

entdeckt

DAS FORSCHUNGSMAGAZIN AUS DEM HZDR

// AUSGABE 02.2015

hzdr.de



Uran, Plutonium & Co.

RECYCLING – DIE NIERE ALS VORBILD

Kostengünstige Methode für die effiziente Wiederverwertung von Gallium

ASTRONOMIE UNTER DEM MEER

Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft im Fach Physik 2015

FALLING WALLS CONFERENCE

HZDR-Doktorand als internationaler Botschafter für Dresden unterwegs

HZDR

 **HELMHOLTZ**
ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF

TITELBILD: Actiniden sind hochgiftige und radioaktive Schwermetalle, deren Verbreitung sicher unterbunden werden muss. Wissenschaftler des HZDR haben diese bei ihren Arbeiten zur Endlagerforschung im Fokus.

Grafik: AVANGA



LIEBE LESERINNEN UND LESER,

in Deutschland gibt es noch keinen Endlager-Standort für hochradioaktive und wärmeentwickelnde Abfälle. Bei diesem politisch „heißen“ Thema handelt es sich unstrittig um ein großes und drängendes Problem unserer Gesellschaft. Wissenschaftliche Lösungen für solche Fragestellungen zu erarbeiten, dafür steht die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. In diesem Jahr blickt sie auf eine 20-jährige Geschichte zurück: 1995 wurde aus dem losen Verbund mit dem Namen „Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen“ eine Gemeinschaft mit nunmehr 18 Zentren. Diese arbeiten zentrumsübergreifend auf insgesamt sechs Forschungsgebieten.

Zwar gehört das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf erst seit dem Jahr 2011 dem größten Forschungsverbund Deutschlands an, die Endlagerforschung stand jedoch bereits auf der Agenda, als sich nach Mauerfall und politischer Wende im Jahr 1992 das Forschungszentrum Rossendorf neu gründete. Grund genug, um die Ergebnisse aus rund 20 Jahren Endlagerforschung in Dresden einmal genauer unter die Lupe zu nehmen. In der vorliegenden Ausgabe von „entdeckt“ werfen wir einen Blick in radiochemische, geologische und mikrobiologische Labore, schauen den Forschern an der „Rossendorf

Beamline“ am Europäischen Synchrotron in Grenoble über die Schulter und steigen einige hundert Meter hinab in finnische, schwedische und Schweizer Versuchslabore.

Wie reagieren „Uran, Plutonium & Co.“ mit Mineraloberflächen in sauerstoffarmen oder wässrigen Umgebungen? Wie wechselwirken sie mit Mikroorganismen tief unter der Erde? Und wie mit dem Wirtsgestein oder mit Materialien, die als technische Barrieren im Endlager die Ausbreitung der radioaktiven Substanzen verhindern sollen? Um diese und weitere Fragen zu beantworten, setzen die Forscher am HZDR eine große Bandbreite an spektroskopischen Methoden ein. Sie bestrahlen die Proben mit Laser-, Infrarot- und Röntgenlicht oder nutzen die fluoreszierenden Eigenschaften bestimmter Verbindungen, um das Verhalten der Actiniden auf der Ebene der Moleküle und Atome aufzuklären. Das Ergebnis dieser Grundlagenforschung sind viele einzelne Puzzleteile, die als gesicherte Erkenntnisse Eingang in Datenbanken finden. Damit stehen sie Wissenschaftlern aus aller Welt, aber auch Behörden und zukünftigen Endlager-Betreibern zur freien Verfügung.

Michael Sailer, Sprecher der Geschäftsführung des Öko-Instituts, gibt im Interview mit der „entdeckt“-Redaktion zu bedenken, dass es zu personellen Engpässen kommen könnte, wenn eines Tages mit dem Bau des Endlagers für hochaktiven Abfall begonnen wird. Deshalb sei die Ausbildung von Endlager-Experten eine wichtige Aufgabe für Universitäten und Forschungseinrichtungen. Wissenschaft könne zudem durch fundierte Informationen zu einer sachlichen Diskussion beitragen.

Wie Sie es von uns gewohnt sind, stellen wir Ihnen weitere aktuelle Arbeiten aus dem HZDR und die dazugehörigen Forscher vor. Viel Freude bei der Lektüre wünscht Ihnen

Christine Bohnet
Abteilung Kommunikation und Medien im HZDR

INHALT

TITEL

Uran, Plutonium & Co.

- 04 Rostfraß hat auch sein Gutes
- 07 Leben im Berg
- 13 In der Tiefe gebunden: Gesteine halten Radionuklide zurück
- 16 Nah und fern
- 17 Tiefenlager für hochradioaktiven Abfall: Multibarrieren-Konzept
- 18 Auch in Deutschland eine lösbare Aufgabe: die Lagerung hochradioaktiven Abfalls
- 20 Hinab bis auf die atomare Ebene
- 22 Kleines verstehen, um Großes zu bewirken

FORSCHUNG

- 24 Lieber präzise anschubsen, statt kräftig draufzuhauen
- 28 Schnell rechnen für die Plasma-Zeitlupe
- 30 Recycling – die Niere als Vorbild

PORTRÄT

- 32 Astronomie unter dem Meer
- 34 Brückenbauer in der Rohstoffwelt
- 35 Unterstützung aus Down Under
- 35 Ein weiterer Schritt hin zur klinischen Anwendung

WISSENSWERT

- 36 Hightech-Rohstoffe für die Wirtschaft
- 37 Von Dresden auf die britische Insel
- 37 Neuer Branchentreff in Dresden
- 37 Terminvorschau
- 38 Mit der TU zur Falling Walls Conference
- 38 1. Posterpreis für Sonja Schellhammer

39 Impressum



Foto: swisstopo | Comet Photoshopping GmbH | Béatrice Devènes



Foto: Oliver Killig



Foto: AVANGA

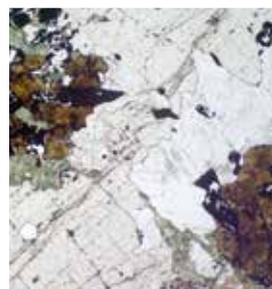


Foto: Klaus Tschira Stiftung gGmbH | Dietmar Gust



// Die Chemie rund ums Endlager für hochradioaktives Material.

ROSTFRASS HAT AUCH SEIN GUTES

_TEXT . Roland Knauer

„Wir gehen einfach vom schlimmsten anzunehmenden Fall aus“, erklärt Vinzenz Brendler vom HZDR-Institut für Ressourcenökologie. Wer die Chemie rund um ein zukünftiges Endlager für hochradioaktives Material erforscht, sollte diese pessimistische Annahme gut beherzigen. Schließlich soll ein solches Endlager, das voraussichtlich in großer Tiefe in einer geeigneten geologischen Formation irgendwo in Deutschland entstehen soll, Sicherheit für mindestens eine Million Jahre garantieren. Chemiker wie Vinzenz Brendler aber wissen genau, dass auch unwahrscheinliche Reaktionen eintreten können, wenn man ihnen nur genug Zeit gibt. Und eine Million Jahre ist eine sehr lange Zeit. Genau deshalb behalten die 30 Mitarbeiter in der Abteilung Grenzflächenprozesse eben auch alles im Auge, was dort reagieren könnte. Und das ist eine riesige Menge, versammelt sich im Endlager doch ein erklecklicher Teil der Elemente, die Chemiker in ihrem Periodensystem auflisten.

„Dabei konzentrieren wir uns auf die Reaktionen mit radioaktiven Elementen. Dafür ist unser Institut auch besonders gut ausgerüstet“, berichtet Vinzenz Brendler. Schließlich kann die Chemie, die ohne strahlende Substanzen abläuft, auch in „normalen“ Laboren untersucht werden. Mit dieser Auswahl schrumpfen die Forscher das gigantische Gebirge von Reaktionen zwar erheblich ein, riesig aber bleibt es immer noch.

