2.013137)

ROHSTOFFFORSCHUNG

Wertvolles Abwasser

Dass sich auch geringe Mengen des wichtigen Metalls Gallium aus industriellen Abwässern der Waferproduktion recyceln lassen, konnten Forscherinnen des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie und des Instituts für Ressourcenökologie zeigen. Bisher scheitern die üblichen Trennungsmethoden an den im Vergleich zum Gallium hohen Konzentrationen anderer Stoffe. Die Chemiker des HZDR vermischten die Abwässer deswegen zunächst mit sogenannten Siderophoren – einer speziellen Stoffgruppe, die sehr stark an Eisen bindet. Mit Hilfe von Desferrioxamin B und E konnten sie dadurch stabile Galliumkomplexe bilden und sie so von unerwünschten Kontaminationen im Wasser, wie Arsen oder Kalzium, trennen. Um das Gallium anschließend aus den Verbindungen zu lösen, verwendeten die Forscher chemische Komplexbildner. Auf diese Weise konnten sie mehr als 90 Prozent sowohl des wertvollen Rohstoffs als auch der Siderophoren wiedergewinnen. Gallium gilt als wichtige Ressource, da die Industrie das Metall für viele Hochtechnologie-Produkte benötigt.

Publikation: R. Jain et al., in Water Research, 2019 (DOI: 10.1016/j.watres.2019.04.005)



PLASMAPHYSIK

Diamonds are a Physicist’s Best Friend

Dank einer neuen Messmethode – der Röntgenstreuung – konnte ein Team unter Leitung des HZDR die Vermutung verstärken, dass es in den gigantischen Eisplaneten unseres Sonnensystems, Neptun und Uranus, Diamanten regnet. Durch den extrem hohen Druck in ihrem Inneren entmischt sich Kohlenwasserstoff in die zwei Komponenten. Die freigesetzten Kohlenstoff-Atome schließen sich wiederum zu Diamantstrukturen zusammen, die dann in die Planeten sinken, da sie schwerer als die sie umgebende Materie sind. Über das neue Verfahren konnten die Forscherinnen den experimentellen Nachweis, den sie vor einigen Jahren erstmals geliefert

hatten, präzisieren. So gelang es ihnen zu zeigen, dass es bei der Auftrennung keine flüssige Zwischenform gibt, sondern der Kohlenstoff fast komplett in Diamanten übergeht. Für ihre Versuche nutzten die Wissenschaftler einen Hochenergie-Laser, der die Proben stark aufheizt und Schockwellen in ihnen auslöst, sowie einen Röntgenlaser. Anhand der Streuung des Röntgenlichts konnten sie Rückschlüsse auf die Materiestruktur ziehen.

Publikation: S. Frydrych et al., in Nature Communications, 2020 (DOI: 10.1038/s41467-020-16426-y)

KREBSFORSCHUNG

Widerstand ist (hoffentlich) zwecklos

Besonders strahlenresistente Krebszellen von bestimmten Tumoren im Kopf-Hals-Bereich könnten sich durch die Kombination der Strahlenbehandlung mit einer Immuntherapie, die auf der sogenannten UniCAR-Technologie aufbaut, bekämpfen lassen. Das haben Wissenschaftlerinnen vom HZDR-Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung gemeinsam mit Kollegen am Nationalen Centrum für Tumorerkrankungen Dresden (NCT/UCC) bei Laborversuchen und im Tiermodell gezeigt. Sie haben dafür ein neues molekulares Bindeglied entwickelt, das gezielt am Oberflächenmarker CD98 koppelt. Diese Struktur kommt in hohem Maße auf den Zellen von Plattenepithelkarzinomen – der Krebserkrankung, der sich die

meisten bösartigen Tumoren im Kopf-Hals-Bereich zuordnen lassen – vor. Über eine ähnliche Kopplung an die weißen Blutzellen des Immunsystems, den sogenannten T-Zellen, führt das Bindeglied diese natürlichen Abwehrkräfte des Körpers zu den erkrankten Zellen und tötet sie ab. Auf diese Weise könnte es gelingen, auch die Krebszellen zu vernichten, die extrem widerstandsfähig gegen eine Strahlentherapie sind und oft zu einem erneuten Wachstum des Tumors führen.

Publikation: C. Arndt et al., in Oncolmunology, 2020 (DOI: 10.1080/2162402X.2020.1743036)

MATERIALFORSCHUNG

Natrium statt Lithium

Zwischen Doppelschichten aus dem hauchdünnen Kohlenstoff Graphen können sich deutlich mehr Natrium-Atome anlagern als im chemisch vergleichbaren Graphit. Zu diesem Schluss kommt eine deutsch-russische Gruppe um Forscherinnen vom HZDR-Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung, nachdem sie die Prozesse mit aufwändigen Computersimulationen nachgespielt haben. So konnten die Wissenschaftler zeigen, dass sich das Natrium nicht nur als eine Schicht, sondern in mehreren Lagen übereinander zwischen den Graphen-Blättchen anordnet. Diese Ergebnisse der theore-

tischen Arbeit könnten somit einen Weg zu Akkus weisen, die auf dem Alkalimetall aufbauen. Bisherige Prototypen scheitern vor allem daran, dass sich Natrium nur sehr widerwillig in die Graphitanoden begibt. Die Kombination mit Graphen könnte dieses Problem lösen, was wesentlich günstigere Batterien ermöglichen könnte. Denn anders als das bislang hauptsächlich verwendete Lithium kommt Natrium viel häufiger auf der Erde vor.

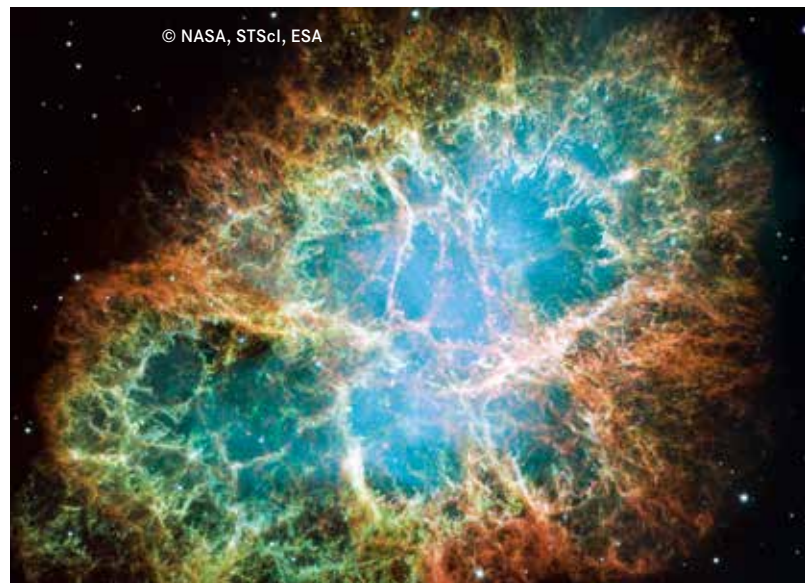
Publikation: I. Chepkasov et al., in Nano Energy, 2020 (DOI: 10.1016/j.nanoen.2020.104927)

ASTROPHYSIK

Kosmische Leitplanken

Starke Magnetfelder könnten die Schockwelle, die bei einer Supernova – also dem letzten großen Aufleuchten eines Sternes am Ende seines Daseins – entsteht, in eine bestimmte Richtung zwingen. Dies konnten Forscherinnen des Instituts für Strahlenphysik gemeinsam mit einem internationalen Team unter Leitung der französischen École Polytechnique Paris zeigen. Dafür ahmten sie das stellare Ereignis am Intense Laser Lab (LULI) mit Hilfe eines gepulsten Hochleistungs-Lasers und einer Helmholtz-Spule, die sie mit Forschern des Hochfeld-Magnetlabors Dresden am HZDR entwickelt hatten, nach. Anders als bislang vorausgesagt, breiten sich die Energie und somit die Überreste des explodierten Sterns unter dem Einfluss des Magnetfelds nicht kugelsymmetrisch, wie bei einer üblichen Detonation, sondern entlang einer vertikalen Achse aus. Darauf aufbauend will das Team nun Daten zu verschiedenen Supernova-Überresten nutzen, um Stärke und Richtung von Magnetfeldern im gesamten Universum zu bestimmen.

Publikation: P. Mabey et al., in Astrophysical Journal, 2020 (DOI: 10.3847/1538-4357/ab92a4)

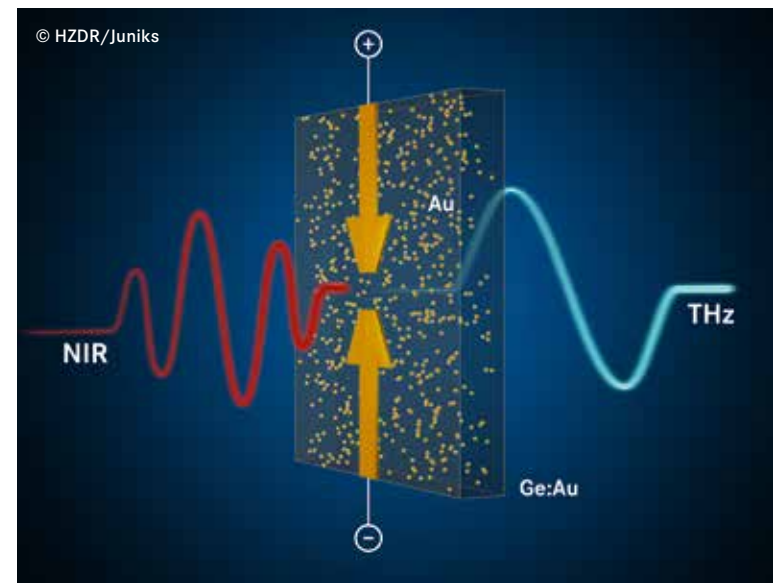


NANOELEKTRONIK

Edler Sender

Mit Gold gespicktes Germanium könnte als Grundlage dienen, um Sender für breitbandige Terahertz-Wellen zu entwickeln. Wie ein Team um Forscherinnen des HZDR-Instituts für Ionenstrahlphysik und Materialforschung gezeigt hat, könnte das veredelte Halbmetall die Bandbreite im Vergleich zur etablierten Technik, die auf Galliumarsenid-Kristallen aufbaut, von 7 auf 70 Terahertz ausweiten. Das entscheidende Problem, das bislang die Nutzung des Halbleiters Germanium verhindert hatte, konnten die Physiker durch den Einbau der Goldatome lösen. Denn wenn reines Germanium mit einem kurzen Laserpuls beschossen wird – der Ausgangspunkt für die Terahertz-Wellen –, hält sich die elektrische Ladung für mehrere Mikrosekunden in dem Material. Heutige Laser können ihre Impulse aber in einem Nanosekunden-Takt abfeuern. Das Gold fungiert als Falle, die die Ladung einfängt und neutralisiert. So konnten die Forscherinnen die Dauer, die die elektrischen Träger im Germanium verbringen, auf knapp zwei Nanosekunden verkürzen.

Publikation: A. Singh et al., in Light: Science & Applications, 2020 (DOI: 10.1038/s41377-020-0265-4)



Schärferer Röntgenblick für strahlende Elemente



Im Tunnel reiht sich ein Magnet an den anderen, insgesamt mehr als tausend Exemplare. Seit Frühjahr 2020 lenken sie schnelle Elektronen präzise ab und erzeugen dadurch die stärksten Röntgenstrahlen der Welt an einer Synchrotron-Lichtquelle. Die Magneten sind nagelneu, sie bilden das Kernelement eines großen Umbaus der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) im Extremely Brilliant Source Project (EBS). Davon profitiert auch die Beamline namens ROBL, die das HZDR seit mehr als 20 Jahren an der Einrichtung in Grenoble betreibt und die nun als ROBL-II der Wissenschaft neue Möglichkeiten eröffnet.

Text . Frank Grotelüschen

Wie verhalten sich Actiniden und andere radioaktive Elemente in der Umgebung möglicher Endlager? Wie interagieren sie mit dem Wirtsgestein und den technischen Barrieren? Verbinden sie sich möglicherweise mit Mikroorganismen und gelangen so in die Biosphäre? Mit solchen und ähnlichen Fragen beschäftigt sich das Team um Andreas Scheinost seit vielen Jahren an der Rossendorf Beamline ROBL.

Bislang konnte die Gruppe viele wertvolle Erkenntnisse etwa über das chemische Verhalten von Selen, Technetium und Plutonium gewinnen – wichtige Basisdaten für ein künftiges Endlager für radioaktive Abfälle. Der Umbau der ESRF – und parallel dazu der ROBL-Station – erlaubt es den Forschern nun, deutlich präziser zu experimentieren. „Wir haben unsere Messstation grundlegend modernisiert“, erklärt Scheinost. „Dadurch können wir ganz neue Experimente durchführen und die bisherigen schneller und besser.“

Die ESRF ist ein Synchrotron zur Erzeugung ultrastarker Röntgenstrahlung. Das Prinzip: In einem knapp 850 Meter langen Speicherring halten Magneten einen nahezu lichtschnellen Elektronenstrahl auf einer Kreisbahn, wobei starke Radiowellen dafür sorgen, dass die Teilchen auf Trab bleiben. Immer an den Stellen, an denen Magnetfelder die Elektronen ablenken, geben sie gebündelte, hochintensive Röntgenstrahlung ab – ein wertvolles Werkzeug für viele Wissenschaftsdisziplinen, die damit die verschiedensten Proben höchst detailliert untersuchen können.

Mitte der neunziger Jahre ging der Röntgenring in Betrieb. 1997 nutzte das damalige Forschungszentrum Rossendorf die Gelegenheit, einen eigenen Messstand in Grenoble aufzubauen – die „Rossendorf Beamline“, kurz ROBL. „Damals, nach der Wende, ging es vor allem darum, die Umweltschäden aus dem Wismut-Uranbergbau in der DDR zu analysieren“, erinnert sich ROBL-Leiter Scheinost. „Doch heute befassen wir uns vor allem mit der Endlager- und Grundlagenforschung.“

Mit dem hochintensiven Röntgenstrahl lassen sich in Proben selbst feinste Spuren von radioaktiven Elementen wie Plutonium oder Americium selektiv aufspüren. Außerdem können die Fachleute rückschließen, welche chemischen Verbindungen

diese Stoffe eingegangen sind – eine zentrale Fragestellung. Denn liegt Plutonium in einer wasserlöslichen Verbindung vor, könnte es irgendwann aus dem Endlager ausgeschwemmt und damit ins Grundwasser freigesetzt werden. Ist die Verbindung dagegen unlöslich, sind die Chancen deutlich größer, dass es langfristig im Endlager verbleibt.

Weltweit einzigartig

Allerdings bieten die Experimente mit Plutonium & Co. eine besondere Herausforderung: „Der Umgang mit radioaktiven Proben erfordert besondere Sicherheitsvorkehrungen“, erklärt Scheinost. „Über solche Schutzmaßnahmen verfügen nur zwei andere Synchrotron-Beamlines, und nicht mit einem derartigen Methodenspektrum – was ROBL weltweit einzigartig macht.“

Scheinost steuert den Anfang der Messstation an, die aus mehreren hintereinanderstehenden Hütten besteht. Alles in allem ist die Beamline rund 100 Meter lang. Durch eine massive Metalltür betritt er die erste Hütte und zeigt auf deren Wände. „Sie enthalten beträchtliche Mengen an Blei, um die intensive Röntgenstrahlung abzuschirmen.“ Läuft die Anlage, darf niemand hinein. Wer trotzdem die Tür öffnet, würde die Notabschaltung auslösen und damit den gesamten Speicherring lahmlegen.

Dann deutet Scheinost auf ein kleines Fenster in der Stirnseite der Wand: „Hier kommt der Röntgenstrahl aus dem Beschleuniger heraus.“ Er läuft durch mehrere luftleer gepumpte Metallkästen, die ihn formen, bündeln und eine bestimmte Wellenlänge aus seinem Spektrum selektieren. Anschließend gelangt der maßgeschneiderte Strahl in die erste von zwei Experimentierhütten. Dort steht ein spezieller Schutzkasten, eine Handschuhbox. „Man muss jeglichen Kontakt mit den radioaktiven Proben vermeiden, die Inhalation wäre potentiell tödlich“, erläutert Andreas Scheinost. „Deshalb müssen sie extrem gut eingepackt sein, und wir dürfen nur mittels der Handschuhbox mit ihnen hantieren.“ Außerdem müssen die Fachleute Schutzkleidung tragen, ein Strahlungsmonitor prüft eine eventuelle Kontamination.

In der Box positioniert ein kleiner Roboter die Proben so, dass der Röntgenstrahl aus dem Beschleuniger sie treffen kann. Ein Detektor registriert, wie die Materialien auf den Strahl reagieren, woraus die Fachleute auf die Zusammensetzung und das chemische Verhalten der radioaktiven Stoffe schließen können. Auf diese Weise konnten die HZDR-Forscher bereits

Imposant: Das ringförmige Gebäude der ESRF im Wissenschafts- und Technologiepark Grenoble in Frankreich. Quelle: ESRF



interessante Erkenntnisse erzielen: „Wir konnten zeigen, dass Radionuklide wie Selen oder Technetium, die zuvor als äußerst mobil galten, sich unter Endlager-Bedingungen so verändern, dass sie doch nicht so mobil sind wie erwartet.“ Eine beruhigende Nachricht: Bislang hatte die Fachwelt befürchtet, dass radioaktives Selen nach etwa 10.000 Jahren aus einem Endlager austreten könnte. Angesichts der ROBL-Ergebnisse ist das sehr unwahrscheinlich.