Gebirge für Chemiker

So sollen im Endlager vorrangig die abgebrannten Brennstäbe aus den Kernreaktoren aufbewahrt werden. Die wiederum bestehen vor ihrer Verwendung vor allem aus Uran. Weil im Reaktor nur ein kleiner Teil davon verbraucht wird, hat sich daran auch in den abgebrannten Stäben nicht viel verändert. Auch strahlt der überwiegende Teil davon – anders als von Laien oft vermutet – keineswegs besonders stark. Das Uran an sich ist aber ein extrem giftiges Schwermetall und genießt schon deshalb besondere Aufmerksamkeit.

Ein kleiner Teil des Urans wurde im Reaktor dagegen gespalten. Die dabei entstandenen Bruchstücke sind unterschiedlich schwer und stellen somit eine ganze Reihe verschiedener Elemente dar, die jetzt zusätzlich im Brennstab stecken. Einige dieser Spaltprodukte wie zum Beispiel bestimmte Chlor- und Cäsium-Isotope sind stark radioaktiv. Allerdings klingt ein Teil davon relativ rasch ab. Ein paar Jahrzehnte in einem Zwischenlager verringern die Strahlung daher schon deutlich. Trotzdem stecken noch jede Menge auch stark radioaktiver Elemente in den abgebrannten Brennstäben.

Genug Zeit

Bei den Kernreaktionen im Reaktor entstehen viele Neutronen, von denen etliche die Kettenreaktion vorantreiben, andere dagegen bleiben in Uran-Atomen stecken. Diese lösen oft weitere Kernreaktionen aus, bei denen dann schwerere und ebenfalls kräftig strahlende Elemente wie Americium, Neptunium, Plutonium und Curium entstehen. Auch diese „Aktivierungsprodukte“ verfolgen die Forscher um Vinzenz Brendler sehr aufmerksam.

Es gibt aber noch eine ganze Reihe weiterer Verbindungen, die im Endlager eine Rolle spielen und an chemischen Reaktionen beteiligt sein können. So steckt das Uran der Brennstäbe in einer Hülle aus Zirkonium. Dieses Schwermetall ist zwar kaum giftig und korrodiert im Gegensatz zu vielen anderen Metallen nur langsam. Trotzdem kann es mit den radioaktiven Elementen in seiner Umgebung reagieren – Zeit genug hat es im Endlager dafür jedenfalls.

Zutaten für die Korrosion

Nach dem derzeitigen Stand der Planungen werden die Brennstäbe in Pollux-Spezialbehältern aus Stahl, die eine Hülle aus Gusseisen und Graphit umgibt, in das Endlager eingebracht. Sauerstoff aus der Luft könnte das Eisen in diesen Hüllen wiederum oxidieren. Und damit haben Vinzenz Brendler und seine Mitarbeiter eine weitere Substanz, die sie im Auge behalten.

Ist das Endlager erst einmal geschlossen, wird der Sauerstoff langsam verbraucht und dem drohenden Rostfraß fehlt scheinbar die Grundlage. Allerdings lässt der Nachschub nicht lange auf sich warten: Das Gestein in der Umgebung wird sicherlich Sauerstoff und vielleicht sogar Wasser enthalten – unabhängig davon, in welchem Untergrund das Endlager entstehen wird. Das aber sind die beiden entscheidenden Zutaten, die viele Metalle korrodieren. Vor allem dann, wenn, wie im Endlager, genug Zeit dafür bleibt.

Mit der Zeit könnte der Rost so Löcher in die Stahlhüllen der Pollux-Behälter fressen – zumindest wenn man, wie Vinzenz Brendler, vom schlimmsten Fall ausgeht. Was aber passiert dann im Endlager? Immerhin liegt das Uran der Brennstäbe als Urandioxid vor, das relativ träge ist. Organismen nehmen es in dieser Form kaum auf und das Schwermetall wirkt zunächst einmal nicht gar so giftig. Das aber ändert sich schlagartig, wenn es zu Uranyl-Verbindungen oxidiert. Anders als Urandioxid und daraus entstehende Verbindungen lösen sich diese →



MODELLRECHNUNGEN: Vinzenz Brendler berechnet am Computer, wie sich radioaktive Schwermetalle und deren Verbindungen unter realen Umweltbedingungen im Gebirge ausbreiten und welche Schichten sie kaum durchdringen.
Foto: Oliver Killig

Uranylen nämlich gut in Wasser. So können sie nicht nur über größere Entfernungen transportiert, sondern auch leicht von Lebewesen aufgenommen werden und diese vergiften.

Rostbeulen mit Vorteilen

Allerdings hat jede Medaille zwei Seiten. Korrosion kann den Pollux-Behälter löchern. Rost aber hat eine viel größere Oberfläche als das Eisen, aus dem er entstanden ist. Nicht umsonst nennt der Volksmund ein Fahrzeug mit solchen

Korrosionsproblemen eine „Rost-Beule“. Die stark vergrößerte Oberfläche entpuppt sich somit als Vorteil, weil chemische Reaktionen besser funktionieren, wenn sie mehr Platz haben. „Die größere Oberfläche schnappt sich daher viele der aggressiven Verbindungen wieder, die im Inneren entstanden sind“, erläutert Vinzenz Brendler.

Spätestens hier kommt der Pragmatismus der HZDR-Forscher wieder zum Vorschein: Eine solch große, korrodierte Oberfläche mag ja viele Verbindungen aus dem Inneren zurückhalten, sicherlich aber nicht alle. Einmal aus dem Behälter entkommen, treffen die Substanzen auf ein Gebirge möglicher Reaktionspartner, die in verschiedenen Formen im Untergrund stecken. Da ist zum Beispiel das häufig auftretende Mineral Kalkspat, mit dem die hochgiftigen Uranyl-Verbindungen reagieren. So entsteht unter anderem Uranylcarbonat. Diese Substanz löst sich nur schlecht in Wasser, wird daher kaum weiter transportiert und nur wenig von Pflanzen aufgenommen.

→

04

05

Vorteil für Kalkspat

Das ist eine gute Nachricht. So ist es schon recht unwahrscheinlich, dass gefährliche Uranyl-Verbindungen aus der Tiefe wieder an die Oberfläche kommen. Gemeinsam mit Kollegen aus aller Welt beleuchten die HZDR-Forscher solche Reaktionen und die Wege der entstandenen Verbindungen mit einer Fülle von Experimenten, die sie zum Teil in Laboren tief unter der Erde durchführen. Analyse-Spezialisten identifizieren die entstehenden Substanzen mit den modernsten Methoden der Spektroskopie, die von den Verbindungen ausgesandte oder beeinflusste Lichtstrahlen misst. Die Ergebnisse landen dann in riesigen Datenbanken, aus denen sich Forscher aus aller Welt frei bedienen sollen.

Mit diesen Labor-Experimenten können die HZDR-Forscher allerdings nur einen Bruchteil der möglichen Reaktionen zwischen den extrem vielen Verbindungen untersuchen, die rund um das geplante Endlager eine Rolle spielen können. Das aber reicht kaum für die geforderte größtmögliche Sicherheit. „Ohne Modellrechnungen im Computer können wir dieses komplexe System nicht gut einschätzen“, ist Vinzenz Brendler sich sicher. Und selbst moderne Hochleistungsrechner drohen vor der großen Flut möglicher Reaktionen zu kapitulieren. Dieses Problem lösen die Forscher, indem sie für das Endergebnis offensichtlich unwichtige Reaktionen aus ihren Modellen herauswerfen.

Um echten Szenarien so nahe wie möglich zu kommen, beschäftigen sie sich auch mit dem Deckgebirge über den Salzschieben von Gorleben. „Weil dieses Gebiet bestens untersucht ist, können wir dort sehr gute Modellrechnungen machen“, erklärt Vinzenz Brendler. „Unsere Computer berechnen, wie sich radioaktive Schwermetalle und deren Verbindungen unter welchen Umweltbedingungen in dem Deckgebirge ausbreiten und welche Schichten sie kaum durchdringen.“ Allerdings gilt es als eher unwahrscheinlich, dass die Actiniden in dem trockenliegenden und seit mehr als 200 Millionen Jahren existierenden Salzstock überhaupt in die Deckschichten aus Ton gelangen. Dazu müsste in größerem Maßstab Wasser einbrechen.

Immer wieder wiederholen die Computer diese punktuellen Rechnungen, verändern dabei aber wichtige Faktoren innerhalb ihrer natürlichen Grenzen. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass starke Schwankungen des Silikat-Gehaltes oder der Zahl und elektrischen Ladung der vorhandenen Ionen die Bindung der radioaktiven Substanzen kaum verändern. Offensichtlich haben diese beiden Faktoren im Vergleich mit anderen also kaum einen Einfluss und können daher bei zukünftigen Modellrechnungen weggelassen werden. Verändert sich dagegen der Karbonat-Gehalt oder die Säurestärke, werden auch Uran, Plutonium und Co. ganz anders als zuvor im Deckgebirge zurückgehalten. „Diese Faktoren werden wir daher in Zukunft genauer untersuchen“, erklärt Vinzenz Brendler. Genau solche Ergebnisse machen dann auch die HZDR-Forscher zu einem der zentralen Partner in der Ende 2013 gegründeten Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung. „Zu dieser DAEF haben sich Forscher verschiedener Organisationen aus eigener Initiative zusammengeschlossen, um die Forschung an einem sicheren Endlager voranzutreiben“, fasst Vinzenz Brendler zusammen.

Fördermittel

Die Forschungsarbeiten von Vinzenz Brendler werden unter anderem durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Dazu zählt die THEREDA, eine umfassende und in sich konsistente thermodynamische Referenzdatenbank für die geochemische Modellierung von Lösungen und Wechselwirkungen mit Granit, Ton und Salz, die derzeit in Deutschland als mögliche Wirtsgesteine in Bezug auf ein Endlager für hochradioaktiven Abfall diskutiert werden.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat das Projekt RES³T-Datenbank, das Rossendorfer Expertensystem für Oberflächen- und Sorptions-Thermodynamik, finanziert sowie Modellierungsarbeiten im ESTRAL-Projekt, bei dem es gemeinsam mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) um die realitätsnahe Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse ging. Diese Arbeiten werden seit 2013 im Projekt WEIMAR (Weiterentwicklung des Smart K_d-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen) fortgesetzt. Ein weiterer wichtiger Fördermittelgeber ist die Europäische Union.

PUBLIKATIONEN:

H. C. Moog, F. Bok, C. M. Marquardt, V. Brendler: “Disposal of nuclear waste in host rock formations featuring high-saline solutions – Implementation of a thermodynamic reference database (THEREDA)”, in Applied Geochemistry 2015 (DOI: 10.1016/j.apgeochem.2014.12.016)

B. Drobot, R. Steudtner, J. Raff, G. Geipel, V. Brendler, S. Tsushima: “Combining luminescence spectroscopy, parallel factor analysis and quantum chemistry to reveal metal speciation – A case study of uranyl(VI) hydrolysis”, in Chemical Science 2015 (DOI: 10.1039/C4SC02022G) →

KONTAKT

— Institut für Ressourcenökologie am HZDR
Dr. Vinzenz Brendler
v.brendler@hzdr.de

// Mikroorganismen gibt es im Untergrund reichlich. Auch in Endlagern spielen sie eine Rolle.



MIKROKOSMOS: Untertage existieren Mikroorganismen, die sich gut vor radioaktiver Strahlung schützen können.

Foto: AVANGA

LEBEN IM BERG

_TEXT . Roland Knauer

In einer riesigen Spirale windet sich der Straßentunnel auf einer Insel vor der Schärenküste im Südosten Schwedens 3.600 Meter lang in die Tiefe. Auf dem Weg in den Untergrund begegnet man allerdings keinen Wochenend-Urlaubern, vielmehr tummeln sich hier Wissenschaftler und Ingenieure. Der Tunnel ist schließlich keine öffentliche Straße, sondern der Zugang zum Untertage-Labor Äspö, in dem Forscher 500 Meter unter der Erdoberfläche untersuchen, welche Prozesse in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle stattfinden könnten. Unter die Geologen, Physiker, Chemiker und Hydrologen mischen sich seit geraumer Zeit auch Mikrobiologen. Gibt es doch auch in diesen Tiefen noch unerforschte Lebensformen, die nicht etwa von oben eingeschleppt wurden, sondern dort zuhause sind.

„Selbst in 500 Metern Tiefe haben unsere schwedischen Kollegen in den 1990-er Jahren an den Granitwänden der Bergstollen Mikroorganismen gefunden“, erinnert sich Evelyn

Krawczyk-Bärsch vom HZDR-Institut für Ressourcenökologie. Diese Organismen wachsen und gedeihen in der Tiefe offensichtlich prächtig: „Wenn wir die Biomasse von den Wänden der Klüfte kratzen, um sie in unseren Dresdner Laboren zu untersuchen, wächst die Schicht an gleicher Stelle in wenigen Wochen wieder nach“, erklärt die Forscherin weiter.

Mikroorganismen im Ton und Salz

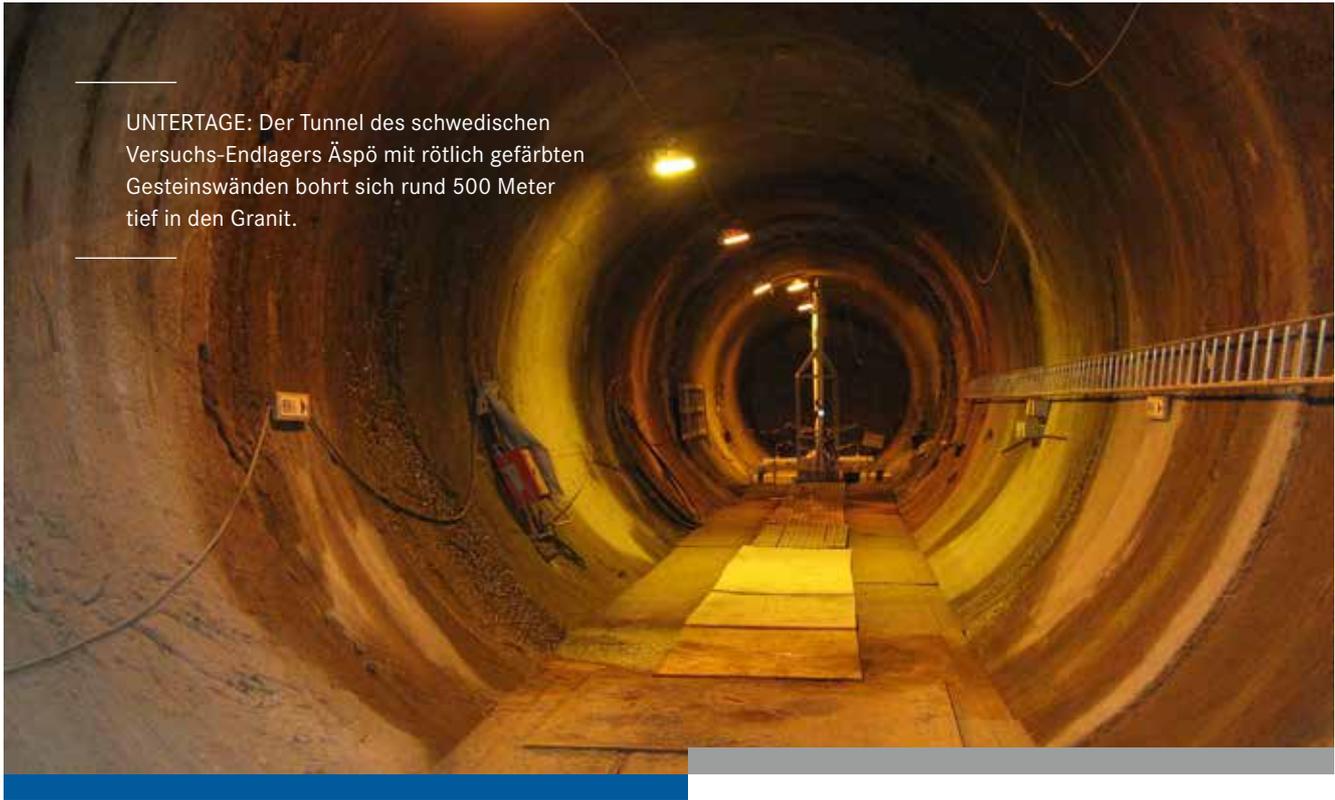
Das Leben ist im Untergrund aber bei weitem nicht nur im Granit aktiv. So findet Henry Moll vom HZDR die Mikroorganismen auch in dem Tongestein, in dem möglicherweise das Schweizer Endlager entstehen soll. Und selbst in den Salzstöcken in der Nähe von Carlsbad in New Mexico, in denen die USA ein Endlager prüfen, entdecken die Forscher Mikroorganismen: „Das sind häufig Archaeen, die nicht nur mit hohen Salzkonzentrationen