Mehr Röntgenpower durch feineren Strahl

Nach dem Umbau können Andreas Scheinost und sein Team ihre Proben noch detaillierter untersuchen. Unter anderem lassen sich die Radionuklide in noch geringeren Konzentrationen aufspüren. Der Grund: Der ESRF-Speicherring liefert nun Röntgenstrahlung, die deutlich gebündelter und damit konzentrierter ist als zuvor. „Bislang ließ sich der Strahl auf einen Fleck von etwa 300 mal 300 Mikrometer Größe bündeln“, beschreibt Scheinost. „Jetzt sind es 30 mal 30 Mikrometer.“

Um das zu schaffen, mussten die ESRF-Verantwortlichen einen beträchtlichen Aufwand betreiben. „Extremely Brilliant Source“, so heißt das 150 Millionen Euro teure Upgrade-Programm, bei dem der alte Speicherring quasi komplett durch einen neuen ersetzt wurde. Mehr als ein Jahr dauerte der Umbau, und um das Ergebnis zu zeigen, biegt ESRF-Fachmann Benoit Joly in einen verwinkelten Betongang ab. „Wir nennen das Schikane“, erklärt er. „Die Wände sind aus meterdickem Beton, sodass aus dem Ring keinerlei unerwünschte Strahlung nach außen dringen kann.“

Nach ein paar Schritten steht er im Beschleunigertunnel und zeigt auf die Kernkomponenten: In einer flachen, luftleer gepumpten Vakuumröhre kreisen die nahezu lichtschnellen Elektronen. Direkt um das Rohr herum sind wuchtige Magneten montiert, lackiert in verschiedenen Farben. Die roten halten die Teilchen auf ihrer Kreisbahn, die blauen fungieren als magnetische Linsen und sorgen dafür, dass die Pakete, zu denen die Elektronen gebündelt sind, stets möglichst klein bleiben.

Alle diese Magneten sind neu: Vor dem Umbau waren manche als Elektromagneten ausgelegt, nun sind sie durch Permanentmagneten aus Samarium-Kobalt ersetzt – was den Energieverbrauch um 20 Prozent mindert. „Die neuen Magneten sind kleiner, aber wir haben mehr davon“, erklärt Joly. „Insgesamt haben wir mehr als 1.000 Stück eingebaut, rund doppelt so viele wie zuvor.“ Der Vorteil: Beim neuen Design sind die Magneten deutlich näher am Elektronenstrahl und können dadurch die Pakete stärker fokussieren. Das Entscheidende: Diese kleineren Elektronenpakete können dann viel feinere und damit konzentriertere Röntgenstrahlen aussenden – ein unschätzbarer Vorteil für zahlreiche Experimente an den insgesamt 44 Beamlines der ESRF.

Allerdings mussten die Fachleute manch technische Herausforderung meistern: „Die Herstellung der Permanentmagnete war nicht einfach“, erinnert sich Benoit Joly. „Sie bestehen aus jeweils fünf Modulen, und jedes Modul musste eine andere Feldstärke besitzen.“ Dafür war eine hochpräzise Produktionstechnik nötig – einmal fertig, ließ sich die Magnetfeldstärke

nicht mehr verändern. Alles in allem mussten die Fachleute mehr als 10.000 Einzelkomponenten in dem engen Tunnel unterbringen, vieles davon mussten sie bis auf 50 Mikrometer genau positionieren.

„Einschließlich Planung und Vorbereitung liegen fünf Jahre konzentrierte Arbeit hinter uns“, erzählt Joly. „Natürlich waren wir gespannt, ob die Maschine wie geplant läuft.“ Mittlerweile reisen die Elektronen wieder zuverlässig im neuen Ring. Seit September 2020 sind nun die ersten Experimente mit der hochkonzentrierten Röntgenstrahlung möglich.

Überraschung bei Plutonium

Darauf hatte sich auch das ROBL-Team um Andreas Scheinost vorbereitet. Um die neuen Potentiale möglichst effektiv zu nutzen, baute die Forschungsgruppe die zweite ihrer beiden Messhütten komplett um. Dort stehen drei verschiedene Versuchsaufbauten mit jeweils unterschiedlichen wissenschaftlichen Schwerpunkten. Scheinosts Kollegin Kristina Kvashnina zeigt auf ein Spektrometer, mit dem sich die Signale, die die Proben unter Einfluss des intensiven Röntgenstrahls abgeben, genauer untersuchen lassen: Fünf Spezialkristalle werden von 40 Motoren präzise bewegt. Nur so können sie die von der Probe abgegebene Fluoreszenzstrahlung auf sammeln und auf einen hochempfindlichen Detektor leiten.

Allerdings brauchen die Forscher für verschiedene Teilerperimente unterschiedliche Kristalle aus Silizium oder Germanium. „Insgesamt haben wir rund 225 davon, sie werden in einem speziellen Verfahren gebogen und kosten bis zu 10.000 Euro pro Stück“, erzählt Kvashnina. „Mit dieser Apparatur können wir die Auflösung unserer Spektren erhöhen und auch bislang übersehene chemische Formen der radioaktiven Elemente finden.“

Alles im Griff: Andreas Scheinost untersucht mit dem 6-Kreis-Goniometer die Struktur von Oberflächen.
Quelle: HZDR/D. Morel



Mit dieser Technik konnte sie bereits bemerkenswerte Ergebnisse erzielen. „Wir haben festgestellt, dass Plutonium unter bestimmten Bedingungen ein festes Mineral bildet, unter denen wir es eigentlich als löslich erwartet hätten“, berichtet die Wissenschaftlerin. „Damit hatte die Fachwelt nicht gerechnet. Auch nach Jahrzehnten der Forschung verhalten sich diese Elemente oft noch sehr überraschend.“ Derartige Erkenntnisse bilden die Basis für jene Modelle, die das langfristige Verhalten von Radionukliden in einem Atommüll-Endlager vorhersagen können.

Derzeit befasst sich Kristina Kvashnina unter anderem mit dem Verhalten von Nanopartikeln, die radioaktive Elemente enthalten. Das Spannende: Abhängig von ihrer Größe kann sich das chemische Verhalten deutlich verändern. „Die dahintersteckenden Mechanismen sind noch nicht gut bekannt“, erläutert sie. „Hier wollen wir versuchen, neue Details herauszufinden.“

Keramik statt Glas

Neu aufgebaut am ROBL-Messstand wird auch ein sogenanntes Diffraktometer. „Damit lässt sich mit Hilfe der Synchrotronstrahlung herausfinden, wie ein Kristall im Detail aufgebaut ist“, erklärt HZDR-Forscher Christoph Hennig. „Wir können also die genaue Struktur von radioaktiven Verbindungen aufklären. Und das ist sehr hilfreich, will man abschätzen, wie sich diese Verbindungen auf lange Sicht in einem Endlager verhalten.“ In Zukunft, mit dem deutlich feineren Strahl aus dem ESRF-Speicherring, werden die Fachleute auch deutlich kleinere Kristalle untersuchen können als zuvor – wichtig, weil sich manche Stoffe bei der Probenpräparation gar nicht als große Kristalle herstellen lassen.

Doch Hennig und seine Leute wollen auch Proteine unter die Präzisions-Röntgenlupe nehmen: Was zum Beispiel passiert, wenn Radionuklide in einen Organismus geraten – werden sie in die Zellen eingeschleust, etwa indem sie das Eisen im Hämoglobin verdrängen? „Da ist vieles noch unbekannt“, betont Hennig. „Interessant ist auch, inwieweit Bakterien, die tief im Boden leben, diese Stoffe aufnehmen können.“

Schließlich widmet sich das HZDR-Team auch der Erforschung neuer Materialien für die Endlagerung. Beispielsweise wurden in Deutschland radioaktive Abfallstoffe aus Wiederaufbereitungsanlagen bislang verglast. In einem Projekt untersucht das ROBL-Team, ob man die Radionuklide auch in spezielle Keramiken einschließen könnte – die können deutlich länger halten als Glas. „Man kann sogar davon ausgehen, dass der gesamte Abfall zerfallen ist, bevor diese Keramiken kaputtgehen“, erklärt Christoph Hennig. „Und mit unseren Techniken können wir Hinweise liefern, wie man diese Keramiken herstellen sollte, damit sie in einem Endlager möglichst lange halten.“

Publikationen:

D.M. Rodriguez, N. Mayordomo, A.C. Scheinost, D. Schild, V. Brendler, K. Müller, T. Stumpf: New insights into ⁹⁹Tc(VII) removal by pyrite: a spectroscopic approach. Environmental Science & Technology, 2020 (DOI: 10.1021/acs.est.9b05341)

K. Kvashnina, A. Romanchuk, I. Pidchenko, L. Amidani, E. Gerber, A. Trigub, A. Rossberg, S. Weiss, K. Popa, O. Walter, R. Caciuffo, A. Scheinost, S. Butorin, S. Kalmykov: A novel meta stable pentavalent plutonium solid phase on the pathway from aqueous Pu(VI) to PuO₂ nanoparticles. Angewandte Chemie International Edition, 2019 (DOI: 10.1002/anie.201911637)

T. Dumas, D. Fellhauer, D. Schild, X. Gaona, M. Altmaier, A.C. Scheinost: Plutonium retention mechanisms by magnetite under anoxic conditions: Entrapment versus sorption. ACS Earth and Space Chemistry, 2019 (DOI: 10.1021/acsearthspacechem.9b00147)

H. Rojo, A.C. Scheinost, B. Lothenbach, A. Laube, E. Wieland, J. Tits: Retention of selenium by calcium aluminate hydrate (AFm) phases under strongly reducing radioactive waste repository conditions. Dalton Transactions, 2018 (DOI: 10.1039/C7DT04824F) ┘

Der Weg zu ROBL

Um an der Rossendorf Beamline Messzeit zu erhalten, gibt es zwei Möglichkeiten: Den größeren Teil – die sogenannte HZDR-Beamtime – managt das ROBL-Team direkt. Mindestens acht Wochen vor den geplanten Experimenten müssen Interessenten einen formellen Antrag einreichen, den ein Komitee anschließend auf wissenschaftliche Relevanz prüft. Die restliche Zeit vergibt ein Beratungsgremium der ESRF – ebenfalls aufbauend auf der wissenschaftlichen Güte eingereicherter Vorhaben. In beiden Fällen raten die ROBL-Forscher, vorab Kontakt aufzunehmen, um abzuklären, ob die gewünschten Messungen technisch umsetzbar sind.

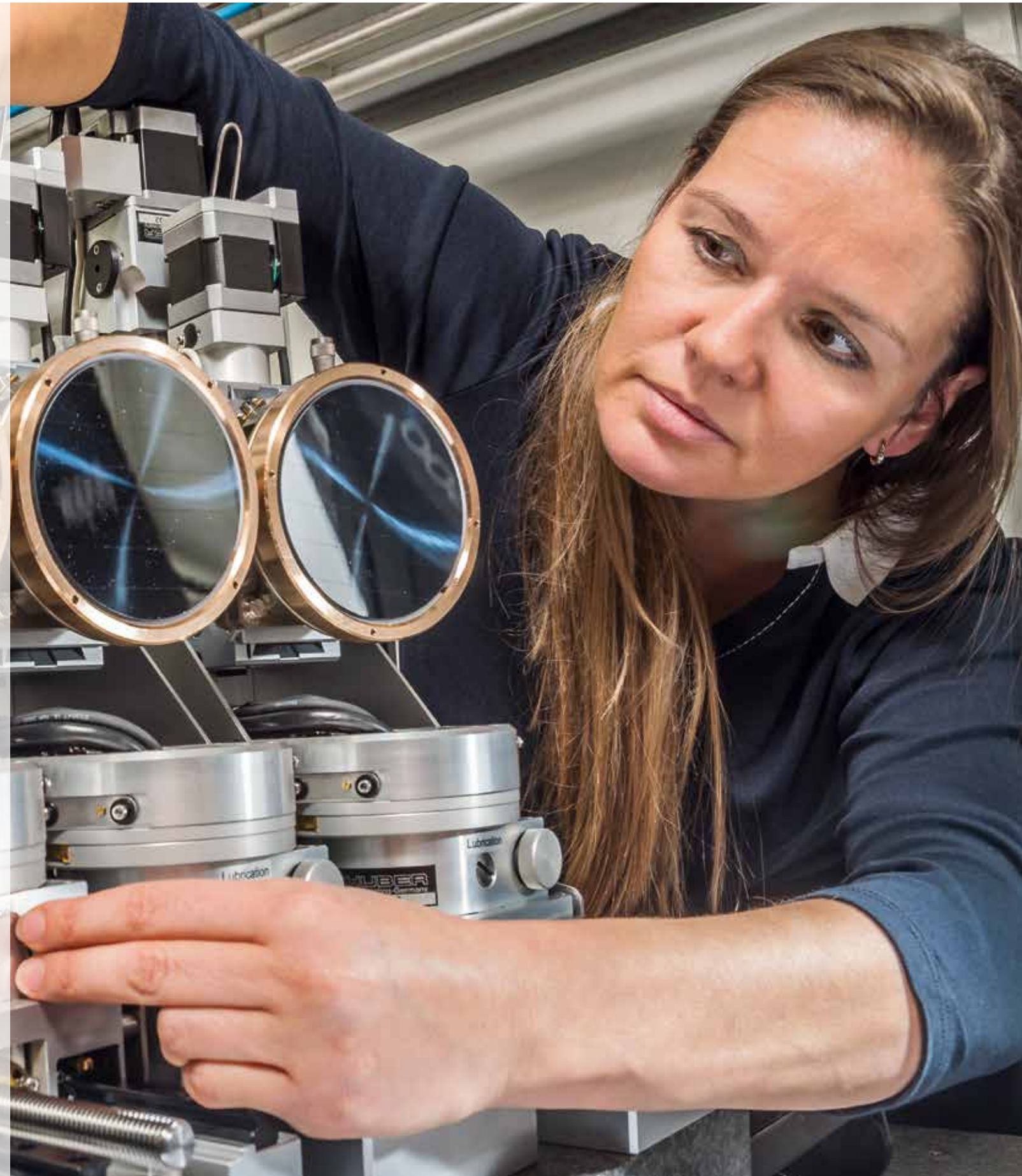
<http://esrf.eu/UsersAndScience/UserGuide/Applying>

Kontakt

┘Institut für Ressourcenökologie am HZDR / Rossendorf International Beamline ROBL an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)
Dr. Andreas Scheinost
scheinost@esrf.fr

Dr. Kristina Kvashnina
k.kvashnina@hzdr.de

Dr. Christoph Hennig
hennig@esrf.fr



Konzentriert: Kristina Kvashnina nutzt ROBL, um die chemische Struktur von Plutonium & Co. zu analysieren.
Quelle: HZDR/D. Morel

Forschungslabor in der Größe eines Fingerhuts

Am Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD) jagen Physikerinnen starke elektrische Pulse durch Materialproben, um neuartige Nano-Werkstoffe und moderne Supraleiter zu entwickeln. Während der Versuche setzt die derzeit leistungstärkste Kondensatorbank der Welt für den Bruchteil von Sekunden Energien frei, die eine Diesellok für die Beschleunigung von null auf 150 Kilometer pro Stunde benötigt. Um diese wahnsinnigen Belastungen auszuhalten, haben Ingenieure und Wissenschaftlerinnen des HZDR gemeinsam eine Spule entwickelt, die die Proben in ihrem Innern schützend aufnimmt, ohne bei jedem Durchlauf zu platzen. entdeckt zeigt, wie diese schmalen „Forschungslabore“ entstehen.

Text . Simon Schmitt

Bilder . Amac Garbe



... Entwicklungsingenieur Stefan Findeisen (links) und Experimentalphysiker Sergei Zherlitsyn am Computer entwerfen. Das eingespielte Team konstruiert nicht nur Spulen für das Dresdner Magnetlabor, sondern beispielsweise auch für die Helmholtz International Beamline for Extreme Fields HIBEF, die das HZDR am europäischen Röntgenlaser in Schenefeld bei Hamburg aufbaut.

2

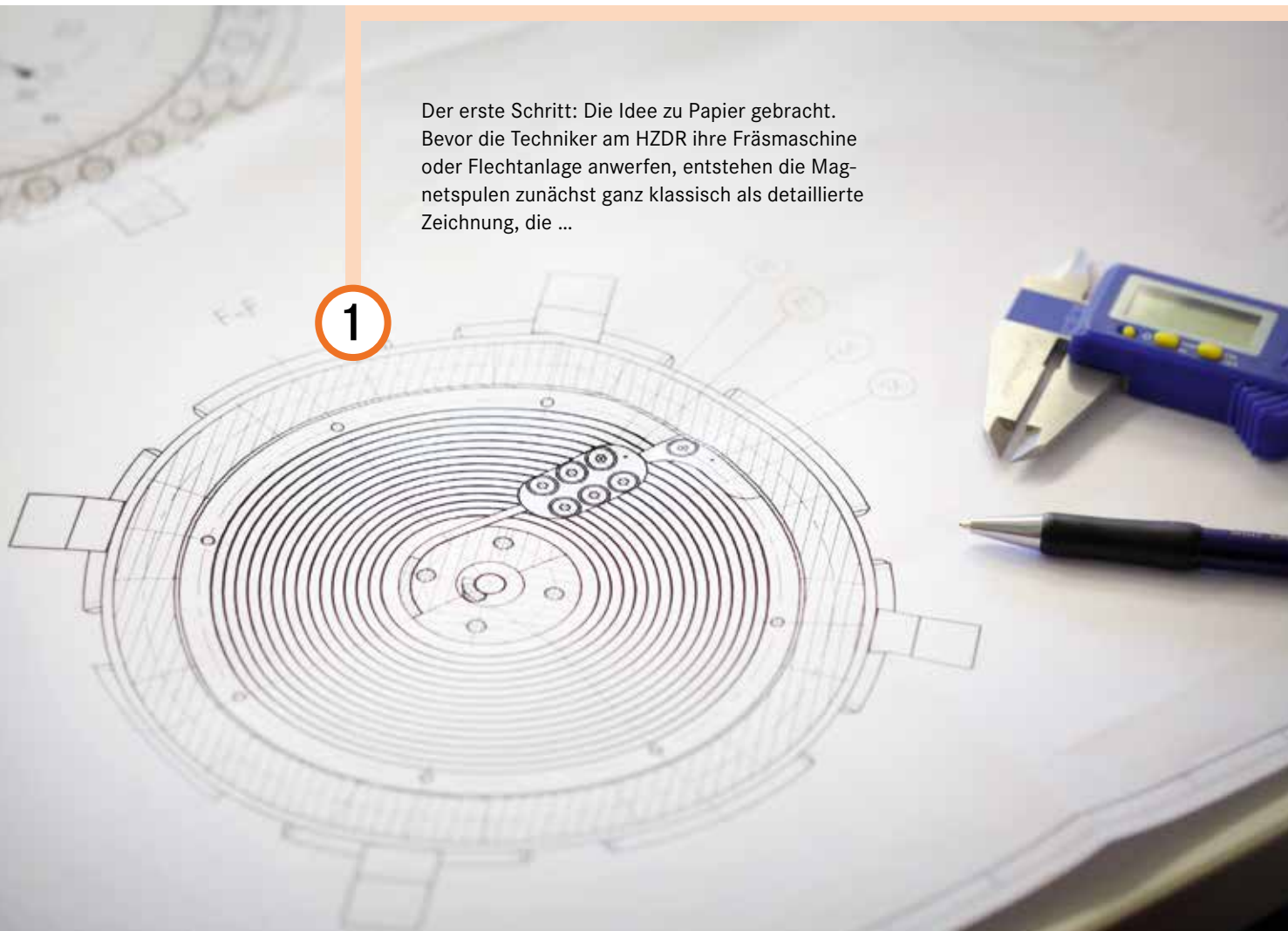
In der Werkstatt des HLD spinnt Franz Sedlak an der Flechtmaschine den Draht, aus dem die Techniker schließlich die Spule wickeln. Durch die Anlage – eine Sonderanfertigung für das HZDR – zieht er dafür einen Kupferlegierungsdraht, auf dem die Maschine ein Glasfasergemisch und die synthetische Faser Zylon aufbringt.