→

06

07

UNTERTAGE: Der Tunnel des schwedischen Versuchs-Endlagers Äspö mit rötlich gefärbten Gesteinswänden bohrt sich rund 500 Meter tief in den Granit.



zurechtkommen, sondern gleichzeitig auch hohe Dosen radioaktiver Strahlung gut vertragen“, berichtet Andrea Cherkouk, die ebenfalls am Institut für Ressourcenökologie des HZDR forscht. Solche Archaeen aber bilden neben den Bakterien eine wichtige Domäne des Lebens auf der Erde.

In welchem Gestein auch immer ein nukleares Endlager letztendlich errichtet werden soll, Mikroorganismen können dort eine Rolle spielen. Und damit sind die Winzlinge natürlich für die Endlager-Forscher äußerst interessant. Kein Wunder also, wenn die drei Wissenschaftler tatkräftig am gerade anlaufenden MIND-Projekt der Europäischen Union mitarbeiten, das genau dieses Leben im Gestein – und somit im Endlager – unter die Lupe nimmt.

Klüfte im Granit

Ein Blick auf die Geologie des Untergrundes von Äspö erklärt die Herkunft dieser Mikroorganismen: Die skandinavische Halbinsel besteht überwiegend aus Granitgestein, das entstand, als sich glutflüssiges Magma unter der Erdoberfläche langsam abkühlte und beim Erstarren ein wenig schrumpfte. Da der Granit weniger Platz als das Magma brauchte, bildeten sich Spalten und Klüfte. Als dann viel später das gewaltige Gewicht der Tausende von Metern dicken Gletscher der Eiszeiten das Land bedeckte, veränderten sie den Untergrund und weitere Hohlräume öffneten sich.

Diese Spalten und Klüfte aber sind nichts anderes als Kanäle, in denen Wasser zirkulieren kann. Wasser wiederum ist nicht nur eine der Säulen allen Lebens, es ist zugleich auch ein ideales Medium, um insbesondere Mikroorganismen zu transportieren. Wie ein Fließband befördert das Wasser die

Organismen durch den Untergrund. Auch wenn das langsam gehen mag, erreichen die Mikroorganismen so im Laufe der Jahrtausende sehr viele Bereiche.

Bakterien-Schleim

Leben in der Tiefe ist also alles andere als ungewöhnlich. Und tatsächlich: Fast an allen Stellen, an denen sie suchen, stoßen die Forscher im Untergrund auf Mikroorganismen. „Nicht erwartet aber hatten wir, dass die Gesteinswände in Äspö mit schleimigen Schichten aus Bakterien bedeckt sind“, wundert sich Evelyn Krawczyk-Bärsch. In solchen „Biofilmen“ schließt sich eine bunte Vielfalt von Mikroorganismen zusammen. Die darin lebenden Winzlinge untersuchen die Forscher häufig zunächst einmal mit mikrobiologischen Methoden. →



VIELFALT: An den Tunnelwänden in Äspö wachsen in und um wasserhaltige Klüfte „Biofilme“, die einen rostbraunen Ferrihydrit-Schlamm bilden.

„Wir arbeiten dort mit Karsten Pedersen von der Chalmers-Universität im schwedischen Göteborg zusammen, der bereits seit den 1980er-Jahren Mikroorganismen im skandinavischen Granitgestein untersucht“, erklärt Evelyn Krawczyk-Bärsch. Bis in 500 Meter unter der Oberfläche ist der Mikrobiologe bereits fündig geworden. Derzeit sucht der schwedische Forscher in einem neuen Projekt auch im zukünftigen finnischen Endlager ONKALO. Genau wie seine Kollegen am HZDR isoliert Karsten Pedersen in den dort gewonnenen Proben zunächst einmal das Erbgut DNA, das sich in allen Organismen auf der Erde aus den gleichen Bausteinen zusammensetzt. Darin ermitteln die Forscher die Reihenfolge dieser Bausteine in der Erbeigenschaft für einen 16S-RNA genannten Bestandteil der Ribosomen und damit der winzigen Protein-„Fabriken“ im Inneren von Bakterien und Archaeen. Diese Sequenzen vergleichen sie dann mit dem in Datenbanken gespeicherten 16S-RNA-Erbgut von Mikroorganismen, um das in der Probe vorhandene Leben zu identifizieren oder seine Verwandtschaftsverhältnisse einzugrenzen.

Mikrokosmos im Endlager

Karsten Pedersen hat mit dieser Methode längst einen ganzen Mikrokosmos von Organismen im Untergrund entdeckt. Bereits seit den 1990er-Jahren findet er in Äspö eine große Vielfalt des Lebens. Nicht viel anders sieht es im ONKALO-Tunnel aus, der 300 Kilometer nordwestlich der finnischen Hauptstadt Helsinki ab 2022 als Endlager für die abgebrannten

Uran-Brennstäbe finnischer Kernkraftwerke dienen soll. Ähnlich erfolgreich sind seine Kollegen am HZDR. So fahndet Henry Moll gemeinsam mit seinen Schweizer Kollegen im Opalinus-Ton im Kanton Jura nach Mikroorganismen – und findet mit DNA-Analysen ebenfalls eine ganze Reihe verschiedener Bakterien-Gruppen. Andrea Cherkouk wiederum nimmt die Mikroorganismen unter die Lupe, die zum Beispiel in den Salzstöcken des Endlagers „Waste Isolation Pilot Plant“ (WIPP) in New Mexico vorkommen. So hat ihre Doktorandin Miriam Bader dort gerade mit Julie Swanson vom Los Alamos National Laboratory untersucht, wie die normalerweise im Salz lebenden Archaeen mit radioaktiven Substanzen umgehen.

Tot oder lebend?

Mit den DNA-Analysen erhalten die Forscher einen Überblick über die Organismen im jeweiligen Gestein. Weil das Erbgut aber auch nach dem Tod eines Organismus unter bestimmten Umständen noch lange erhalten bleibt, erfahren die Wissenschaftler damit erst einmal nur, dass die so identifizierten Bakterien oder Archaeen dort einmal gelebt haben müssen. Ob sie derzeit aber noch aktiv sind oder zumindest wieder zum Leben erweckt werden können, zeigt sich erst, wenn – wie an den Gesteinswänden von Äspö – Biofilme wachsen. Oder wenn diese Bakterien im Labor gezüchtet werden können.