3

Der erste Schritt: Die Idee zu Papier gebracht. Bevor die Techniker am HZDR ihre Fräsmaschine oder Flechtanlage anwerfen, entstehen die Magnetspulen zunächst ganz klassisch als detaillierte Zeichnung, die ...

1



4

Während die Flechtmaschine langsam den Draht aus Kupferlegierung aufwickelt, trägt Mirko Krause mit einem Pinsel Harz auf, um die Konstruktion zusätzlich zu festigen. Etwa fünf bis sechs Spulen produzieren die Techniker des HLD auf diese Weise pro Jahr. Für die Magnetspulen – jede eine Einzelanfertigung – benötigen sie rund zwei Monate.

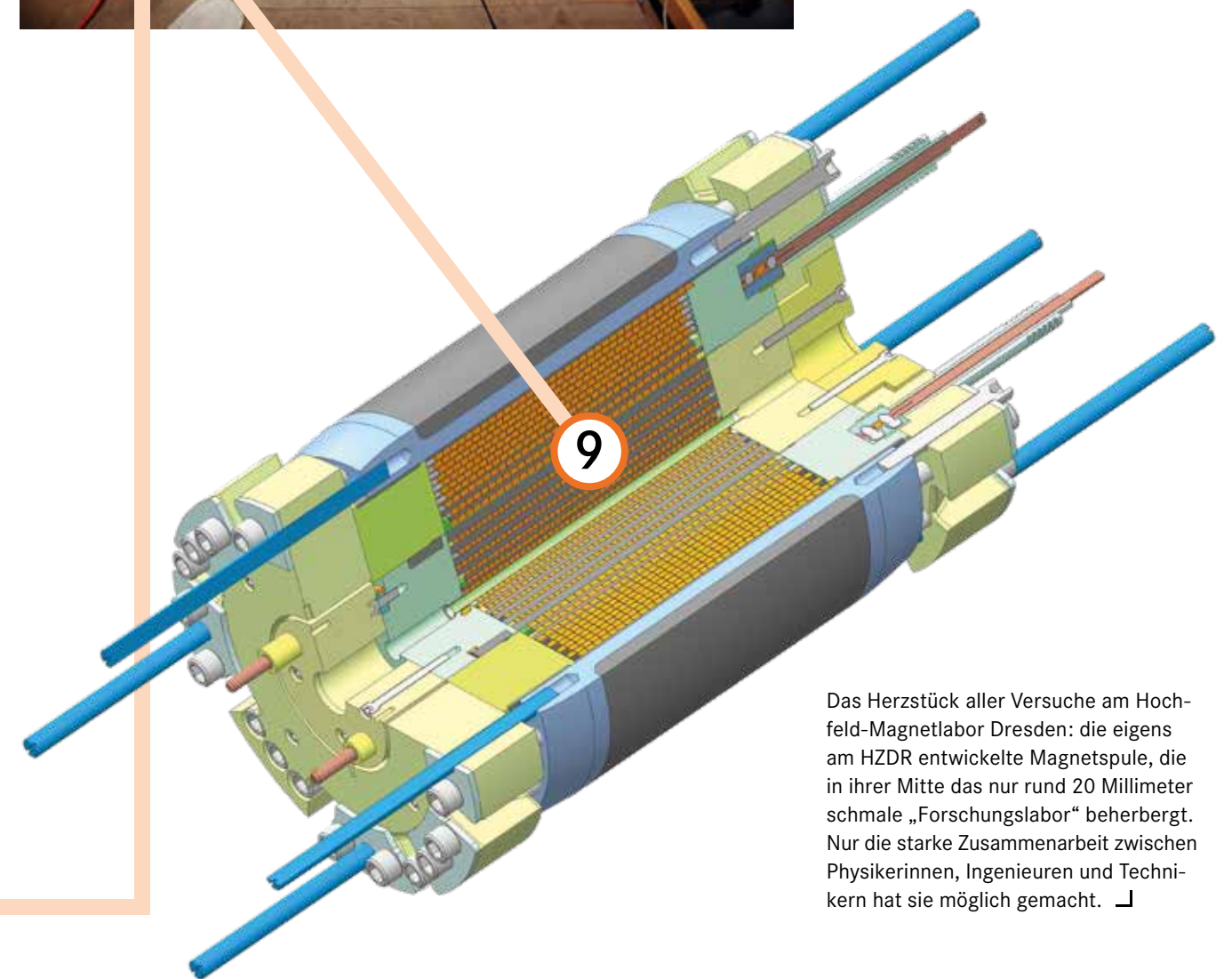


Um die Spule einzufassen und zu isolieren, schneidet Mario Gulich einen Verbund aus Glasfaser und heißgepresstem Epoxidharz an der Fräse zu Endscheiben. Die Stücke verleihen der Spule eine hohe Beständigkeit gegen die extremen Drücke, die sie während der Experimente aushalten muss.



... wie zum Beispiel Tatsuya Yanagisawa (rechts) von der japanischen Hokkaido Universität, erhalten dadurch einzigartige Möglichkeiten für ihre Experimente. Um die Forscherinnen vor Ort bestens zu unterstützen, stehen sogenannte „lokale Kontakte“, wie HLD-Postdoc Atsuhiko Miyata, bereit.

Bevor die fertige Magnetspule, die in einem Stahlzylinder eingefasst ist, zum Einsatz kommt, prüfen Oliver Kersten (links) und Sergei Zherlitsyn, ob das Mittelrohr – die schmale Stelle, an der die Materialproben während der Versuche ihren Platz finden – beim Aufwickeln beschädigt wurde.



Das Herzstück aller Versuche am Hochfeld-Magnetlabor Dresden: die eigens am HZDR entwickelte Magnetspule, die in ihrer Mitte das nur rund 20 Millimeter schmale „Forschungslabor“ beherbergt. Nur die starke Zusammenarbeit zwischen Physikerinnen, Ingenieuren und Technikern hat sie möglich gemacht. ┘



Am Hochfeld-Magnetlabor baut Elektriker Karsten Schulz das Produkt der Dresdner Ingenieurskunst in die Grube einer sogenannten Magnetzelle ein. Wissenschaftler aus aller Welt, ...

Kontakt

_Hochfeld-Magnetlabor am HZDR
Dr. Sergei Zherlitsyn
s.zherlitsyn@hzdr.de

_Zentralabteilung Forschungstechnik
Stefan Findeisen
s.findeisen@hzdr.de

Extreme Zustände unterm Acker

Ultraschnelle Röntgenpulse, immens starke Magnetfelder, hochintensive Laser und exorbitante Drücke. Die Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF) am European XFEL in Schenefeld bei Hamburg – eine der modernsten Röntgenlichtquellen überhaupt – stellt für Forschungsgruppen aus aller Welt die besten derzeit verfügbaren Instrumente zur Verfügung. Ihr gemeinsames Ziel: Völlig neue Erkenntnisse über Sterne, Planeten, Plasmawolken, Quantensysteme und vielseitige Materialien.

Text: Jan Oliver Löffken

Weizenfelder, Wiesen und Weidezäune prägen die Landschaft wenige Meter hinter der westlichen Stadtgrenze Hamburgs. Doch der ländliche Schein trügt. Denn genau hier im schleswig-holsteinischen Schenefeld zucken bis zu 27.000 Mal pro Sekunde die intensivsten Röntgenblitze der Welt. Erzeugt werden sie im 3,4 Kilometer langen Röntgenlaser European XFEL von Elektronen – auf beinahe Lichtgeschwindigkeit gebracht durch einen supraleitenden Teilchenbeschleuniger. In 15 Metern Tiefe gelangt das weltweit einzigartige Röntgenlicht in eine von massiven Betonwänden umfassten Halle, in der es sich seit Mitte 2019 an sechs Messplätzen zeitgleich nutzen lässt.

Bricht der XFEL schon allein viele Rekorde, stellen Toma Toncian und seine Kollegen vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf noch weitere auf. Die Forscher integrieren und betreiben gemeinsam mit der Gruppe „High Energy Density“ (HED) um Ulf Zastrau am HED-Messplatz des European XFEL diverse Aufbauten, die das Nutzerkonsortium „Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF)“ beisteuert. HIBEF bündelt unter der Federführung des HZDR Geräte und

Fachwissen verschiedener Forschungseinrichtungen, um diese den HED-Nutzerinnen zur Verfügung zu stellen. So werden an diesem Messplatz winzige Materialproben extremen Bedingungen ausgesetzt und zugleich mit dem einzigartigen XFEL-Röntgenlicht analysiert. Ultrakurze, sehr intensive Lichtpulse eines Hochenergie-Lasers regen die Proben binnen Sekundenbruchteilen an und schaffen eine extreme Umgebung wie im Kern unserer Sonne.

Diese Lichtblitze verwandeln eine Probe schlagartig in ein Plasma aus geladenen Ionen. Exotische Phasenübergänge und Prozesse wie im Innern ferner Exoplaneten könnten sich damit offenbaren. Extreme Drücke von bis zu 4 Millionen bar übt eine Stempelzelle auf Proben aus, indem sie sie zwischen zwei Diamanten zusammenpresst. Solche Versuche geben Wissenschaftlern neue Einblicke in geologische Vorgänge in Mantel oder Kern unserer Erde. Und schließlich werden gepulste Magnetfelder von bis zu 60 Tesla Stärke offene Fragen der Materialforschung wie etwa den Ursprung der widerstandslosen Supraleitung beantworten helfen. ➤



3,4 Kilometer

Auf dieser Distanz werden im unterirdischen Tunnel vom DESY-Gelände in Hamburg bis zum Standort des European XFEL in Schenefeld schnelle Elektronen erzeugt und anschließend durch spezielle Magnetanordnungen auf einen Slalomkurs geschickt. Bei jeder Richtungsänderung senden die Teilchen Licht aus, das sich mehr und mehr verstärkt. So entstehen extrem kurze und intensive Röntgenblitze – und das 27.000 Mal pro Sekunde.

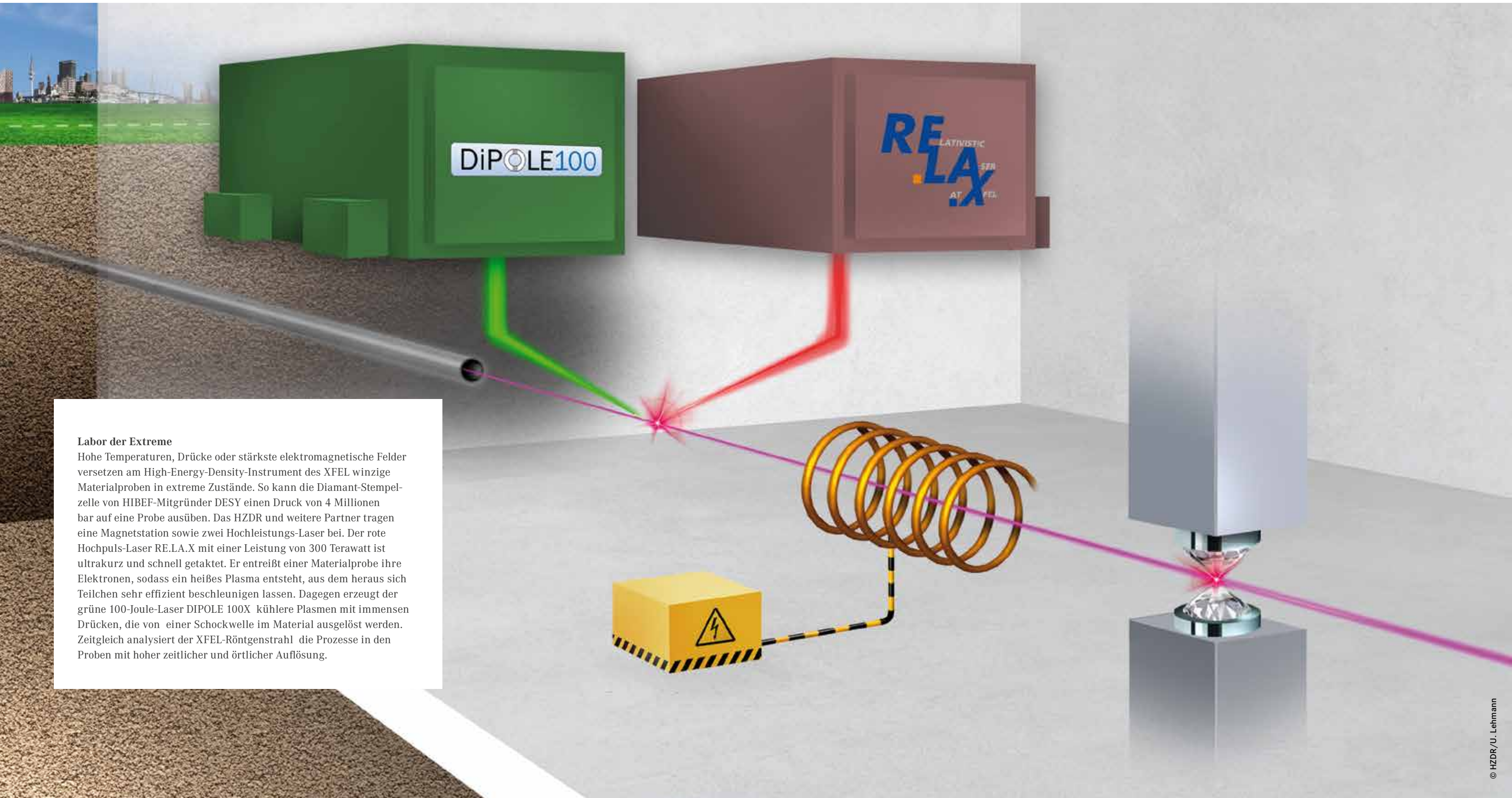
Einzigartige Kombination weckt hohe Erwartungen

„Weltweit gibt es zu dieser Kombination aus extremen Versuchsbedingungen mit den intensiven Röntgenpulsen des XFELs nichts Vergleichbares“, schätzt Toncian ein. Entsprechend hoch sind die Erwartungen von mehr als 80 Forschungsgruppen aus rund 60 Instituten und 16 Nationen in Europa, Amerika und Asien. Das erste Nutzer-Experiment mit dem Hochintensitäts-Laser fand im Mai 2021 statt.

Es liegt in den Händen von Toncian und seinem Team, dass die komplexe Apparatur reibungslos funktioniert. Das erfordert exakte Arbeit bis ins Detail. Im Kontrollraum schaut der 40-jährige Physiker konzentriert auf einen Monitor. Auf diesem erkennt er Fokus und Strahllage des intensiven Lasers. Parallel justieren seine Kolleginnen eine Etage über ihm kleine Spiegel, Linsen und andere optische Module. Filigrane Fingerfertigkeit ist gefordert. Denn der Laser bestraft schon kleinste Abweichungen mit einer geringeren Qualität der Laserblitze.

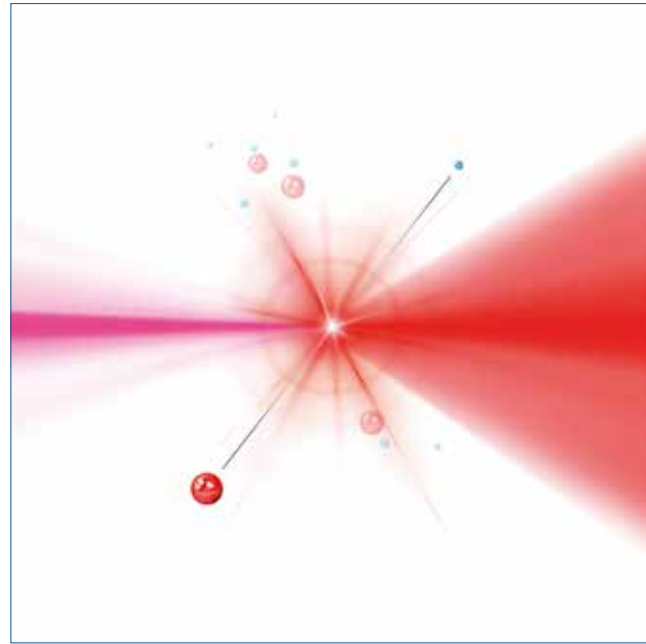
Um den Weg der Lichtblitze vom Laser bis zur Probe nicht zu stören, ist Sauberkeit oberstes Gebot. Daher gelangen Toncian und Kollegen nur durch eine Schleuse in den möglichst staubfreien Laserraum. Gekleidet in Laborkittel und Haarhaube vermeiden die Forscherinnen unerwünschte Verunreinigungen der Luft. Brillen mit dunklen Gläsern schützen die Augen vor Laserblitzen, die etwa durch ungewollte Reflexionen auf den falschen Lichtweg geraten könnten. Das ist bei der enormen Leistung des speziellen Titan:Saphir-Lasers von

stolzen 300 Terawatt auch nötig. Zum Vergleich: 300 Terawatt entsprechen der mehr als tausendfachen Leistung aller Kraftwerke in Deutschland zusammen. Am Hochintensitäts-Laser von HIBEF wird diese gigantische Leistung allerdings nur für eine extrem kurze Zeit von 25 billionstel Sekunden, Femtosekunden genannt, erreicht. >

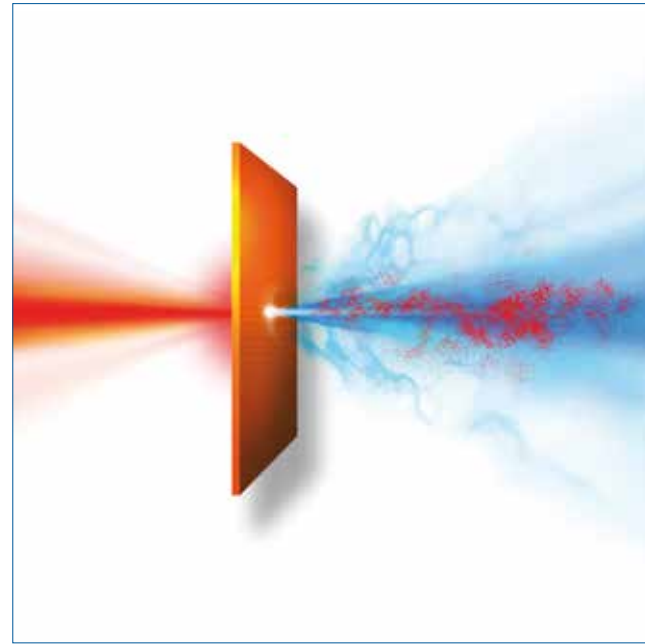


Labor der Extreme

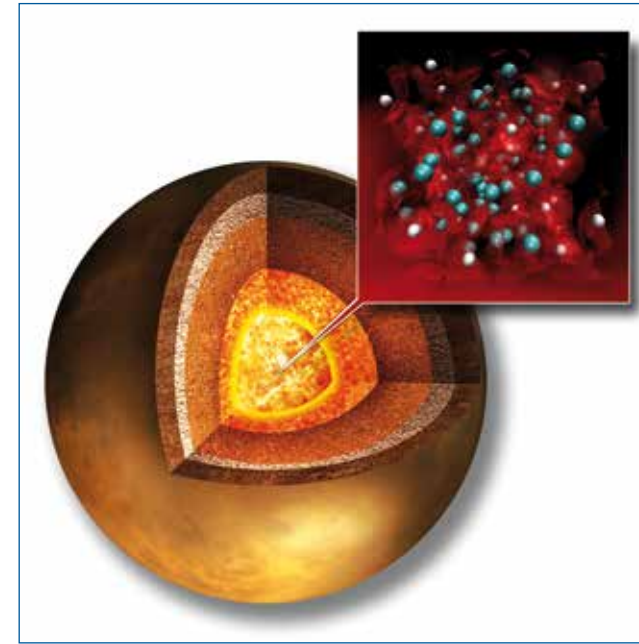
Hohe Temperaturen, Drücke oder stärkste elektromagnetische Felder versetzen am High-Energy-Density-Instrument des XFEL winzige Materialproben in extreme Zustände. So kann die Diamant-Stempelzelle von HIBEF-Mitgründer DESY einen Druck von 4 Millionen bar auf eine Probe ausüben. Das HZDR und weitere Partner tragen eine Magnetstation sowie zwei Hochleistungs-Laser bei. Der rote Hochpuls-Laser RELA.X mit einer Leistung von 300 Terawatt ist ultrakurz und schnell getaktet. Er entzieht einer Materialprobe ihre Elektronen, sodass ein heißes Plasma entsteht, aus dem heraus sich Teilchen sehr effizient beschleunigen lassen. Dagegen erzeugt der grüne 100-Joule-Laser DIPOLE 100X kühlere Plasmen mit immensen Drücken, die von einer Schockwelle im Material ausgelöst werden. Zeitgleich analysiert der XFEL-Röntgenstrahl die Prozesse in den Proben mit hoher zeitlicher und örtlicher Auflösung.



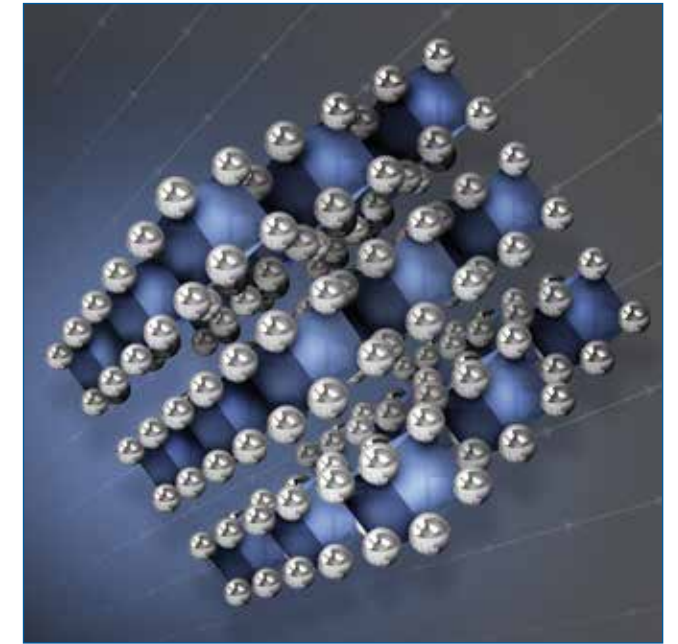
Interaktion: Die Kombination des RE.LA.X (rot) mit dem XFEL-Röntgenlaser (lila) ermöglicht es erstmals, die Wechselwirkung von virtuellen Teilchen im Vakuum zu beobachten.



Explosion: Trifft die Wucht des Laserstrahls auf eine Festkörper-Folie, beschleunigen die davonrasenden Elektronen (blau) die positiv geladenen Protonen (rot) aus der Probe.

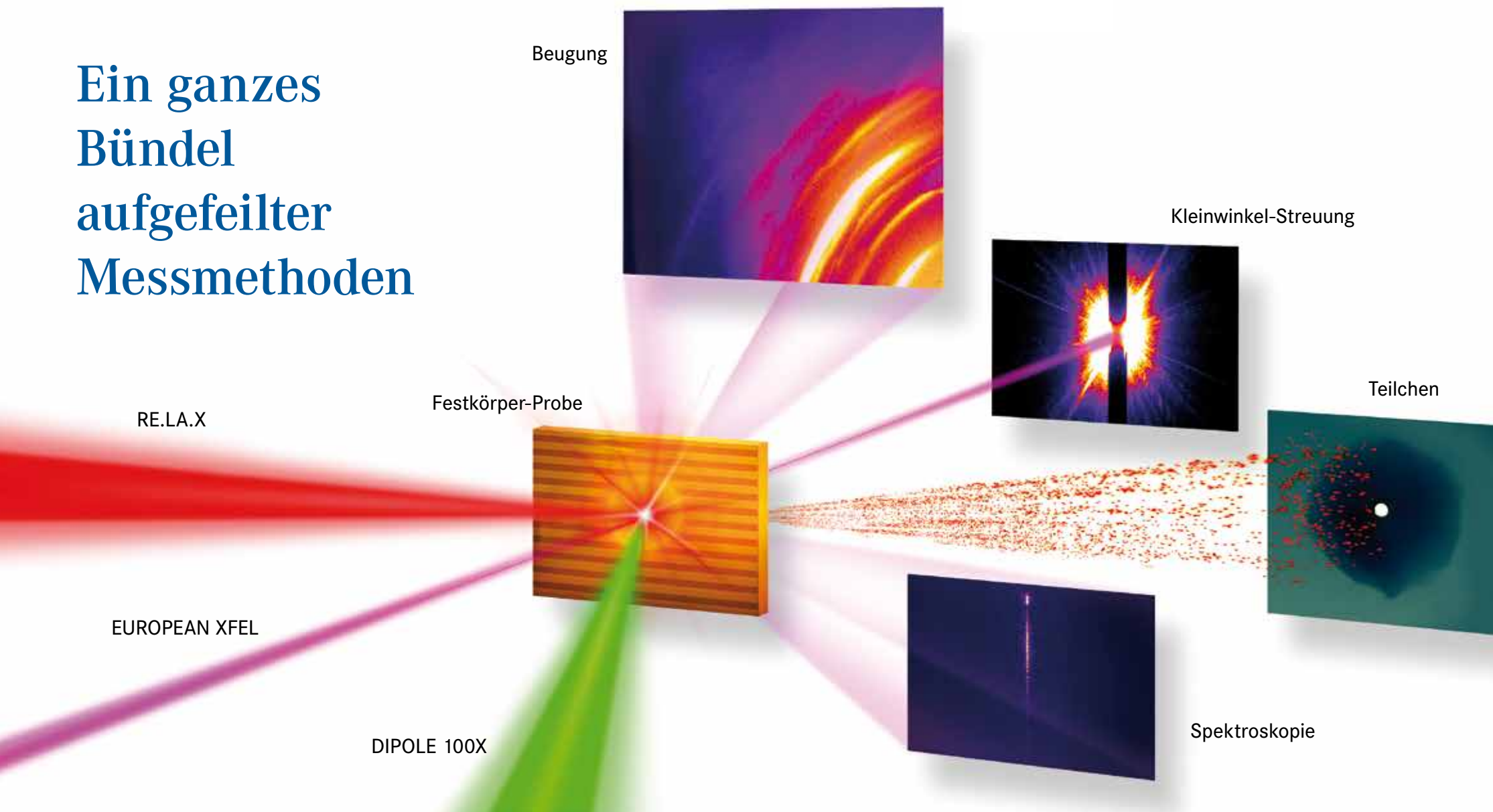


Warme dichte Materie: Durch den hohen Druck im Inneren von Planeten ordnen sich die Atome (blau) neu an und ein Teil der Elektronen (rot) wird frei beweglich.



Hohe Magnetfelder: Mit dem 60-Tesla-Magneten von HIBEF lassen sich neuartige Materialien wie etwa Hochtemperatur-Supraleiter untersuchen.

Ein ganzes Bündel aufgefelter Messmethoden



Aus aller Welt nach Schenefeld

Die Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF) ist ein Nutzerkonsortium, bei dem sich Forscher für Messzeit bewerben können. Einen Teil davon erhält das Konsortium als sogenannten „Priority Access“. Die restliche Zeit verteilt der European XFEL. In beiden Fällen müssen die interessierten Wissenschaftlerinnen Anträge einreichen, in denen sie ausführlich ihre Experimente erläutern. Ein unabhängiges Komitee beurteilt anschließend die wissenschaftliche Relevanz der vorgeschlagenen Projekte und vergibt auf dieser Grundlage entsprechend Messzeit.

www.hzdr.de/hibef

www.xfel.eu/facility/instruments/hed/index_eng.html

„Schnappschuss“: Das Untersuchungsprinzip am Freie-Elektronen-Röntgenlaser XFEL ähnelt einer Kameraaufnahme. Während einer der beiden optischen Laser RE.LA.X oder DIPOLE 100X beim Auftreffen auf die Probe eine heiße Plasmawolke aus geladenen Teilchen erzeugt, wird dieser Prozess von den ultrakurzen XFEL-Röntgenblitzen beleuchtet. Je nach Untersuchungsobjekt stehen unterschiedliche Methoden – Beugung (Diffraktion), Kleinwinkel-Streuung oder Spektroskopie – zur Verfügung. Der Teilchenschauer gibt zudem auf mikroskopischer Skala Auskunft über die Abläufe in der Probe.

Intensive Lichtblitze verdampfen winzige Proben

„Aus dem Laserraum lenken wir die Lichtblitze eine Etage tiefer auf die jeweiligen Proben“, erläutert Toncian. Diese Proben werden in eine Vakuumkammer aus teils mattem, teils glänzendem Aluminium gesetzt. Zusätzlich gelangen von vorne die Röntgenblitze des XFEL in die knapp zwei Meter lange und einen Meter hohe Kammer. An einigen weiteren, kreisrunden Öffnungen sind Vakuumpumpen angeflanscht. Ganze Kabelbünde umgeben die metallische Hülle, um Stellmotoren im Innern zu steuern oder Datensignale von mehreren Detektoren an die Computer zu leiten.

Die Proben selbst sind kaum größer als ein Stecknadelkopf. Schon nach einem Versuch können sie im intensiven Laserblitz verdampfen. Um dennoch viele Messungen kurz nacheinander durchführen zu können, bereiten die Forscherinnen gleich Dutzende ihrer Proben vor. Diese werden in zahlreiche kleine Mulden eines Probenhalters gesetzt, der entfernt an eine Küchenreibe erinnert. „Dieser Halter ist für bis zu 100 Proben ausgelegt“, erzählt Toncian. Schrittmotoren bewegen ihn bis auf millionstel Meter genau. So kann von außen zügig jedes der Dutzenden Probenstücke nach und nach an den Punkt gelangen, an dem sich der Blitz des HZDR-Lasers und der Röntgenstrahl des XFEL kreuzen. Je nach Zustand der Probe werden die Röntgenblitze gestreut und abgelenkt. Mehrere Detektoren weisen die Schar gebeugter Röntgenblitze nach. Genau diese Signaldaten bilden die Grundlage, um – nach der Auswertung im Computer – ein detailliertes Bild der Prozesse, die unter den extremen Bedingungen in den Proben ablaufen, zu gewinnen.

Lichtdruck von einer Milliarde Atmosphären

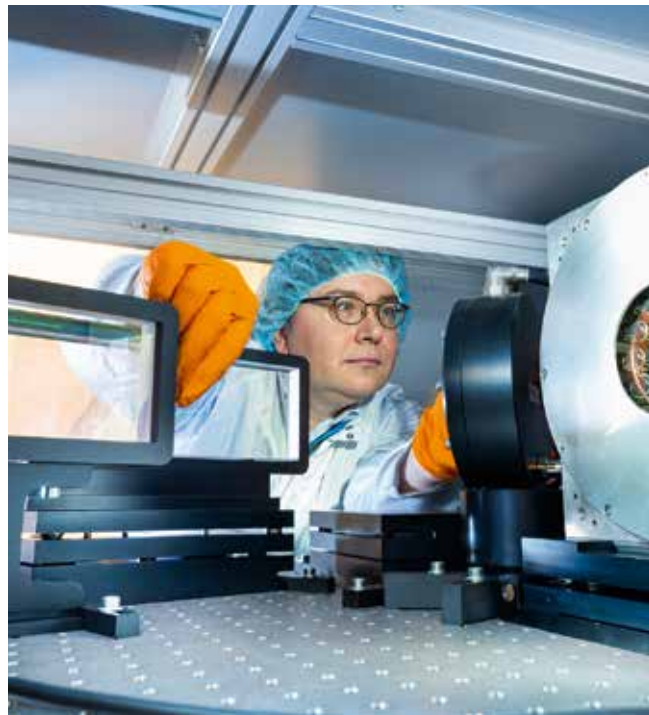
Doch wie erzeugt der Hochintensitäts-Laser die gewünschten Extreme? „Der Laser kann einfach durch den Druck des Lichts Elektronen fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigen“,

beschreibt Toncian. Der Lichtdruck erreicht dabei Werte von rund einer Milliarde bar. Damit wird in Proben beispielsweise aus Titan, Aluminium oder auch Kohlenstoff für einen extrem kurzen Augenblick eine enorme Energiedichte erzeugt. Ähnliche Bedingungen lassen sich laut Toncian etwa im thermonuklearen Kern unserer Sonne finden.

Nicht nur die Prozesse im Innern von Sternen könnten mit solchen Experimenten nachgestellt und besser verstanden werden. Materialforscher etwa wären in der Lage, neue Eigenschaften in extrem hoch angeregten Werkstoffen zu entdecken. Auch die Grundlagenforschung könnte profitieren und die Ausbreitung rasant schneller Teilchen in Materie analysieren. Selbst die Grenzen von Quantentheorien ließen sich experimentell überprüfen. So erwarten die Physikerinnen im HIBEF-Konsortium die Messung von elektromagnetischen Effekten, die auf der Theorie der Quantenelektrodynamik beruhen. „Die Experimente könnten sogar Impulse für neue Anwendungen, etwa von neuartigen, von Lasern angetriebenen Protonenquellen für die Materialforschung oder Medizintechnik liefern“, berichtet Toncian.

Der Physiker blickt zuversichtlich auf die kommenden Monate. Denn sowohl den Hochintensitäts-Laser selbst als auch die nötige Synchronisation mit den Röntgenblitzen des XFELs ließen sich erfolgreich demonstrieren. Toncian hat auch schon im Namen einer Kollaboration aus mehr als 50 Wissenschaftlerinnen von 13 Instituten einen Messantrag gestellt, um offiziell den Nutzbetrieb zu starten. Ab dann wird sein Team Gastforscher aus aller Welt betreuen, in die komplexe Messtechnik einweisen und auch selbst komplexe Experimente durchführen. Doch das volle Potential von HIBEF ist damit längst nicht ausgeschöpft. Drei weitere Experimente werden noch folgen. So wird Toncians Team einen zweiten Laser, diesmal für extrem hohe Energien, installieren. „Er wurde bereits von unseren Kollegen aus Oxford geliefert und wird direkt neben dem Hochintensitäts-Laser aufgebaut“, erzählt Toncian.

Reinraum-Bedingungen: Physiker Toma Toncian am RE.LA.X-Laser. Quelle: European XFEL/Jan Hosan



Britischer Laser erzeugt Schockwellen

Es handelt sich um einen 100 Joule Ytterbium-Keramik-Laser, der in den Materialproben schockartig extrem hohe Drücke aufbauen und Kompressionswellen erzeugen kann. Den Atomen in den Proben – wieder zu Dutzenden auf einem Probenhalter angeordnet – werden dabei rasant Elektronen entrissen, ein Plasma aus ionisierten Teilchen entsteht. Abermals lassen sich diese Prozesse mit den Röntgenblitzen des XFELs mit hoher zeitlicher Auflösung im Detail untersuchen. Die extremen Bedingungen ahmen diesmal nicht das Innere von Sternen, sondern beispielsweise von Exoplaneten nach. Neben Astrophysikerinnen harren auch Materialforscherinnen aus, ihre Proben an diesem voraussichtlich ab 2022 zur Verfügung stehenden Experiment analysieren zu dürfen. Sie erwarten Einblicke in exotische Phasenübergänge oder gar die Entdeckung völlig neuartiger Werkstoffe.