Genau das ist aber gar nicht so einfach. „Erst einmal wissen wir meist nicht, unter welchen Bedingungen die Mikroorganismen wachsen“, erklärt Andrea Cherkouk. Bei welchen Temperaturen fühlen sich die Bakterien oder Archaeen wohl, welche Celsiusgrade überstehen sie gerade noch? Wie sauer kann das Wasser sein, wie viel Salz darf es enthalten? Welche Nährstoffe brauchen die Mikroorganismen? Kooperieren die Winzlinge vielleicht mit anderen Lebewesen und spielen sich mit diesen gegenseitig die Bälle in Form lebensnotwendiger Substanzen zu, deren Herstellung sie unter sich aufteilen? Da die Forscher das Leben in der Tiefe bisher bestenfalls stich-



FORSCHUNGSaufenthalt: Doktorandin Miriam Bader untersuchte im Carlsbad Environmental Monitoring and Research Center, einer Außenstelle des Los Alamos National Laboratory, die Wechselwirkungen von Mikroorganismen mit Radionukliden. Foto: Julie Swanson



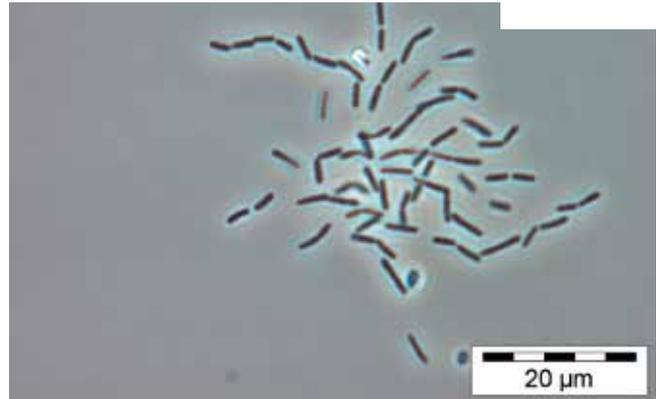
VORLIEBE: *Halobacterium noricense* DSM 15987, ein naher Verwandter eines im amerikanischen Endlager WIPP vorkommenden Mikroorganismus, wächst hauptsächlich dort, wo hohe Salzkonzentrationen zu finden sind.

probenartig untersucht haben, kennen sie die meisten Antworten auf diese ganze Reihe von Fragen noch nicht. Daher müssen sie Nährmedien für die Mikroorganismen zunächst einmal auf Verdacht und mithilfe ihrer bisherigen Erfahrungen herstellen. Unter solchen Voraussetzungen ist die Anzucht der unbekannt Bakterien bei weitem nicht immer von Erfolg gekrönt: „Nur ein Teil der Mikroorganismen aus dem Gestein lässt sich auch im Labor kultivieren“, umreißt Henry Moll die Situation.

Gemächliches Leben

Zudem brauchen die Forscher bei der Aufzucht der Bakterien auch noch ein wenig Geduld. Da im Untergrund die Ressourcen häufig knapp sind, stellt sich das Leben auf diese Mangelwirtschaft ein und die Organismen wachsen sehr langsam. Im Gegensatz dazu kann sich das auch im menschlichen Darm lebende Bakterium *Escherichia coli* unter günstigen Bedingungen an der Erdoberfläche in gerade einmal 20 Minuten vermehren. Auch wenn die allermeisten anderen Bakterien deutlich langsamer sind, gelten sie im Vergleich mit dem Leben im Untergrund immer noch als Sprinter: Für eine Vermehrung brauchen die Mikroorganismen dort unten oft Tage und Wochen. Der Geomikrobiologe Hans Røy von der Universität im dänischen Aarhus hat ausgerechnet, dass die Bakterien 20 Meter unter dem Grund des Pazifiks in bestimmten Regionen satte tausend Jahre für ihre Reproduktion benötigen.

Soviel Zeit haben die Dresdner Forscher jedoch nicht. So wartet Andrea Cherkouk lediglich mehrere Wochen, bis sich die Mikroorganismen aus dem Salz eines geplanten Endlagers in ihrem Labor vermehrt haben. Und das Leben aus dem Ton

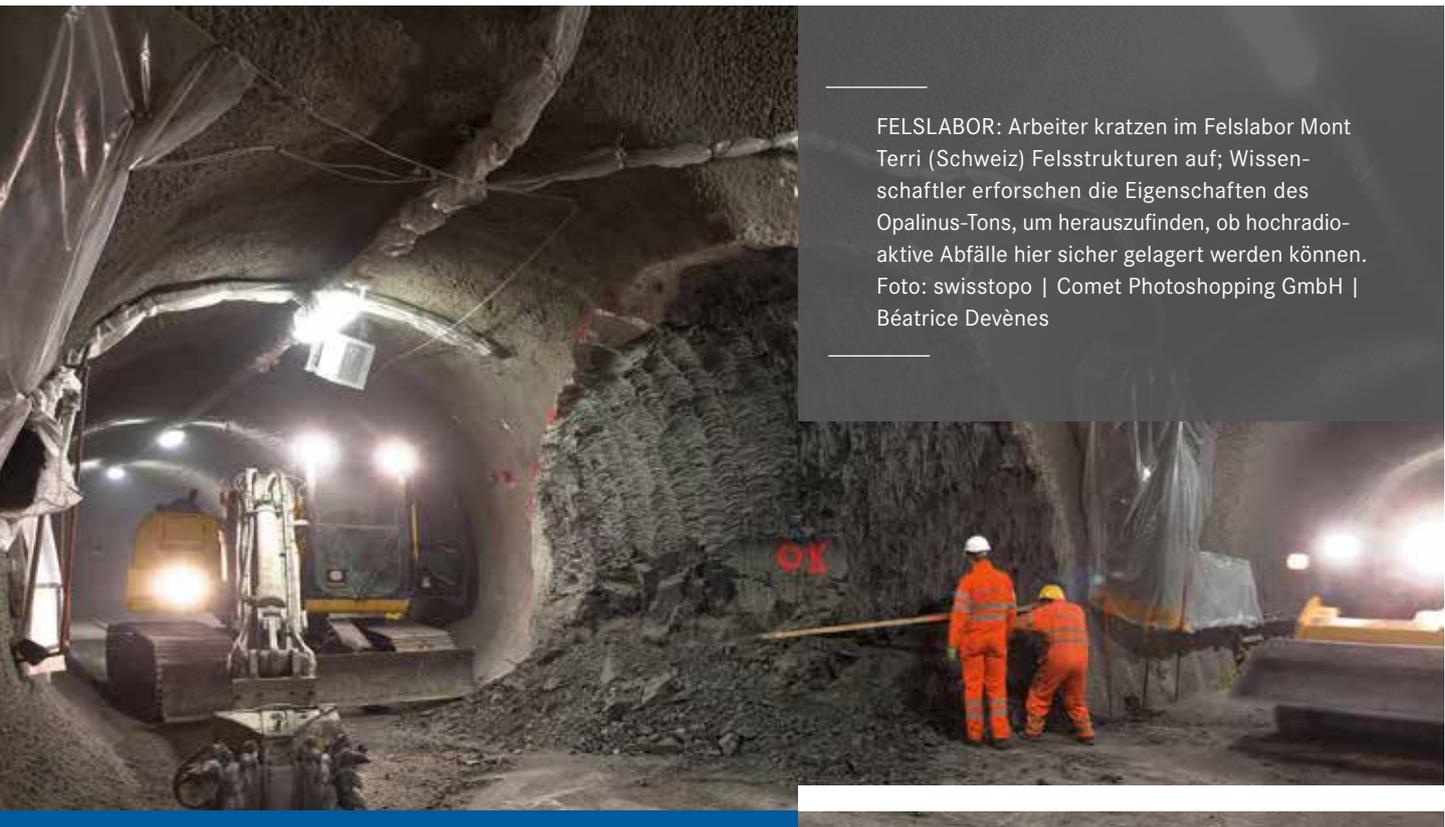


WINZIGES LEBEN: Das Isolat *Paenibacillus* sp. MT-2.2 aus dem Felslabor Mont Terri ist im Opalinus-Ton überlebensfähig (Aufnahme mit einem Phasenkontrast-Mikroskop).

des geplanten Schweizer Endlagers verdoppelt sich bereits nach wenigen Tagen. Zumindest, wenn Henry Moll es in einem Medium kultiviert, das den Bedarf optimal deckt. Das aber hat er bereits für eine ganze Reihe von Mikroorganismen aus dem Ton gefunden, die zu verschiedenen Bakteriengruppen wie den *Paenibacillen*, *Sporomusa* und den *Clostridien* gehören.