Alle Nutzer der Hochintensitäts- oder Hochenergie-Laser werden sich die kostbaren XFEL-Messzeiten allerdings mit weiteren Partnern im HIBEF-Konsortium teilen müssen. Eine hochmoderne Diamantstempelzelle ist schon jetzt reif für den Einsatz. Sie steht in der Messhütte direkt neben der Vakuumkammer für die Laserexperimente. Rasch lässt sie sich auf ihrem Schienensystem in den XFEL-Röntgenstrahl bewegen. Auch das unter Federführung des Hamburger Forschungszentrums DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) entwickelte Experiment hat extreme Drücke im Fokus. Diese werden jedoch nicht durch Laserlicht, sondern mechanisch von zwei Diamanten erzeugt. Pressen die Diamanten eine Probe zusammen, wirken auf diese statische Drücke von bis zu vier Millionen bar. Zudem lässt sich die Probe mit weiteren Lasern auf bis zu 10.000 Grad Celsius aufheizen.

Simulation des Inneren von Supererden

Dann herrschen Bedingungen wie im Mantel oder äußerem Kern der Erde. So erhalten Geophysiker Einblicke in Zustand und Verhalten von flüssigen Gesteinen und Kristallen, wie sie im Erdinnern vorkommen. Es locken neue Erkenntnisse über geologische Prozesse von der Bewegung der Erdplatten über Erdbeben bis zum Vulkanismus. Dank der extremen statischen Drücke sind die Forscher auch zuversichtlich, mit ihren Experimenten sogar das Innere von Supererden, also sehr großen Exoplaneten, nachahmen zu können. Denn es gilt als sehr wahrscheinlich, dass die Oberfläche dieser Planeten sehr stark von der Dynamik im Planeteninneren beeinflusst wird.

Vollständig wird die HIBEF-Ausstattung etwa Ende 2021 sein. Dann können die Forscherinnen ihre Proben nicht nur extremen Drücken oder intensiven Laserpulsen aussetzen, sondern auch großer Kälte von minus 269 Grad Celsius und enormen, gepulsten Magnetfeldern von bis zu 60 Tesla. Damit sind die Magnetfelder gut 40-mal stärker als der stärkste Dauermagnet aus einer Neodym-Eisen-Bor-Legierung. Mit Elektromagneten erzeugt, wirken die extremen Magnetfelder allerdings nur einige Mikrosekunden. Nur die schnell aufeinander folgenden Röntgenblitze des XFEL bieten ausreichend Intensität, um in so kurzer Zeit verlässliche Daten gewinnen zu können.

Bisher ungeklärte magnetische Effekte in Festkörpern mit kristallinen Strukturen könnten dann gemessen und verstanden werden. So ändern spezielle Materialien etwa ihre elektrische Leitfähigkeit periodisch bei tiefen Temperaturen und starken Magnetfeldern. Auch das genaue Verhalten von korrelierten Cooper-Elektronen-Paaren – verantwortlich für die widerstandslose elektrische Leitfähigkeit von Supraleitern – ließe sich unter diesen Extrembedingungen analysieren. Vor allem Materialforscherinnen können von den Messungen neue Ansätze für die Entwicklung völlig neuartiger Werkstoffe erwarten.

„HIBEF als Teil der High-Energy-Density-Plattform am XFEL wird prinzipiell allen Wissenschaftlern weltweit zur Verfügung stehen“, gibt Toncian einen Ausblick. Schon heute bereiten sich zahlreiche Forschungsgruppen mit theoretischen Modellen und neuen Ideen für Proben und Messbedingungen auf die Experimente vor. Auf zahlreichen Workshops diskutieren und verfeinern sie ihre Konzepte für die extremen Versuche. Bei HIBEF und HED treffen dadurch eine einzigartige komplexe Messtechnik auf geballtes Wissen aus verschiedenen Disziplinen. So stehen die Chancen gut, dass bis weit ins nächste Jahrzehnt der Messplatz verblüffende Einblicke in Sterne und neue Materialien eröffnen wird. Gut möglich, dass dann keine Kühe mehr auf den Wiesen um das Laborgebäude grasen, sondern tausende Menschen in einem neuen Stadtteil rund um den XFEL leben werden.

Publikationen:

T. Wang et al.: Structured targets for detection of Megatesla-level magnetic fields through Faraday rotation of XFEL beams. Physics of Plasmas, 2019 (DOI: 10.1063/1.5066109)

T. Kluge et al.: Observation of ultrafast solid-density plasma dynamics using femtosecond X-ray pulses from a free-electron laser. Physical Review X, 2018 (DOI: 0.1103/PhysRevX.8.031068)

L. Huang et al.: Ionization and reflux dependence of magnetic instability generation and probing inside laser-irradiated solid thin foils. Physics of Plasmas, 2017 (DOI: 10.1063/1.4989457)

H.-P. Schlenvoigt et al.: Detecting vacuum birefringence with x-ray free electron lasers and high-power optical lasers: a feasibility study. Physica Scripta, 2016 (DOI: 10.1088/0031-8949/91/2/023010)

T. Kluge et al.: Using X-ray free-electron lasers for probing of complex interaction dynamics of ultra-intense lasers with solid matter. Physics of Plasmas, 2014 (DOI: 10.1063/1.4869331) ┘

Kontakt

_Institut für Strahlenphysik am HZDR
Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF)
am European XFEL
Dr. Toma Toncian
t.toncian@hzdr.de

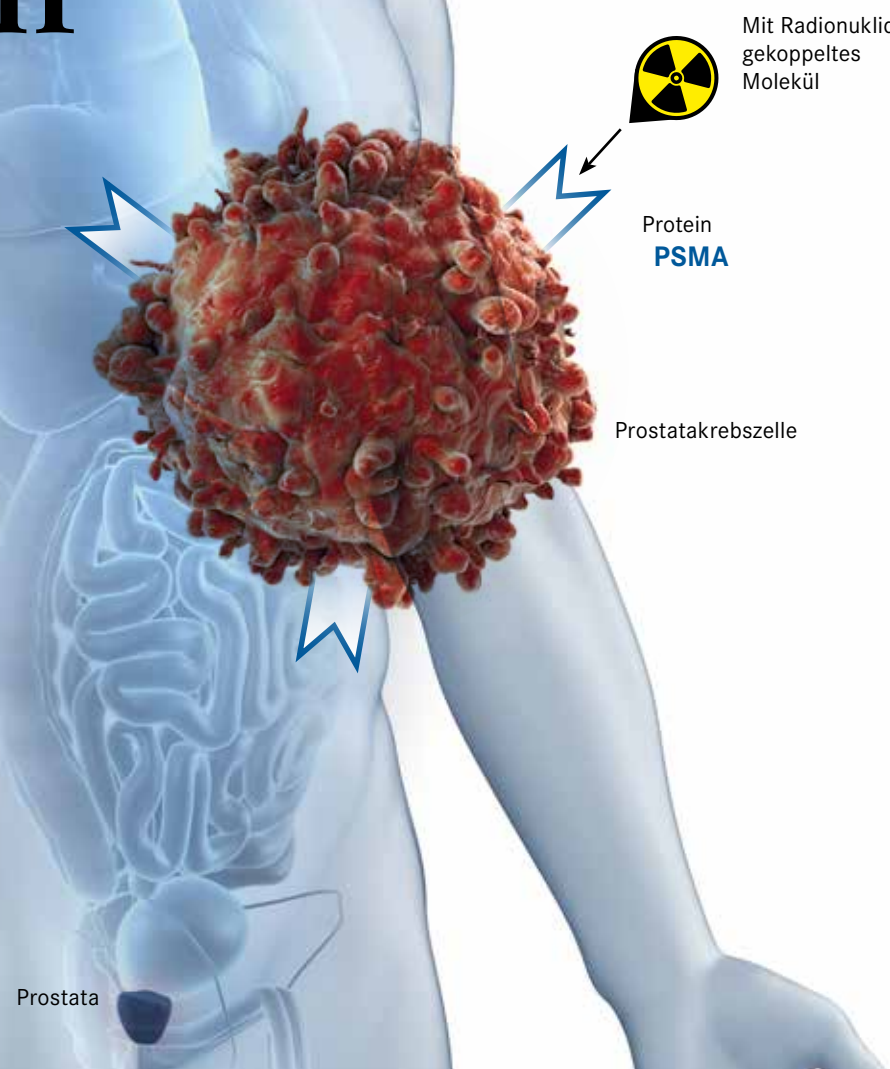
Unter der Erde: European XFEL-Tunnel mit Linearbeschleuniger. Quelle: European XFEL/Heiner Müller-Elsner



Den unsichtbaren Feind sichtbar machen

Den Tumor und seine Metastasen zielgenau aufspüren und sogar zerstören – dieses Ziel könnte die Nuklearmedizin mit radioaktiv markierten Molekülen, den sogenannten Radiotracer, erreichen. Ein Spezialist für diese Methode, Klaus Kopka, ist im November 2019 von Heidelberg in die sächsische Landeshauptstadt gewechselt. Am HZDR leitet der Chemiker zusammen mit Michael Bachmann das Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung.

Text: Marcus Anhäuser



Einblick: Das Prostata-spezifische Membran-Antigen (PSMA) ist auf der Oberfläche von Prostatakrebszellen zu finden und kommt im übrigen Körper kaum vor. Forscherinnen entwickelten ein kleines Molekül, das spezifisch an PSMA bindet und mit schwach radioaktiven Substanzen – sogenannten Radionukliden – markiert ist. Es kann so selbst kleinste Krebszellherde aufspüren und sie mithilfe der sogenannten Positronen-Emissions-Tomographie (PET) sichtbar machen.

Bildcollage: CLIPAREA/Custom media, Kateryna Kon, Helmholtz



© Carsten Buell

Klaus Kopka

ist heute mit dem Fahrrad gekommen, letzte Woche gleich zweimal. Von Loschwitz aus ins HZDR sind es mehr als zehn Kilometer. Eine ganz schöne Strecke ins Dresdner Hinterland: „Das hatte ich mir für das erste Jahr vorgenommen“, erzählt der Chemiker. Die Freude am Fahrradfahren ist einem gebürtigen Münsteraner wie ihm offenbar in die Wiege gelegt. Er hat aber auch generell Spaß am Sport, was man dem 53-Jährigen schon ansieht. Bis zum Alter von 35 Jahren hat er noch regelmäßig Körbe beim Basketball geworfen, alles in allem fünfundzwanzig Jahre lang. Danach war es vorbei mit dem Mannschaftssport. Regelmäßig bewegen kann man sich aber auch alleine, und natürlich auch in seiner neuen Heimat Dresden: „An der Elbe entlang kann man gut joggen“, stellt er fest.

Auch wenn er sportlich seit vielen Jahren auf Solopfaden unterwegs ist, hat er sein wissenschaftliches Team nun in Dresden gefunden, am Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung. Chemische, biologische und physikalische Arbeitsgruppen forschen gemeinsam an Wegen, um potentiell todbringende Tumore und ihre Metastasen mit maßgeschneiderten Molekülen sichtbar zu machen – und sie dann zielgerichtet zu bekämpfen. Was einfach klingt, ist im Tagesgeschäft echte Detailarbeit bis auf die molekulare Ebene.

Kopka ist Experte für solche Feinarbeit, denn er entwickelt Radiotracer. Das sind Molekül-Kombinationen, die als Tracer Krebstumore im Körper aufspüren. Sie sind wie Positionslichter im Meer. Der eine Teil des Molekülpaares fungiert wie ein Anker. Er hat eine ausgesprochene Affinität zu Krebszellen und bindet an Rezeptoren, die sich an deren



Außenhülle befinden. Der zweite Teil ist eine strahlende radioaktive Laterne: Sie macht die Zelle sichtbar. So sind die Medizinerinnen in der Lage, ein Meer von Positionslichtern auf den Bildern, rekonstruiert aus der Positronen-Emissions-Tomographie (PET), zu erkennen. Das ermöglicht es, Tumore frühzeitig auf molekularer Ebene aufzuspüren und zu charakterisieren. Gleichzeitig lässt sich auf diese Weise auch messen, ob Bestrahlung und Chemotherapie Erfolg im Kampf gegen die erkrankten Zellen zeigen.

Doch manche Radiotracer können noch mehr. Sie machen die Tumore nicht nur sichtbar, sie zerstören sie auch. Klaus Kopka hat einen solchen Wirkstoff in den letzten Jahren mitentwickelt. Und dieses Prinzip – „suchen, finden, zerstören“ – will er auch im Dresdner Forschungszentrum einsetzen.

Münster, seine Heimat

Geboren ist er in Münster, Jahrgang 1968. Die Mutter Grundschullehrerin, der Vater Postbeamter, obwohl er eigentlich mal etwas Handwerkliches machen wollte. „Aber das war dieses Sicherheitsdenken in der Nachkriegszeit. Davon bin auch ich geprägt“, berichtet Kopka. Die Eltern in dieser Generation hätten alles getan, damit die Kinder studieren konnten, was bei ihm wie auch seinen beiden Brüdern geklappt hat. Der ältere ist Pflanzenphysiologe am Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Golm bei Potsdam, der jüngere ist leitender Elektroingenieur bei Carl Zeiss in Oberkochen.

Kopka blieb erst einmal lange in seiner Geburtsstadt, hat dort Chemie studiert, 1996 promoviert. Im darauffolgendem Jahr begann er als Postdoktorand in der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin am Universitätsklinikum Münster bei Otmar Schober, in dessen Team er schließlich auch habilitierte. 2013 zog es ihn dann doch noch weg von Münster – nach Heidelberg, wo er die Professur für Radiopharmazeutische Chemie übernahm und die gleichnamige Abteilung am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) leitete.

Sein Vorgänger Michael Eisenhut hatte zusammen mit dem damaligen Postdoktoranden Matthias Eder und Kollegen den diagnostischen Wirkstoff PSMA-11 entwickelt. Dieses Molekül bindet an das Prostata-spezifische Membran-Antigen PSMA, das bei Prostatakrebs, dem weltweit häufigsten Krebs bei Männern, extrem hochreguliert ist. Durch die radioaktive Strahlung des Radiometalls Gallium-68, das für die Radiomarkierung von PSMA-11 verwendet wird, lässt sich zielgerichtet PSMA, das im Tumor und seinen Metastasen im Überschuss vorhanden ist, mit der PET-Methode dreidimensional tomographisch sichtbar machen.

Dem Team um Kopka gelang es, durch chemische Verfeinerung des Radioliganden das für die Bildgebung eingesetzte Gallium-68 durch das Therapienuklid Lutetium-177 zu ersetzen. In ihrer Doktorarbeit entwickelte Martina Benešová so den PSMA-Liganden [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617, den vor wenigen Jahren Ärzte um den Direktor der Klinik für Nuklearmedizin am Uniklinikum Heidelberg, Uwe Haberkorn, erstmals im Patienten individuell eingesetzt hatten. Mit dieser Tracer-Klasse für die Endoradiotherapie lässt sich Prostatakrebs nicht nur zuverlässig diagnostizieren, sondern auch gezielt bekämpfen.

„Die Entwicklung dieses Tracers ist ein erfolgreiches Beispiel für einen sogenannten theranostischen Radioliganden und für das Prinzip ‚suchen, finden, zerstören‘ – also eine Substanz, die gleichzeitig für die Diagnostik wie die Therapie genutzt wird“, erklärt Kopka. „Es ist zugleich ein positives Beispiel translationaler Medizin, weil es von der präklinischen zur klinischen Phase, von der Entwicklung bis zum Einsatz beim Patienten nur rund sieben Jahre dauerte.“ Ein Aspekt, der Kopka äußerst wichtig ist.

Nicht nur sichtbar machen, auch zerstören

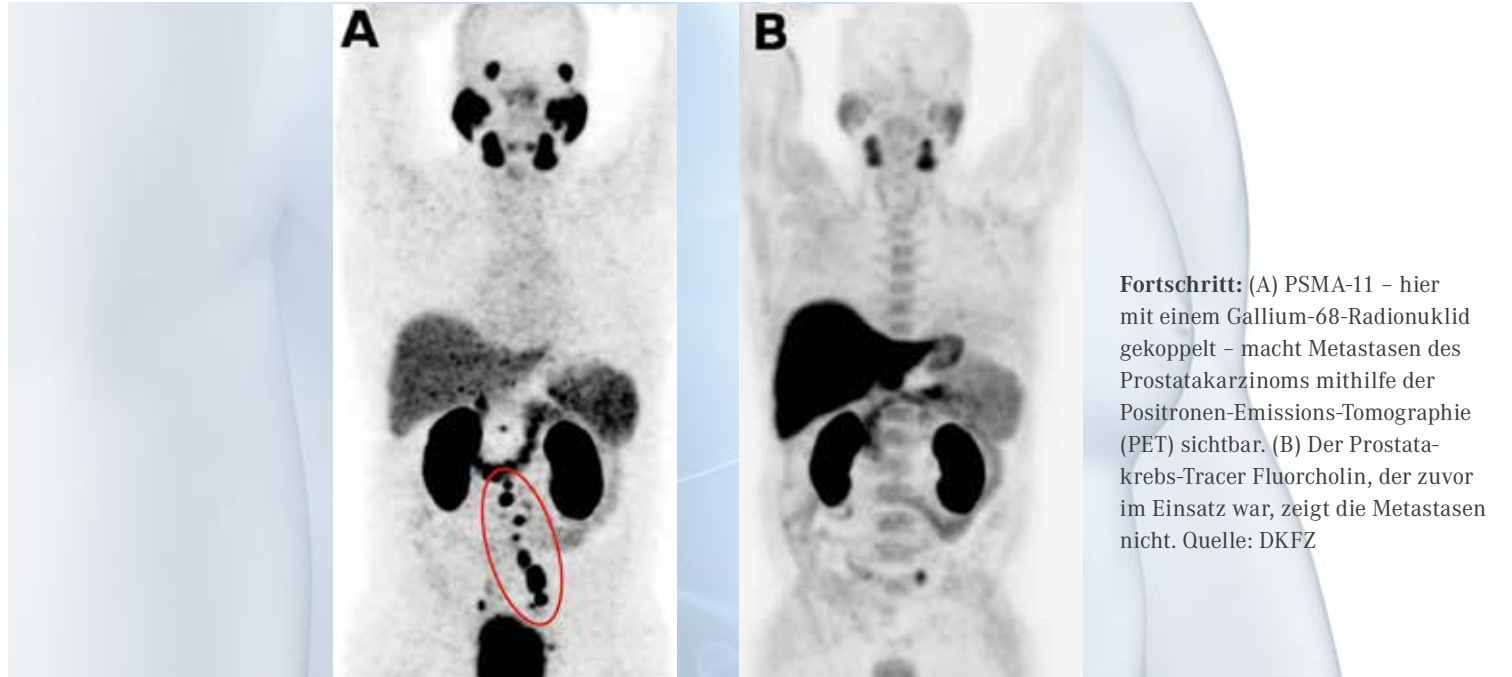
So hat er am HZDR in kurzer Zeit eine neue Abteilung mit dem Namen „Translationale TME-Liganden“ eingerichtet. Dort sollen nun in einer Habilitation kleine Tracer entwickelt werden, um die unmittelbare Umgebung eines Tumors (TME, Tumor Microenvironment) zu visualisieren. Damit ergänzt Klaus Kopka die Forschung des zweiten Direktors am Institut, Michael Bachmann, der an therapeutischen UniCar-T-Zellsystemen arbeitet. Bei dieser Methode werden Moleküle gekoppelt, die die Mikroumgebung eines Tumors ansteuern und Tumorzellen zielgerichtet bekämpfen. „Wenn wir das komplementär visualisieren können, ist das auch ein theranostisches Konzept“, gibt Kopka einen Ausblick.

Und er denkt auch gleich über das klassische System hinaus: „Es muss nicht nur das Radiotracer-Konzept sein, man könnte es auch mit der chirurgischen Behandlung von Tumoren verbinden.“ Dazu würde zusätzlich zum Radioliganden ein Farbstoff an das Rezeptor-bindende Molekül gekoppelt, der Metastasen während der OP im Zusammenspiel mit einem Operations-Robotersystem besser sichtbar macht. „Einen entsprechenden PSMA-Liganden, der auch mit Gallium-68 markierbar ist, hat zum Beispiel meine ehemalige Doktorandin Ann-Christin Baranski in Heidelberg entwickelt“, erzählt Klaus Kopka. „Ein klinischer Transfer steht nun bevor.“

Für seine Forschung sieht sich Kopka in Dresden genau am richtigen Standort, da er als langjähriger Fachkollege und Kooperationspartner seines Vorgängers Jörg Steinbach das Zentrum und viele Mitarbeiter bereits bestens kennt: „Die Bedingungen hier sind optimal. Das Institut ist extrem stark aufgestellt in den Kernkompetenzen, egal ob das Radionuklid-Produktion, Komplexbildner-Entwicklung, Kleintier-Bildgebung oder die Biologische Assay-Expertise ist.“

Mit Abstand gegen den Tunnelblick

Doch all die Arbeit im Detail an Molekülen und Rezeptoren darf nicht überdecken, dass es letztlich um die Behandlung kranker Menschen geht, denen der Krebs mit dem Tode droht, gibt Kopka zu bedenken. Vor diesem Tunnelblick bewahrt ihn nicht nur seine Familie, sondern auch seine Erfahrungen, die er während seiner 15 Jahre in der Nuklearmedizin bei Otmar Schober am Uniklinikum Münster gesammelt hat: „Dort habe ich klinische Routinen in der Nuklearmedizin erlernt. Weg von der Laborbank stand da erstmal der Patient im Vordergrund. Ich war frühmorgens im Labor und habe Spritzen mit Technetium-Radiopharmaka vorbereitet, damit ab acht Uhr die Untersuchungen starten konnten.“



Fortschritt: (A) PSMA-11 – hier mit einem Gallium-68-Radionuklid gekoppelt – macht Metastasen des Prostatakarzinoms mithilfe der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) sichtbar. (B) Der Prostatakrebs-Tracer Fluorocholin, der zuvor im Einsatz war, zeigt die Metastasen nicht. Quelle: DKFZ

Und dann sind da die Gespräche mit Nuklearmedizinern und Onkologinnen am Dresdner Standort, die verhindern, dass er die Patienten aus den Augen verliert. Da bietet das HZDR mit seinen Partnerschaften im Uniklinikum Dresden, im Nationalen Centrum für Tumorerkrankungen (NCT), dem Deutschen Konsortium für Translationale Krebsforschung (DKTK) und dem Nationalen Zentrum für Strahlenforschung in der Onkologie – OncoRay sehr gute Möglichkeiten.

Konkret heißt das für Klaus Kopka, dass die Expertinnen aus der medizinischen Klinik ihm helfen, Forschung mit klinischer Relevanz zu betreiben. „Das gebe ich auch täglich als Motivation meinen Mitarbeitern und Kollegen mit: Bevor ihr euch mit der Forschung verzettelt, fragt die Mediziner nach der klinischen Relevanz. Vielleicht gibt es ja sogar einen echten Bedarf bei einer Krebsart für eine bestimmte Substanz, nach der man gezielt suchen kann.“

Nach dem Erfolg mit PSMA-617 und anderen Radioliganden, wie PSMA-1007, einem optimierten PET-Tracer für die Diagnostik des Prostatakarzinoms, will er nun in Dresden sehen, in welchen Bereichen es weiteren klinischen Bedarf gibt. Nach dem Prostatakarzinom denkt er dabei zum Beispiel an Brustkrebs, das häufigste Karzinom bei Frauen, oder Bauchspeicheldrüsenkrebs, eine der tödlichsten Krebsarten überhaupt. Denn letztlich, so Kopka, gehe es doch darum: als Mitarbeiter eines Helmholtz-Zentrums, das durch die öffentliche Hand finanziert werde, sei es ein gesellschaftlicher Auftrag, eine bessere Patientenversorgung herbeizuführen.

Publikationen:

J. Cardinale, M. Roscher, M. Schäfer, M. Geerlings, M. Benešová, U. Bauder-Wüst, Y. Remde, M. Eder, Z. Novakova, L. Motlová, C. Bařinka, F.L. Giesel, K. Kopka: Development of PSMA-1007-related series of ¹⁸F-labeled glu-ureido-type PSMA inhibitors. Journal of Medicinal Chemistry, 2020 (DOI: 10.1021/acs.jmedchem.9b01479)

C. Kratochwil, W.P. Fendler, M. Eiber, R. Baum, M.F. Bozkurt, J. Czernin, R.C. Delgado Bolton, S. Ezziddin, F. Forrer,

R.J. Hicks, T. A. Hope, L. Kabasakal, M. Konijnenberg, K. Kopka, M. Lassmann, F.M. Mottaghy, W. Oyen, K. Rahbar, H. Schöder, I. Virgolini, H.J. Wester, L. Bodei, S. Fanti, U. Haberkorn, K. Herrmann: EANM procedure guidelines for radionuclide therapy with ¹⁷⁷Lu-labelled PSMA-ligands (¹⁷⁷Lu-PSMA-RLT). European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 2019 (DOI: 10.1007/s00259-019-04485-3)

A.C. Baranski, M. Schäfer, U. Bauder-Wüst, M. Roscher, J. Schmidt, E. Stenau, T. Simpfendorfer, D. Teber, L. Maier-Hein, B. Hadaschik, U. Haberkorn, M. Eder, K. Kopka: PSMA-11 derived dual-labeled PSMA-inhibitors for preoperative PET imaging and precise fluorescence-guided surgery of prostate cancer. The Journal of Nuclear Medicine, 2018 (DOI: 10.2967/jnumed.117.201293)

F.L. Giesel, B. Hadaschik, J. Cardinale, J. Radtke, M. Vinsensia, W. Lehnert, C. Kesch, Y. Tolstov, S. Singer, N. Grabe, S. Duensing, M. Schäfer, O.C. Neels, W. Mier, U. Haberkorn, K. Kopka, C. Kratochwil: F-18 labelled PSMA-1007: biodistribution, radiation dosimetry and histopathological validation of tumor lesions in prostate cancer patients. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 2017 (DOI: 10.1007/s00259-016-3573-4)

J. Cardinale, M. Schäfer, M. Benešová, U. Bauder-Wüst, K. Leotta, M. Eder, O.C. Neels, U. Haberkorn, F.L. Giesel, K. Kopka: Preclinical evaluation of ¹⁸F-PSMA-1007: A new PSMA-ligand for prostate cancer imaging. The Journal of Nuclear Medicine, 2017 (DOI: 10.2967/jnumed.116.181768)

M. Benešová, U. Bauder-Wüst, M. Schäfer, K.D. Klika, W. Mier, U. Haberkorn, K. Kopka, M. Eder: Linker modification strategies to control the prostate-specific membrane antigen (PSMA)-targeting and pharmacokinetic properties of DOTA-conjugated PSMA inhibitors. Journal of Medicinal Chemistry, 2016 (DOI: 10.1021/acs.jmedchem.5b01210) ┘

Kontakt

_Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung am HZDR
Prof. Klaus Kopka
k.kopka@hzdr.de

Wenn Materialforschung auf Krebsmedizin trifft ...

Mit Nanotechnologie Krankheiten aufspüren oder die Wirksamkeit von Therapien überwachen – das ist die Vision, an der Larysa Baraban und ihre Arbeitsgruppe forschen. Mit ihrem interdisziplinären Ansatz verbinden sie zwei der drei großen Forschungsbereiche des HZDR.

—Text . Kai Dürfeld

Sanft gleitet der Katheter durch die Vene. Gleich hat er das Herz erreicht. Dort soll er die Herzkranzgefäße genauer unter die Lupe nehmen. Doch bereits auf seinem Weg hat sich das wendige Gerät ein Bild von seiner Umgebung gemacht, hat kontinuierlich Sauerstoffsättigung gemessen oder eine Vielzahl verschiedener Biomarker im Blut bestimmt und die Ergebnisse drahtlos an das Ärzteteam im OP gesendet. Geht es nach Larysa Baraban, könnte eine solche Szene in Zukunft zum medizinischen Standardrepertoire gehören. Denn gemeinsam mit ihrer Arbeitsgruppe „Nano-Mikrosysteme für Biowissenschaften“ entwickelt die Physikerin am HZDR nanometergroße Sensoren für die medizinische Diagnose.

Dass ihre Arbeitsgruppe dabei das Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung mit dem Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung verbindet, scheint nur auf den ersten Blick ungewöhnlich. „Die elektronischen Bio-Nanosensoren, die wir als Materialforscher entwickeln, treten mit den Biomolekülen und Zellen in Wechselwirkung. Das führt zu charakteristischen Signalen“, holt Larysa Baraban aus. „Unsere Sensoren können die mit den Biomolekülen verbundenen Ladungen ganz gezielt in Strom oder Spannung umwandeln und diese dann zur Auswertung übertragen“, führt sie den Gedanken weiter. „Und da sind wir schon mitten in der Krebsforschung. Denn diese Signale können beispielsweise Krebs erkennen oder auch zeigen, ob ein Medikament wie gewünscht wirkt.“

Mit Gesundheit und Materie verbindet Larysa Barabans Forschung zwei der drei großen Forschungsbereiche des HZDR. Die Idee zu solchen interdisziplinären Arbeitsgruppen, erzählt sie, hätte es schon eine ganze Weile gegeben. „Nano-Mikrosysteme für Biowissenschaften“ sei nun einer der „Prototypen“, die die bereichsübergreifende Forschung in den kommenden Jahren mit Leben füllen werden. Anfang 2020 wechselte die Physikerin von der TU Dresden zum HDZR und begann gleich damit, ihre Arbeitsgruppe aufzubauen. Die umfasst mittlerweile zwei Postdocs, vier Doktorandinnen und zwei Master-Studierende.

Neben Physikerinnen, Nano- und Biomedizin-Technikern hat sie auch einen Experten für drahtlose Kommunikation an Bord geholt. „Wenn wir Nanosensoren in den Körper bringen, müssen wir die Messwerte ja auch wieder herausbekommen“, erzählt sie. „Und dazu wollen wir natürlich keine Kabel im

Patienten verlegen.“ Außerdem arbeitet das Team sehr eng mit klinischen Medizinerinnen zusammen. „Wir überlegen uns eine Idee und besprechen diese mit den Ärztinnen und Ärzten. Das führt so gut wie immer zu einer wahren Explosion an neuen Einfällen. Damit verfeinern wir dann unseren Ansatz.“

Physik für ein langes und gesundes Leben

Ihr Interesse an den Naturwissenschaften und ganz besonders an der Physik erwachte bereits in der Schule. „In der Oberstufe bekamen wir eine neue Physiklehrerin“, erinnert sie sich. „Die hat den Lehrstoff so anschaulich erklärt, dass ich auf den Geschmack kam und unbedingt mehr wissen wollte.“ Das Studium der Radiophysik an der Nationalen Taras-Schewtschenko-Universität Kiew war daher nur ein logischer Schritt. Danach promovierte sie im Fach Physik an der Universität Konstanz, forschte als Postdoc auf dem Gebiet der Mikrofluidik in Paris und ging schließlich nach Dresden an die Technische Universität. Nanoelektronik mit der Biologie zu kombinieren, war auch dort ihr Spezialgebiet. Zum Beispiel war sie hier als Mitglied einer internationalen Forschungsgruppe an der Entwicklung des ersten Neurotransistors beteiligt – einem elektronischen Schaltkreis, der die Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachahmt.

Was aber treibt eine junge Physikerin dazu, ihr Talent nun in den Dienst der Krebsforschung zu stellen? Eine private Begegnung mit der Krankheit, die zum Auslöser für die Wahl des Forschungsfeldes wird, gab es bei ihr nicht, verrät sie. Ihr Ansatz war ein anderer: „Dank der modernen Medizin leben wir immer länger und das ist gut“, stellt Larysa Baraban fest. „Aber ein langes Leben bedeutet auf der anderen Seite auch, dass die Wahrscheinlichkeit einer Krebsdiagnose steigt.“ Und das sei eine wirklich starke Motivation für sie, gesteht die junge Physikerin. „Wenn ich an mein Kind denke und an dessen Kinder später, dann will ich heute alles tun, den Krebs besser zu verstehen und Ansätze für eine Heilung zu finden.“ Fasziniert ist sie dabei vor allem von der interdisziplinären Zusammenarbeit mit den Medizinerinnen. Der Gedanke, dass die von ihr entwickelten Sensoren tatsächlich helfen, Leben zu retten, spornt sie jeden Tag aufs Neue an.



Im Dienst der Krebsforschung: Physikerin Larysa Baraban. Quelle: HZDR/A. Wirsig

Medizinisches Labor auf einem Chip

Für ihre Forschung taucht die Arbeitsgruppe in die Welt des Allerkleinsten ein. Weniger als 100 Nanometer messen beispielsweise die winzigen Drähte, aus denen ihre Nanokondensatoren aufgebaut sind. Das ist nicht einmal ein Prozent der Breite eines Haares. In dieser Welt treten die Eigenschaften des Materials in den Hintergrund. Hier bestimmen verschiedenste Effekte an den Oberflächen die Funktionen. Und da das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen bei den Nanodrähten höher als bei herkömmlichen Strukturen ist, eignen sich die nanometerkleinen Winzlinge ideal für medizinische Messungen.

Aus ihnen aufgebaute Sensoren lassen sich im Vergleich zu ihren konventionellen Pendanten extrem verkleinern. Und das bei deutlich höherer Empfindlichkeit. Gleich mehrere solcher Sensoren, jeder für eine andere Analyse gedacht, lassen sich in ein „Lab-on-a-Chip“ integrieren. Bei diesem findet auf einem kreditkartengroßen Glas- oder Kunststoff-Träger dann tatsächlich ein komplettes Analyselabor Platz. Damit lässt sich beispielsweise ein Durchfluss-Zytometer realisieren. Dieses zählt die Immunzellen im Blut und ordnet sie dabei in Echtzeit den verschiedenen Klassen zu. In der Krebstherapie kann auf diese Weise überprüft werden, ob eine Behandlung in gewünschter Weise wirkt.

Die Krebsmedizin ist dabei aber nur eines der Anwendungsfelder, die die Physikerin und ihr Team im Blick haben. Auch das Coronavirus SARS-CoV-2 und die von ihm ausgelöste Krankheit Covid-19 haben sie im Visier. „Zusammen mit der Arbeitsgruppe von Michael Bachmann vom Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung wollen wir einen Sensor entwickeln, der in kürzester Zeit multiparametrische diagnostische Tests durchführt“, erzählt Larysa Baraban. „Einerseits wollen wir den aktiven Erreger in einer Probe erkennen und

damit eine aktuelle Infektion nachweisen. Auf der anderen Seite wollen wir aber auch nach Antikörpern Ausschau halten und damit eine überstandene Infektion feststellen.“ Vom Freistaat Sachsen hatte das Institut dafür eine Förderung in Höhe von zwei Millionen Euro erhalten.

Systeme wie diese arbeiten für gewöhnlich *ex vivo*, also außerhalb des Körpers. Damit lassen sich sehr gut Gewebe- oder Blutproben untersuchen. Doch die Wissenschaftler um Baraban forschen auch an Sensoren, die im lebenden Organismus – also *in vivo* – Messungen vornehmen. Wie zum Beispiel an jenen, die die Herzkatheder der Zukunft zu Echtzeitlaboren aufrüsten könnten.

Publikationen:

J. Schütt, D.I. Sandoval Bojorquez, E. Avitabile, E.S. Oliveros Mata, G. Milyukov, J. Colditz, L.G. Delogu, M. Rauner, A. Feldmann, S. Koristka, J.M. Middeke, K. Sockel, J. Fassbender, M. Bachmann, M. Bornhäuser, G. Cuniberti, L. Baraban: Nanocytometer for smart analysis of peripheral blood and acute myeloid leukemia: a pilot study. Nano Letters, 2020 (DOI: 10.1021/acs.nanolett.0c02300)

E. Baek, N.R. Das, C.V. Cannistraci et al.: Intrinsic plasticity of silicon nanowire neurotransistors for dynamic memory and learning functions. Nature Electronics, 2020 (DOI: 10.1038/s41928-020-0412-1)

L. Baraban, B. Ibarlucea, E. Baek, G. Cuniberti: Hybrid silicon nanowire devices and their functional diversity. Advanced Science, 2019 (DOI: 10.1002/advs.201900522) ┘

Kontakt

_Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung am HZDR
Dr. Larysa Baraban
l.baraban@hzdr.de

Selbe Methode! Gleiches Ergebnis?