Nitrat-Fresser

Henry Moll füttert diese Mikroorganismen mit einer „Pyruvat“ genannten Kohlenstoff-Verbindung, die im Stoffwechsel vieler Lebewesen eine wichtige Rolle spielt. Die Bakterien leben aber nicht nur im Labor, sondern auch im Ton von Kohlenstoff- →



FELSLABOR: Arbeiter kratzen im Felslabor Mont Terri (Schweiz) Felsstrukturen auf; Wissenschaftler erforschen die Eigenschaften des Opalinus-Tons, um herauszufinden, ob hochradioaktive Abfälle hier sicher gelagert werden können. Foto: swisstopo | Comet Photoshopping GmbH | Béatrice Devènes

Verbindungen. Da dort Wasser und Platz Mangelware sind, sind die Mikroorganismen jedoch wohl eher inaktiv. Auch wissen die Forscher noch nicht, von welchen Kohlenstoff-Verbindungen die Mikroorganismen genau leben. Zu verhungern scheinen sie jedenfalls nicht: Immerhin besteht der Ton zu rund einem Prozent aus Kohlenstoff.

Ganz ähnlich gewinnen auch wir Menschen Energie, wenn wir zum Beispiel die Kohlenhydrate aus einem Brot, Kartoffeln oder Obst mit Sauerstoff verbrennen. Der reine Sauerstoff ist allerdings in vielen Bereichen unter Tage Mangelware. Auf diesen Mangel haben sich einige Bakterien längst eingestellt und verbrennen Kohlenstoff-Verbindungen mithilfe der recht häufigen Nitrat-Verbindungen, die reichlich Sauerstoff enthalten. Dieser ist aber chemisch gebunden und muss durch elektrochemische Reduktion für die Bakterien nutzbar gemacht werden. Genau solche „Nitratreduzierer“ aber hat Andrea Cherkouk im Porenwasser des Tons gefunden.

Eine Hülle aus Uran

Die Mikroorganismen im Ton haben aber noch ganz andere Eigenschaften, die für die Endlagerforschung brennend interessant sind: Offensichtlich setzen sich verschiedene Elemente wie Uran, Curium und Plutonium aus dem radioaktiven Abfall an der Oberfläche der Bakterien relativ rasch fest. „Dabei binden sie vermutlich an Phosphat- oder Carboxyl-Gruppen auf der Zellwand der Mikroorganismen“, erklärt Henry Moll. Das aber bedeutet nichts anderes, als dass diese radioaktiven Substanzen auf der Oberfläche von Bakterien durch den Untergrund transportiert und an ganz anderen Orten wieder abgelagert werden könnten. Allerdings sind diese Vorgänge bisher noch nicht untersucht. Vielleicht passiert etwas Ähnliches ja auch in den Salzstöcken, aus denen Andrea Cherkouk schon einige Mikroorganismen isoliert hat?

Da es im Inneren des Tons und eines Salzstocks auch keinen Sauerstoff gibt, achten die Forscher peinlich genau darauf, dass weder ihre Bohrkerns noch die Kulturen mit den Mikroorganismen mit Sauerstoff in Kontakt kommen. Andrea Cherkouk findet bei den so isolierten Mikroorganismen eine ganze Reihe unterschiedlicher Überlebensstrategien. Einige von ihnen produzieren Methan, andere verdauen organische Verbindungen und wieder andere Sulfat-Verbindungen, die ebenfalls recht häufig im Gestein auftauchen. Außerdem lagern die im Salz lebenden Archaeen Uran an und klumpen sich dabei zusammen. In der HZDR-Nachwuchsgruppe „MicroSalt“ untersuchen Andrea Cherkouk und ihre Mitarbeiter gerade, wie dieser Vorgang einen Transport des radioaktiven Elements durch das Salzgestein beeinflussen kann.

Im Gneis zuhause

Die Endlager-Forschung tut also gut daran, die Mikroorganismen im Auge zu behalten. Schließlich denken nicht nur die USA, sondern auch die Niederlande und Polen über ein Endlager im Salz nach. Neben der Schweiz erkunden auch Belgien und Frankreich Möglichkeiten, ihre hochradioaktiven Abfälle

im Tongestein zu deponieren. Am stärksten aber drängt die mikrobiologische Forschung bei einem Endlager in Granitgesteinen. Schließlich deutet einiges darauf hin, dass im Gneis Skandinaviens weltweit oder zumindest in Europa die erste, endgültige Ruhestätte für hochradioaktiven Abfall in Dienst gestellt werden könnte.

Genau dort im Versuchs-Endlager Äspö aber hat Karsten Pedersen das Bakterium *Pseudomonas fluorescens* isoliert, seine Dresdner Kollegin Evelyn Krawczyk-Bärsch züchtet die Mikroorganismen in Form von Biofilmen in ihrem Labor am HZDR. Diese Bakterien kommen sehr gut mit Uran zurecht und bilden in ihren Zellen daraus das Mineral Calcium-Uranylphosphat. In dieser Form ist das Uran gebunden und liegt nicht mehr gelöst in der Umwelt vor.

Biofilm im Zeitraffer

In den Biofilmen an den Wänden von Äspö lebt mit *Gallionella ferruginea* ein weiteres Bakterium. Energie gewinnt dieser Mikroorganismus, wenn er Eisen(II)-Verbindungen zu Eisen(III)-Verbindungen oxidiert. In Bakterienkreisen ist diese Form des Lebensunterhaltes gar nicht so selten, weil Eisen immerhin in der Erdkruste das vierthäufigste Element ist. Einmal entstan-



BAKTERIUM: *Gallionella ferruginea* lebt von Eisen, das nach der Oxidation als Ferrihydrit ausfällt (Aufnahme mit einem Rasterelektronen-Mikroskop).

den, fällt das Eisen(III) rasch als Ferrihydrit aus. „Mithilfe der Mikroorganismen läuft dieser Prozess 60-mal schneller ab als ohne“, erklärt Evelyn Krawczyk-Bärsch. So entstehen große Mengen eines rostbraunen Ferrihydrit-Schlammes.

Während ihrer Master-Arbeit hat sich eine Studentin in den HZDR-Laboren diese Prozesse genauer angeschaut: Zunächst bilden die Bakterien Stängel, an denen dann Ferrihydrit-Kügelchen entstehen. „Dieses Ferrihydrit bietet viele Stellen, an denen sich Uran und andere radioaktive Elemente wie Neptunium binden können“, beschreibt Evelyn Krawczyk-Bärsch die nächste Reaktion. Auf diese Weise nimmt das Ferrihydrit aus einer Lösung fast vollständig alle gefährlichen Uran(VI)- und Neptunium(V)-Verbindungen auf. →



FORSCHEN IM UNTERGRUND: Andrea Cherkouk, Evelyn Krawczyk-Bärsch und Henry Moll sind dem Leben im Gestein und somit im Endlager auf der Spur (v.l.n.r.).

Solche Ergebnisse aber sind allenfalls der Anfang der Forschung über Mikroorganismen im Endlager. Die HZDR-Wissenschaftler arbeiten jedenfalls gemeinsam mit ihren Kollegen aus verschiedenen Ländern Europas längst an weiteren Projekten: Welche Mikroorganismen spielen im Endlager noch eine Rolle? Was machen die *Gallionella ferruginea*-Bakterien, wenn der gesamte hochradioaktive Abfall unter Tage ist, das Endlager geschlossen wird und der für diese Organismen lebenswichtige Sauerstoff irgendwann aufgebraucht sein wird? Weil noch etliche solcher Fragen die Forscher umtreiben, werden die Winzlinge unter Tage wohl noch öfter von sich reden machen.

PUBLIKATIONEN:

E. Krawczyk-Bärsch, L. Lütke, H. Moll, F. Bok, R. Steudtner, A. Rossberg: "A spectroscopic study on U(VI) biomineralization in cultivated *Pseudomonas fluorescens* biofilms isolated from granitic aquifers", in Environmental Science and Pollution Research 2015 (DOI: 10.1007/s11356-014-3671-4)

H. Moll, L. Lütke, V. Bachvarova, A. Cherkouk, S. Selenska-Pobell, G. Bernhard: "Interactions of the Mont Terri Opalinus Clay Isolate *Sporomusa* sp. MT-2.99 with Curium(III) and Europium(III)", in Geomicrobiology Journal 2014 (DOI: 10.1080/01490451.2014.889975)

E. Krawczyk-Bärsch u. a.: "Immobilization of uranium in biofilm microorganisms exposed to groundwater seeps over granitic rock tunnel walls in Olkiluoto, Finland", in Geochimica et Cosmochimica Acta 2012 (DOI: 10.1016/j.gca.2012.08.012) ─

KONTAKT

— Institut für Ressourcenökologie am HZDR
Dr. Evelyn Krawczyk-Bärsch
e.krawczyk-baersch@hzdr.de

Dr. Henry Moll
h.moll@hzdr.de

— Nachwuchsgruppe MicroSalt am HZDR
Dr. Andrea Cherkouk
a.cherkouk@hzdr.de



EU nimmt Mikroorganismen im Endlager unter die Lupe

Mikroorganismen spielten bisher kaum eine Rolle, wenn Naturwissenschaftler ein mögliches Endlager für hoch- und mittelradioaktive Abfälle untersuchten. Das änderte sich, als Wissenschaftler – darunter auch HZDR-Forscher – im Untergrund Mikrokosmen entdeckten, die sowohl in Uran-Bergwerken als auch in verschiedenen, für ein Endlager infrage kommenden Gesteinsformationen existieren. Da diese Mikroorganismen langfristig die Mobilität der dort deponierten, radioaktiven Abfälle beeinflussen könnten, untersuchen 15 Forschergruppen aus acht europäischen Ländern während der nächsten vier Jahre mögliche Einflüsse dieses Lebens in Miniatur-Form. Die EU finanziert die Aktivitäten in dem Projekt „Entwicklung einer sicherheitsrelevanten Wissensbasis über den Einfluss von mikrobiellen Prozessen auf die geologische Lagerung von radioaktivem Abfall“, kurz: MIND, mit insgesamt mehr als vier Millionen Euro.

„Es gibt ja eine ganze Reihe von Prozessen, bei denen Mikroorganismen eine Rolle spielen könnten“, erklärt der Geochemiker Thuro Arnold vom HZDR-Institut für Ressourcenökologie. Im Rahmen von MIND schauen sich die HZDR-Forscher daher gemeinsam mit spanischen, britischen und tschechischen Kollegen an, wie solche Mikroorganismen mit den organischen Anteilen des radioaktiven Abfalls wechselwirken. Dabei kann es sich zum Beispiel um Papiertücher handeln, mit denen in einem klinischen Institut oder in einem Forschungslabor radioaktive Substanzen aufgewischt wurden.

Daneben nehmen Thuro Arnold und seine Kollegen auch den Einfluss von Mikroorganismen auf hochradioaktive Abfälle, zu denen zum Beispiel abgebrannte Brennstäbe aus Kernkraftwerken gehören, unter die Lupe. Werden diese beispielsweise in Granitgestein gelagert, soll eine geotechnische Barriere verhindern, dass die radioaktiven Substanzen in andere Schichten gelangen. Solch eine Barriere gegen möglicherweise eindringendes Grundwasser könnte Bentonit sein, das aus der Verwitterung von Vulkanaschen entsteht. Das darin enthaltene Tonmineral Montmorillonit quillt nämlich auf, sobald es mit Wasser in Berührung kommt, und versiegelt so mögliche Spalten und Risse der Barriere. Die Gegenwart von Mikroorganismen könnte allerdings dazu führen, dass sich das Montmorillonit in ein anderes Tonmineral, wie beispielsweise Illit, umwandelt. Da dieses keine quellenartigen Eigenschaften hat, könnte der Prozess die Bentonit-Barriere destabilisieren. Dies wollen die HZDR-Forscher ebenfalls im Rahmen von MIND untersuchen.

// Radioaktiver Abfall soll in Endlagern tief unter der Erdkruste entsorgt werden. HZDR-Forscher untersuchen, wie Radionuklide mit dem umgebenden Gestein in solchen Lagern wechselwirken und so an der unkontrollierten Ausbreitung gehindert werden können.



SPEKTROSKOPIE: Laserspektren verraten Moritz Schmidt und den Kollegen aus seiner Nachwuchsgruppe viel über die Bindungseigenschaften der Actiniden mit Mineralen und umgebenden Gesteinsformationen. Foto: AVANGA

IN DER TIEFE GEBUNDEN: GESTEINE HALTEN RADIONUKLIDE ZURÜCK

Text . Uta Bilow

Weltweit nutzen mehr als 30 Länder Kernkraftwerke zur Stromerzeugung. Daraus ergibt sich eine wichtige Aufgabe: die sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle, die beim Betrieb der Kraftwerke entstehen. Ausgediente Brennelemente müssen eingeschlossen werden, bis die Radioaktivität auf ein ungefährliches Niveau abgeklungen ist. Das umfasst einen Zeitraum von 100.000 Jahren und länger. In Langzeitsicherheitsanalysen werden sogar Zeitspannen von einer Million Jahren betrachtet, in denen der radioaktive Abfall vom Lebensraum von Menschen, Tieren und Pflanzen ferngehalten werden muss.

Geplant ist, den hochradioaktiven Abfall bis zu 1.000 Meter unter der Erdoberfläche zu lagern. Verschiedene geologische Formationen, etwa Salzstöcke, Tonschichten oder Granit, kommen dafür infrage. Das umgebende Gestein soll dabei sicherstellen, dass die radioaktiven Substanzen nicht wandern, wenn technische Barrieren wie Behälter oder Betondeckel im Laufe der Zeit physikalisch versagen oder gar Wasser in das Endlager eindringt. Bei dieser Fragestellung setzt die Helmholtz-Nachwuchsgruppe von Moritz Schmidt mit ihren Forschungsarbeiten an: Die Chemiker untersuchen am HZDR

→

12

13

die Geochemie der Actiniden, also radioaktiver Elemente wie zum Beispiel Plutonium. Sie interessieren sich dabei für die Wechselwirkungen zwischen Mineral und Radionuklid. Denn das Mineral stellt eine natürliche Barriere dar, welche die Nuklide daran hindert, sich auszubreiten. Was auf molekularer und atomarer Ebene abläuft, wenn eine Radionuklid-Lösung auf die Oberfläche eines Minerals trifft, ist jedoch äußerst vielschichtig und noch nicht bis ins Detail bekannt. In der Regel lagern sich die Radionuklide auf der Mineraloberfläche an. Dabei können sie als „nackte“ Ionen mehr oder weniger fest gebunden werden oder aber von einer Hülle aus Wassermolekülen umgeben sein. Seltener kommt es vor, dass ein Radionuklid fest in das Kristallgitter des Wirtsminerals eingebaut wird. Manche Actiniden bilden auch einen größeren Verbund, ein sogenanntes Kolloid, das auf der Oberfläche festgehalten wird, manchmal aber auch ein ganz abweichendes Verhalten zeigt.