Um der Welt ihre Geheimnisse zu entlocken und Hypothesen zu überprüfen, setzen Forscherinnen in allen Disziplinen auf die unterschiedlichsten Werkzeuge. Wie sicher aber können sie eigentlich sein, dass diese so gut funktionieren, wie sie es annehmen? Wissenschaftler des Instituts für Ressourcenökologie am HZDR wollten es einmal genau wissen und starteten einen weltweiten Vergleichsversuch spektroskopischer Verfahren – mit einer durchaus überraschenden Erkenntnis.

Text: Marcus Anhäuser

Damit hatten sie nicht gerechnet. Ausgerechnet der letzte Schritt, die Publikation ihrer umfassenden Ergebnisse, war der schwierigste. Und das bei einem so gewaltigen, wie auch wichtigen Projekt. Harald Foerstendorf, Katharina Müller, Robin Steudtner und Satoru Tsushima haben keine neue wissenschaftliche Entdeckung gemacht und auch keine bestehende Theorie bestätigt. Die vier Dresdner Expertinnen für Spektroskopie und Quantenchemie haben ihren Forschungszweig unter die Lupe genommen: die Spektroskopie radioaktiver Schwermetalle. „Es ging darum, sich den Spiegel vorzuhalten, wie man selbst und wie die Kollegen arbeiten, wie unser Wissen über ein einfaches System entsteht und wie gut wir und unsere Methoden eigentlich übereinstimmen“, erklärt Harald Foerstendorf, dessen Forschungsschwerpunkt die Schwingungs-Spektroskopie ist. Die Dresdner haben das nicht alleine gemacht, sondern zusammen mit 41 Co-Autoren aus zwanzig Laboren in sechs Ländern auf drei Kontinenten.

Einen solchen Methodencheck bezeichnen Wissenschaftler als Ringversuch oder auch Round-Robin-Test. Der Begriff ist vom französischen „rond ruban“ für „Rundes Band“ abgeleitet. Er bezeichnet ursprünglich eine besondere Art, ein Dokument von mehreren Personen unterzeichnen zu lassen. Damit nicht an der Position der Unterschrift erkannt werden kann, wer eine führende Rolle in dieser Gruppe inne hat, werden die Unterschriften wie in einem breiten, runden Band zirkulär angeordnet. Im Spielbereich bezeichnet Round Robin eine Turnierform, bei dem jeder einmal gegen jeden antritt. In der Wissenschaft wie in der Industrie ist der Ringtest ein bewährtes Verfahren, um Methoden, Instrumente und Arbeitsweisen in verschiedenen Gruppen zu untersuchen und abzugleichen. Etwa in der Umweltanalytik, wenn verschiedene Umweltlabore dieselbe Probe zur Analyse bekommen, um herauszufinden, ob alle dieselben Ergebnisse erhalten.

Dass solch ein Methodenabgleich kein einfaches Unterfangen werden würde, hatten die vier Forscher schon geahnt, schließlich ist ein weltweiter Check, mit so vielen Laboren und Kolleginnen über die nördliche Hemisphäre von den USA über Frankreich und Deutschland bis nach Singapur verstreut, schon logistisch eine Herausforderung. Das letzte Mal, dass ein ähnlicher Methodencheck innerhalb der Spektroskopie – in wesentlich kleinerer Ausführung – stattfand, liegt fast zwei Jahrzehnte zurück.

Statt aber nur in einem Schritt die gleiche Substanz mit derselben Methode in verschiedenen Laboren zu untersuchen, analysierten die beteiligten Wissenschaftler die gleichen Proben im ersten Schritt mit fünf spektroskopischen Verfahren, um dann in einem zweiten Schritt auch die verschiedenen Methoden untereinander zu vergleichen, die Ergebnisse aus den Experimenten mit den quantenchemischen Rechnungen abzugleichen und alles zu einem Gesamtbild zusammenzufügen.

Ausschnitte der Realität

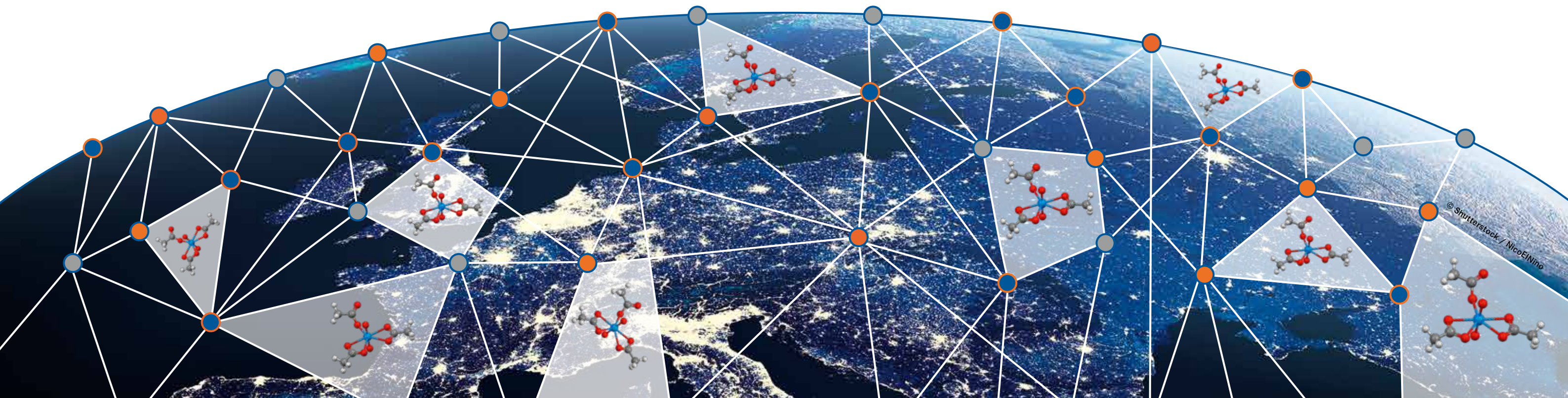
Die Idee dahinter: Jede Methode ist wie ein anderer Blickwinkel auf dasselbe Objekt, und liefert einen etwas anderen, wertvollen Ausschnitt der Wirklichkeit. Erst zusammen aber ergeben die unterschiedlichen Werkzeuge ein vollständiges Bild. Das Problem dabei ist, dass die Forscherinnen meist so spezialisiert auf ihre Methode sind, dass es ihnen schwer fällt, die Ergebnisse und vor allem Interpretationen der anderen Blickwinkel ausreichend zu verstehen und mit ihren eigenen Methoden in einen Zusammenhang zu bringen. Entstanden sei die Idee auch aus dem Bedürfnis heraus, besser zu verstehen, was die einzelnen Disziplinen für Anforderungen an die Daten und Ergebnisse der jeweils anderen Kolleginnen haben. „Gerade zwischen den Theoretikern und den Experimentatoren gibt es grundlegend unterschiedliche Erwartungen“, erzählt Katharina Müller.

Jede Methode hat ihre Vor- und Nachteile. Der Dresdner Ringtest sollte ein Weg zur Verständigung unter den Laboren und den Methoden sein, um am Ende das „ganze Bild“ einer Analyse zu erhalten. Entstanden war die Idee zu diesem Mammut-Ringtest in der Abschlussrunde des ersten Workshops namens ATAS (Advanced Techniques in Actinide Spectroscopy) in Dresden im Jahr 2012, der sich mittlerweile fest in der internationalen Community etabliert hat. „Wir überlegten uns, wie wir die Kommunikation und Vernetzung stärken könnten und waren dann auf der Suche nach einem Ansatz, den man gemeinschaftlich angehen kann“, berichtet Robin Steudtner, gelernter Chemiker und Spezialist für die Fluoreszenz-Spektroskopie. Und er ergänzt: Es sei anfangs auch ein bisschen eine „Schnapsidee“ gewesen.

Alle angefragten Forscherinnen waren aber gleich begeistert von der Idee, einen solchen Test durchzuführen. „Von den Kollegen, die sich am Anfang freiwillig gemeldet haben, sind am Ende sicherlich achtzig Prozent noch dabei gewesen“, sagt Steudtner.

Was verrät das Spektrum?

Die verschiedenen spektroskopischen Methoden, wie Schwingungs-, Röntgenabsorptions- oder Kernspinresonanz-Spektroskopie, untersuchen jeweils bestimmte Eigenschaften eines Moleküls anhand sogenannter Spektren. Diese entstehen, wenn die zu untersuchende Substanz elektromagnetischen Feldern ausgesetzt wird und dadurch Elektronen angeregt, Atome in Schwingung versetzt werden oder Moleküle zu rotieren beginnen. Bei all dem wird Energie abgegeben oder aufgenommen, was die Forscherinnen messen können und in einem charakteristischen Spektrum darstellen. Daraus lesen sie Informationen zu verschiedensten Parametern der Moleküle und Atome ab, wie etwa Bindungsabstände, den Spin der Elektronen oder die Zusammensetzung der Moleküle. ➤



Die Dresdner Wissenschaftler konzentrieren einen Teil ihrer Forschung auf radioaktive Schwermetalle, zu denen Uran, Plutonium oder Thorium genauso zählen wie die für Laien eher unbekannten Elemente Neptunium, Curium oder Americium. Von solchen Substanzen versuchen sie, in Grundlagen- und angewandter Forschung so viel Wissen zu generieren, dass sie verstehen, wie sich diese Stoffe unter bestimmten Bedingungen und in bestimmten Umgebungen verhalten. Was sehr kleinteilig klingt, hat indes ganz praktischen Nutzen.

Wichtig sind ihre Ergebnisse zum Beispiel bei der Suche nach einem geeigneten Standort für ein Endlager, nach dem in Deutschland – insbesondere angesichts des bevorstehenden Atomausstiegs – seit einiger Zeit intensiv gesucht wird. Die Forschungsergebnisse der Dresdner helfen zu verstehen, was passiert, wenn etwa beim größten anzunehmenden Störfall – Wasser tritt ins Endlager ein – Radionuklide freigesetzt werden, radioaktive Substanzen sich ausbreiten und dadurch Mensch und Natur gefährden. Auch für Störfall-Szenarien wie Tschernobyl oder Fukushima ist ein Verständnis bis auf molekularer Ebene für verlässliche Vorhersagen unentbehrlich, genauso wie für die Altlasten des Uran-Tagebaus aus DDR-Zeiten.

Da die Forscherinnen für ihren Round-Robin-Test kein neues Wissen über eine Substanz, sondern über ihre Werkzeuge und Methoden generieren wollten, fiel die Wahl für den zu untersuchenden Stoff auf ein bewährtes System: „Am Ende eines längeren Überlegungsprozesses und weil die meisten Teilnehmer ihr Interesse bekundet hatten, haben wir uns für das Uranylacetat-System entschieden“, sagt Harald Foerstendorf. Das ist ein gelber, kristalliner Stoff, der zwar giftig ist, aber so schwach radioaktiv, dass er weniger gefährlich ist, solange er nicht in den Körper gelangt. Untersucht wird Uranylacetat seit den 1950er Jahren. Wissenschaftlerinnen haben somit sechs Jahrzehnte Erfahrung, um mit vergleichsweise geringem Aufwand das System mit ihren Spektrometern zu analysieren.

Nun lernten die Organisatoren so manche Besonderheiten von Ländern und deren Einfuhrbestimmungen für radioaktive Proben kennen, die Techniker jedes Mal „in liebevoller Handarbeit“ präpariert und verpackt hatten. Steudtner und Foerstendorf denken mit Grausen an die Bürokratie zurück, mit der sie zu tun hatten, nur um zum Beispiel eine Erlaubnis für einen Versand von vier Proben nach Indien zu bekommen. Die haben sie letztlich auch erhalten, nur leider viel zu spät: „Ich hatte vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle die Bestätigung bekommen, dass ich meine vier Proben verschicken kann. Da war der experimentelle Teil des Tests aber schon abgeschlossen“, erzählt Steudtner. Heute kann er darüber lachen. „Das sind Erfahrungen, die man einfach macht.“

Sehr gute Übereinstimmungen

Belohnt wurde der gigantische Aufwand mit einer Vielzahl von Daten und sehr zufriedenstellenden Resultaten. In weiten Teilen der Experimente gab es sehr große Übereinstimmungen der Ergebnisse. Vor allem in der ersten Phase, bei der jeweils eine Methode zwischen verschiedenen Laboren verglichen wurde. Im Fall der Raman-Spektroskopie, einer Form der Schwingungsspektroskopie, stimmten die Ergebnisse zum Beispiel völlig überein. „Es hat sich dann aber gezeigt, dass in der Literatur einige falsche Daten kursieren, die wir mit unserem Test korrigieren konnten“, sagt Harald Foerstendorf. Die Unterschiede kann man gut erklären, weil die vorhandenen Daten schon ein paar Jahre alt waren, und es heute einfach bessere Technologien gebe, mit denen viel genauer gemessen werden könne, ergänzt Robin Steudtner.

Nur in Einzelfällen gab es indes auch bei den aktuellen Vergleichen relevante Abweichungen, wie etwa in der Fluoreszenz-Spektroskopie. „Es zeigte sich, dass bei der Kalibrierung

der Anlagen die Gruppen etwas heterogen arbeiten“, gibt Steudtner etwas verlegen zu. Denn was er damit sagen will: Das wichtige Eichen der Spektroskope zu Beginn der Messungen wird von einigen Forscherinnen offenbar weniger konsequent durchgeführt als von anderen Gruppen. „Der Nachteil bei dieser Methode ist eben, dass man die Spektrometer noch händisch mit einer Kalibrierlampe einstellen muss. Und das ist mit einem gewissen zeitlichen Aufwand verbunden“, erläutert der Chemiker. Wenn man dann nur „schnell“ etwas nachmessen möchte, könnte es schon passieren, dass so eine Kalibrierung auch mal entfällt. „Und dann fragt man sich hinterher: Warum sind denn die Banden im Spektrum verschoben und nicht an der Stelle, an der sie eigentlich sein sollten?“

Bei Steudtner hat dieses Ergebnis Einfluss auf seine tägliche Arbeit. Zum einen achtet er am Institut jetzt verstärkt darauf, dass die Mitarbeiterinnen, insbesondere die jüngere Generation, ihre Spektrometer vor jeder Messung kalibrieren, schon allein, damit auch die Ergebnisse innerhalb des Instituts und der Arbeitsgruppen vergleichbar sind. Aber auch beim Begutachten von Fachartikeln im Peer-Review-Verfahren sucht er jetzt immer erst nach Informationen, ob und wie kalibriert wurde. Fehlen die Angaben, wird er misstrauisch. Damit dieser Prozess innerhalb der Community regelmäßig und einheitlich durchgeführt wird, haben die Dresdner in ihrem Artikel auch ein Verfahren vorgeschlagen, wie die Einstellungen vorzunehmen sind, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

Theorie und Praxis

Eher gemischt waren die Resultate, wenn es um den Abgleich von Theorie und Experiment geht: „Es hat sich gezeigt, dass man für manche Methoden in der Theorie sehr gute Ergebnisse erzielen kann – für andere ist es noch schwierig“, sagt Katharina Müller. Es gebe ein ganz grundsätzliches Problem, schätzt Satoru Tsushima ein: „Unterschiede entstehen zum

Beispiel, weil die Experimente in wässrigem Milieu durchgeführt werden, wir in der theoretischen Modellierung aber nicht mit einem wässrigen Milieu rechnen, sondern im Vakuum.“

Der Grund: Wasser verkompliziert alles. All die Reaktionen der zahllosen Wassermoleküle und den Einfluss anderer Parameter einzubeziehen, bedeuteten extrem lange Rechenzeiten. Deshalb wird beim Modellieren in der Theorie mit dem Vakuum gearbeitet, in dem keine anderen Moleküle stören. Das könne sich in Zukunft ändern, wenn die Algorithmen besser würden und die Computer schneller, vor allem, wenn man an Quantencomputer denke, sagt Foerstendorf.

Gespannt waren alle, wie gut die drei großen Ringbeschleuniger in Frankreich und Deutschland in ihren Ergebnissen übereinstimmen würden. Solch einen Vergleich der komplexen Anlagen hatte es bisher noch nicht gegeben. Einige Ringbeschleuniger gehören zu den größten Maschinen, die Menschen je gebaut haben. Am bekanntesten ist das gigantische Synchrotron am CERN in Genf, aber es gibt weltweit viele weitere, wie etwa die European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) im französischen Grenoble, dessen Ringumfang fast 850 Meter beträgt. Außerdem hatten am Versuch Kollegen der Synchrotrone der Angströmquelle in Karlsruhe (ANKA) und der SOLEIL Université Paris-Sud in Orsay mit einem Umfang von mehr als 350 Metern teilgenommen.

Die Forscher dieser Anlagen zeigten sich sehr selbstbewusst und gingen davon aus, dass ihre Ergebnisse tatsächlich völlig übereinstimmen würden. Die Dresdner hatten so ihre Zweifel, waren aber gerade deshalb so gespannt. Steudtner kennt solche Anlagen aus eigener Erfahrung und weiß, wie groß und vor allem komplex diese Maschinen sind. Doch die Kolleginnen sollten Recht behalten: „Für mich war die größte Überraschung, dass die gemessenen Ergebnisse zu hundert Prozent identisch waren“, sagt er. ➤



Spektrometer: Eine Wissenschaftlerin des HZDR-Instituts für Ressourcenökologie bei der Datenauswertung. Quelle: HZDR/O. Killig

Unerwartete Erkenntnis

Eine weniger positive Überraschung erlebten Steudtner, Foerstendorf, Tsushima und Müller allerdings, als es daran ging, die Ergebnisse zu publizieren. Das dauerte wesentlich länger als sie es erwartet hatten. Klar, einen 60 bis 80 Seiten-Text mit über vierzig Co-Autoren abzustimmen, war allein schon eine Herausforderung. Das Unerwartete folgte indes danach: „Wie schwer es doch ist, eine solche Art von Publikation in den gängigen Fachzeitschriften unterzubringen“, meint Harald Foerstendorf. Am Ende waren es insgesamt vier Zeitschriften, bei denen sie den Mammut-Artikel eingereicht hatten, bis es schließlich klappte.

Foerstendorf vermutet, dass es zwei Gründe gibt, warum es so schwierig war. Zum einen sei es die schiere Menge an Informationen, die auch einige der Gutachter offensichtlich überforderten. Man habe gemerkt, dass einige das Manuskript nicht bis zu Ende gelesen und auch nicht erfasst hatten, um was es ging. Hinzu komme, so Foerstendorf: „Man starrt heute doch sehr auf neue Erkenntnisse, und wenn die nicht so offensichtlich sind, dann scheint es für viele nicht mehr interessant für eine Publikation.“

Bei jedem Journal verlief es ähnlich: „Die einen Reviewer waren völlig begeistert, aber es war immer einer dabei, der meinte, das wäre doch gar nichts Neues, das wüsste man doch alles schon“, sagt Robin Steudtner. So sei es anfänglich auch beim Magazin ACS Omega gewesen, das die Arbeit schließlich im Mai 2019 veröffentlichte. Nur da hatte sich der Redakteur über den einen kritischen Gutachter hinweggesetzt, weil er die Ergebnisse so relevant fand. Erstaunlich, dass etwas so Wichtiges, wie der Vergleich der essentiellen Werkzeuge der Wissenschaft, so schwer an den Mann zu bringen ist. Aber gut, dass sie es gemacht haben. Jetzt können sie und ihre Kolleginnen weltweit sich mit neuem Vertrauen in ihre Methoden wieder in aller Ruhe dem Tagesgeschäft widmen.

Publikation:

K. Müller, H. Foerstendorf, R. Steudtner, S. Tsushima, M.U. Kumke, G. Lefèvre, J. Rothe, H. Mason, Z. Szabó, P. Yang, C.K.R. Adam, R. André, K. Brennenstuhl, I. Chiorescu, H.M. Cho, G. Creff, F. Coppin, K. Dardenne, C. Den Auwer, B. Drobot, S. Eidner, N.J. Hess, P. Kaden, A. Kremleva, J. Kretschmar, S. Krüger, J.A. Platts, P.J. Panak, R. Polly, B.A. Powell, T. Rabung, R. Redon, P.E. Reiller, N. Rösch, A. Rossberg, A.C. Scheinost, B. Schimmelpfennig, G. Schreckenbach, A. Skerencak-Frech, V. Sladkov, P.L. Solari, Z. Wang, N.M. Washton, X. Zhang: Interdisciplinary Round-Robin Test on molecular spectroscopy of the U(VI) acetate system, in ACS Omega, 2019 (DOI: 10.1021/acsomega.9b00164) ┘

Kontakt

Institut für Ressourcenökologie am HZDR
Dr. Katharina Müller
k.mueller@hzdr.de

Dr. Harald Foerstendorf
h.foerstendorf@hzdr.de

Dr. Robin Steudtner
r.steudtner@hzdr.de

Prof. Satoru Tsushima
s.tsushima@hzdr.de

Innovation: Virenfreie Raumluft



Uwe Hampel (re.) und Gregory Lecrivain. Quelle: O. Killig

Aus der wissenschaftlichen Idee ein marktreifes Produkt hervorbringen – das ist das Ziel des HZDR-Innovationswettbewerbs. Den zweiten Platz belegte die Nachwuchsgruppe BioKollekt um Franziska Lederer, die innovative Verfahren für die Detektion von Kunststoffen zur Anwendung bringen will. Auf dem dritten Platz landete eine weitere Recycling-Idee des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourceneffizienz (HIF) am HZDR. Toni Helbig und Norman Kelly überzeugten mit einer Recycling-Anlage, die bei der Extraktion von Eisen zum Einsatz kommen soll. Zuvor hatten die drei Gewinnerteams ihre Ideen an einem Workshop-Tag auf Verwertungspotential, Marktsituation und Anwendungsfelder hin untersucht. Erfolgreiche Teams haben die Möglichkeit, zur Weiterentwicklung ihrer Ideen bis zu 200.000 Euro Finanzierung aus dem HZDR-Innovationsfonds zu erhalten.

www.hzdr.de/innovationswettbewerb

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit

Mitte März unterzeichneten der Wissenschaftliche Direktor des HZDR, Sebastian M. Schmidt, und der Rektor der Universität Wrocław, Przemysław Wiszewski, ein Memorandum of Understanding. Diese Absichtserklärung soll die zukünftige Zusammenarbeit vertiefen. Gemeinsam wollen die beiden Einrichtungen den zentraleuropäischen Forschungsraum und die Verbindung zwischen Sachsen und Polen stärken. Dies soll gelingen durch die gemeinsame Rekrutierung von Forscherinnen, die Organisation von Workshops und Austauschprogrammen sowie den Transfer wissenschaftlicher Informationen.

Am Beispiel CASUS zeigt sich, dass die beiden Partner bereits eine stabile Basis für die Zusammenarbeit etablieren konnten. In dieses Center for Advanced Systems Under-

standing, das derzeit unter der Leitung des HZDR in Görlitz aufgebaut wird, bringt die Universität Wrocław vor allem ihren Erfahrungsschatz auf dem Gebiet des autonomen Fahrens und des maschinellen Lernens ein. Mit mehr als 23.000 Studenten zählt die Universität zu den größten Hochschulen in Polen. An ihrem Institut für Computerwissenschaften entwickelt die Computational Intelligence Research Group Algorithmen und Systeme, um das Verhalten der unterschiedlichen Akteure im Straßenverkehr zu interpretieren und vorherzusagen – eine der größten Herausforderungen beim autonomen Fahren. Außerdem betreibt die Universität mit dem Projekt „Aleph One“ eine Forschungsplattform, bei der sie autonome Fahrzeuge unter realen Bedingungen testen und entsprechende Daten sammeln kann. An CASUS sind weitere Forschungspartner aus Polen und Sachsen beteiligt.

Was kommt heraus, wenn sich zwei international ausgewiesene Experten auf dem Gebiet der Fluidodynamik mit den erhöhten COVID-19-Ansteckungsraten in Innenräumen auseinandersetzen? Ein neuartiges Desinfektionsgerät, das Aerosole in einer Desinfektionsflüssigkeit bindet und so die Raumluft reinigt. Am 16. März wurden Uwe Hampel und Gregory Lecrivain dafür mit dem ersten Preis im HZDR-Innovationswettbewerb 2020 ausgezeichnet. Ihr Gerät arbeitet im Vergleich zu konventionellen Luftreinigern besonders geräuscharm und inaktiviert zudem die gefährlichen Erreger im Filter.

HZDR HELMHOLTZ ZENTRUM
DRESDEN ROSSENDORF

HZDR
INNOVATION

Tipp

Der neue Film zum Technologietransfer am HZDR setzt Innovationen aus der Forschung spannend in Szene.

www.hzdr.de/technologietransfer

Der Platz der Frau ist im Labor



Kristina Kvashnina. Quelle: ESRF/Molyneux

So titelte das Magazin „Forbes Russia“ am 11. Februar 2021, dem internationalen Tag der Frauen und Mädchen in der Wissenschaft, und kürte die zehn russischen Top-Forscherinnen. Unter ihnen: Kristina Kvashnina, Physikerin am Dresdner Helmholtz-Zentrum und Professorin an der Staatlichen Universität Moskau. An der HZDR-eigenen Beamline ROBL am Europäischen Synchrotron ESRF entschlüsselt sie die chemische Grundstruktur von Elementen aus der Lanthanid- sowie Actinid-Gruppe. Dazu zählen zum Beispiel Uran und Plutonium, aber auch ein Teil der Seltenen Erden.

zu erhöhen. Da die Nominierung allein in den Händen von gut 40 europäischen Wissenschaftsorganisationen liegt, sind nur die besten Kandidatinnen eines Fachs hier zu finden. Kristina Kvashnina war es in den letzten Jahren nicht nur gelungen, einen ERC Starting Grant beim Europäischen Forschungsrat einzuwerben, sondern auch mit einem „Megagrant“ des russischen Forschungsministeriums ausgezeichnet zu werden.

www.forbes.ru
www.academia-net.org

Vereinbarkeit von Beruf und Familie

Im März bestätigte das Kuratorium der berufundfamilie GmbH, eine Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, nach einem Audit das bereits im Jahr 2008 an das HZDR vergebene Zertifikat als familienfreundlicher Arbeitgeber. „Die erneute Auszeichnung unterstreicht, dass wir mit unserer familienbewussten Personalpolitik auch langfristig erfolgreich sind“, zeigte sich Diana Stiller, Kaufmännische Direktorin des HZDR, erfreut. Dabei versteht sich das erfolgte Audit als strategisches Managementinstrument, das Lösungen zur besseren Vereinbarkeit von Beruf und Familie bereithält. Das Zertifikat gilt nun für weitere drei Jahre.

Von der Spree zurück an die Elbe

Die Wissenschaftsmanagerin Diana Stiller übernahm im Dezember 2020 das Amt der Kaufmännischen Direktorin am HZDR. Zuvor stand sie an der Spitze der Hauptabteilung Administration sowie des Finanz- und Rechnungswesens am Helmholtz-Zentrum Berlin. Nun ist sie mit dem wissenschaftlichen Direktor, Sebastian M. Schmidt, für die Geschicke des HZDR verantwortlich, das mit rund 1.400 Mitarbeiterinnen und einem jährlichen Etat von rund 157 Millionen Euro zu den größten außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Ostdeutschland zählt.

Zum Verantwortungsbereich der neuen Vorständin gehören alle kaufmännisch-technischen Angelegenheiten: also das Finanz-, Rechts-, Personal- und Sozialwesen, das Controlling, das Bau- und technische Gebäudemanagement sowie alle Infrastrukturen und Liegenschaften. Umfassende Kenntnisse auf diesen Gebieten konnte sich die gebürtige Meißnerin auf ihren vergangenen Positionen erwerben. „Vor vier Jahren habe ich das HZDR als Finanzexpertin verlassen“, berichtet Diana Stiller. „Nun kehre ich als Generalistin für alle kaufmännischen Fragen zurück.“



Diana Stiller. Quelle: A. Wirsig

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Prof. Dr. Sebastian M. Schmidt und Dr. Diana Stiller,
Vorstand des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR)

ERSCHEINUNGSDATUM

Juni 2021
ISSN: 2194-5705 // Ausgabe 01.2020/21

REDAKTION

Simon Schmitt (Chefredakteur), Dr. Christine Bohnet
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. Gregor Hlawacek, Dr. Andreas Wagner

AUTOREN DIESER AUSGABE

Markus Anhäuser | Freier Wissenschaftsjournalist, Dresden

Kai Dürfeld | Freier Wissenschaftsjournalist, Leipzig

Frank Grotelüschen | Freier Wissenschaftsjournalist, Hamburg

Jan Oliver Löffken | Freier Wissenschaftsjournalist, Hamburg

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 Circlesilk (Umschlag) und Circleoffset (Inhalt),
FSC zertifiziert und mit dem EU Ecolabel ausgezeichnet

KONTAKT // BESTELLUNG (kostenfrei)

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

Kommunikation und Medien

Simon Schmitt

Telefon: 0351.2603400

presse@hzdr.de

„entdeckt“ erscheint ein- bis 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 YouTube und Twitter.

➤ www.youtube.com/user/FZDresden

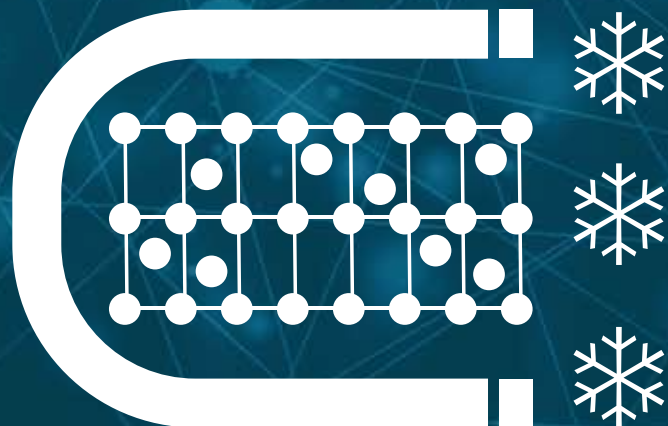
➤ www.twitter.com/hzdr_dresden

Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf verschickt das
Forschungsmagazin „entdeckt“ als Serviceangebot. Falls Sie
es nicht mehr erhalten möchten, senden Sie uns bitte eine
E-Mail mit dem Betreff „Abbestellen“ an presse@hzdr.de oder
schreiben Sie uns eine kurze Mitteilung an: Helmholtz-Zentrum
Dresden-Rossendorf, Kommunikation und Medien, Simon Schmitt,
Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden. Wenn Sie auch
weiterhin die „entdeckt“ beziehen möchten, müssen Sie nichts
unternehmen.

Forschungs- maschinen

Materie in extreme Zustände zu versetzen, um
ihren innersten Geheimnissen auf die Spur zu
kommen – das ist eine Spezialität der Forschung
am HZDR. An drei Großforschungsanlagen stehen
dafür Licht- und Teilchenströme sowie Magnet-
felder, millionenfach stärker als das der Erde, für
oft einzigartige Experimente zur Verfügung. Und
das nicht nur für die eigene Forschungsmann-
schaft. Das Zentrum entwickelt, baut und betreibt
diese Anlagen als Dienstleister für Wissenschaft-
lerinnen rund um den Globus.

Neue Einblicke in die Welt der Atome sind von un-
schätzbarem Wert. Denn Forschung zum Verhalten
von Materie und Materialien unter extremen Be-
dingungen berührt das Grundverständnis unserer
Welt und hat zugleich ganz praktische Bedeutung
für künftige Technologien.



Mikroskop im XXL-Format

Wissenschaftlern steht im Zentrum für Hochleistungs-
Strahlenquellen ELBE eine enorme Bandbreite an Expe-
rimenten zur Verfügung. Sie können Materie-Bausteine,
Materialien, aber auch Biomoleküle mit elektromagnetischer
Strahlung durchleuchten oder mit unterschiedlichen Teil-
chenarten beschießen. Jede dieser Methoden fördert andere
Informationen über die Proben zutage. So lassen sich etwa
für Zukunftsmaterialien das Kristallgefüge, die Porendichte
oder das elektrische und magnetische Verhalten enträtseln.
Mit dem gewonnenen Wissen können Forscherinnen Werk-
stoffe mit innovativen Funktionen ausstatten, wodurch
beispielsweise **ultraschnelle Mobilfunk-Verbindungen** und
WLAN-Netze möglich werden.

Mit den DRACO-Lasern an ELBE verfügt das HZDR zudem
über zwei Hochleistungs-Systeme der Extraklasse. Die hohe
Strahlleistung der Laser beschleunigt Teilchen in Sekunden-
bruchteilen. Im Vergleich zu etablierten Beschleunigern
liegen die hierbei auftretenden Kräfte zigtausendfach höher.
Ein wichtiges Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung einer kom-
pakten Anlage für die Behandlung von Tumoren mit Protonen.

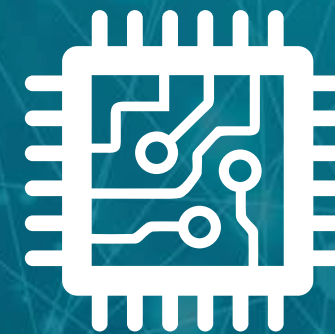
Höchste Magnetfelder im europäischen Verbund

Ein Musterbeispiel für eine nachhaltige Kooperation auf EU-
Ebene ist der Zusammenschluss der drei führenden Hochfeld-
Labore im „European Magnetic Field Laboratory“ (EMFL) –
unter ihnen das Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD). Die
hier erzeugten, superstarken Magnetfelder können Material-
eigenschaften gezielt beeinflussen, was neue Details über
Supraleiter, magnetische Materialien und Halbleiter offen-
bart – Grundlagenwissen, das für die Entwicklung künftiger
Werkstoffe ebenso von Bedeutung ist wie für die Hochtech-
nologien von morgen. So ist das international nachgefragte
Know-how der Magnetexpertinnen etwa auch bei der
Entwicklung **effizienter und umweltschonender Kälte-
verfahren** gefragt.



Schnelle geladene Teilchen für die Industrie

Ionenstrahlen sind ein bedeutendes Werkzeug für die
Erforschung und Entwicklung neuer Materialien. Mit dem
Ion Beam Center (IBC) verfügt das HZDR über eine der
weltweit leistungsfähigsten Forschungsanlagen ihrer Art.
Mithilfe der HZDR Innovation GmbH, einem Tochterunter-
nehmen des HZDR, finden auch Firmen und Unternehmen
Unterstützung bei der Nutzung moderner Ionenstrahl-
Technologien für innovative Produkte – von Materialien mit
maßgeschneiderten Oberflächen bis zu neuartigen oder
stark verbesserten Bauelementen. Besonders die **Mikro-
elektronik- und die Automobil-Branche** greifen stark auf
dieses Angebot zurück.



Doch damit nicht genug!

Das HZDR baut und betreibt weitere Großforschungs-
anlagen im Rahmen seiner drei Forschungsprogramme
Materie, Energie und Gesundheit.

... AM STANDORT DRESDEN:

- Untertage-Beschleunigerlabor im Felsenkeller Dresden
- Hochleistungs-Rechenzentrum
- Thermohydraulik-Versuchsanlage TOPFLOW
- DRESDYN – Europäische Plattform für Natrium-
Experimente
- Zentrum für Radiopharmazeutische Tumorforschung (ZRT)
- Beschleunigeranlage an der gemeinsam mit der Universi-
tätsmedizin betriebenen Universitäts Protonen Therapie
Dresden (UPTD)

... IN SCHENEFELD:

- Helmholtz International Beamline for Extreme Fields
(HIBEF) am European XFEL

... IM FRANZÖSISCHEN GRENOBLE:

- Rossendorf Beamline (ROBL) an der ESRF



200 JAHRE HELMHOLTZ
Inspired by challenges.



HERMANN

200 JAHRE

HELMHOLTZ

Inspired by challenges.