Mineral und Actinid im Röhrchen

Moritz Schmidt und seine Mitarbeiter schauen sich diese Vorgänge im Labor ganz genau an. Welche Bindungszustände liegen vor, wie ist die Koordinationsumgebung für das Radionuklid, welche Konzentrationen werden erreicht? Dabei untersuchen die HZDR-Forscher verschiedene Wirtsminerale, darunter Calcit, auch Kalkspat genannt, ein Calciumcarbonat-Mineral. Denn, so erläutert Moritz Schmidt: „Calcit kommt häufig vor. Außerdem ist er das Abbauprodukt von Beton, welcher beim Ausbau von Endlagern verwendet wird.“ Als weitere geologische Wirtsformation erforschen die Chemiker Muskovit, ein ebenfalls häufig vorkommendes silikathaltiges Mineral, das große Anteile in Granit hat. Um die Wechselwirkung zwischen einer Mineralprobe mit Radionukliden unter die Lupe zu nehmen, müssen die Forscher die Bedingungen unter

Tage im Labor nachstellen. Schmidt: „Wir verschließen das Mineral und unser Actinid in einem Kunststoffröhrchen. Dann wird permanent geschüttelt und regelmäßig eine Probe entnommen.“

Zur Untersuchung der Proben stehen modernste Analysegeräte zur Verfügung. Eines davon ist die sogenannte zeitaufgelöste laserinduzierte Fluoreszenz-Spektroskopie, die die Fachleute kurz TRLFS nennen. Die Proben werden mit Laserlicht, dessen Frequenz in winzigen Schritten verändert wird, bestrahlt und senden daraufhin charakteristische Fluoreszenz-Strahlung aus. Aus den Messkurven, die an ultrakalten Proben aufgenommen werden, lässt sich zum Beispiel ablesen, wie ein Ion koordiniert ist, wie viele Wassermoleküle seine Hülle bilden, wie viel auf der Mineral-Oberfläche haftet und wie stark seine Bindung an das Mineral ist. →

MESSZEIT: Die HZDR-Forscher nutzen derzeit die Anlagen der „Advanced Photon Source“ des Argonne National Laboratory in Chicago, bauen aber einen eigenen Messplatz in Grenoble auf.



Aus der Gruppe der Actiniden haben Schmidt und seine jungen Kollegen vor allem die vier Elemente Plutonium, Americium, Curium und Neptunium im Fokus. „Diese Transurane sind besonders langlebig und radiotoxisch“, erklärt der Chemiker. Es gibt aber auch Versuche mit den homologen Elementen Europium oder Yttrium. „Curium fluoresziert sehr stark“, sagt Schmidt. „Daher können wir es noch in äußerst geringen Konzentrationen nachweisen und seine Wechselwirkung mit dem Mineral bestimmen.“ Yttrium wiederum ist nicht radioaktiv, zeigt aber ein ähnliches chemisches Verhalten wie die Actiniden und ist daher für grundlegende Untersuchungen eine gute Alternative.

Wie Curium an Kalkspat bindet

Bei Versuchen mit dem Radionuklid Curium konnten die Wissenschaftler mithilfe der TRLFS erkennen, dass das Nuklid auf drei verschiedene Arten an Calcit bindet. „Wir sehen drei Banden, die bei verschiedenen Anregungswellenlängen auftauchen. Jede gehört zu einer anderen Spezies, die sich voneinander unterscheiden in der Art der Koordination, der Symmetrie und dem Wassergehalt“, erklärt Schmidt. Außerdem fand seine Arbeitsgruppe heraus, dass geringe Spuren von Nitrat das Anhaftungsverhalten drastisch verändern. Auf der Calcit-Oberfläche bildet sich in Anwesenheit von Nitrat eine weiche, gelartige Schicht. „Dadurch wird die Bindung des Radionuklids deutlich geschwächt“, so Schmidt. Nun wollen die Forscher den Mechanismus der Oberflächen-Veränderung untersuchen und darüber Schlüsse ziehen, ob andere Ionen wie etwa Sulfat oder Phosphat ähnlich wirken könnten.

Ein anderes Analyseverfahren, das die HZDR-Wissenschaftler häufig nutzen, ist die Oberflächen-Röntgenbeugung. Während man gewöhnliche Röntgenbeugung dazu nutzt, die regelmäßige dreidimensionale Anordnung von Atomen in einem Kristall zu bestimmen, ist die von Schmidt und seinen Mitarbeitern verwendete Methode besonders sensibel für Oberflächen-Effekte – die Atome im Inneren des Minerals werden gleichsam ausgeblendet. Mithilfe dieses Verfahrens konnten die Forscher genau beobachten, wie die Anwesenheit von Nitrat die Entstehung der gelartigen Schicht auf Calcit beförderte. Für das Verfahren braucht man allerdings hochintensives Röntgenlicht aus einer Synchrotronquelle. „Derzeit messen wir noch in Chicago an der Advanced Photon Source des Argonne National Laboratory“, erzählt Moritz Schmidt. „Demnächst wird es etwas einfacher, weil wir gerade an unserer Strahllinie ROBL am Europäischen Synchrotron ESRF in Grenoble einen Messplatz aufbauen. Dann ist der Transport von Proben aus dem Labor zur Messung deutlich kürzer und wir bekommen schneller Ergebnisse.“

PUBLIKATIONEN:

M. Schmidt u. a.: „Effects of the background electrolyte on Th(IV) sorption to muscovite mica“, in *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2015 (DOI: 10.1016/j.gca.2015.05.039)

H. Geckeis, J. Lützenkirchen, R. Polly, T. Rabung, M. Schmidt: „Mineral-water interface reactions of actinides“, in *Chemical Reviews* 2013 (DOI: 10.1021/cr300370h) —



NACHWUCHSGRUPPE: Die Chemiker Erik Johnstone, Stefan Hellebrandt, Sascha Hofmann, Moritz Schmidt und Sophia Hellebrandt (v.l.n.r.) erhalten bald Verstärkung.

Früh übt sich...

Moritz Schmidt leitet seit Oktober 2013 eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe am HZDR zum Thema „Struktur und Reaktionen an der Wasser-/Mineralgrenzfläche“. Fünf Jahre lang erhält er von der Helmholtz-Gemeinschaft bis zu einer Viertel Million Euro jährlich, um seine Gruppe aufzubauen. Mit der Förderung unterstützt die Helmholtz-Gemeinschaft die frühe Selbstständigkeit von herausragenden Nachwuchswissenschaftlern.

Derzeit arbeiten eine Doktorandin, zwei Doktoranden und ein Post-Doc in der Nachwuchsgruppe. Im kommenden Jahr will Moritz Schmidt, der zuvor am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) forschte, sein Team erweitern. An der TU Dresden hält er regelmäßig eine Vorlesung zur Chemie der Actiniden. Gut möglich, dass die Veranstaltung neue Nachwuchsforscher nach Rossendorf lockt!

KONTAKT

— Nachwuchsgruppe Struktur und Reaktionen
an der Wasser-/Mineralgrenzfläche am HZDR
Dr. Moritz Schmidt
moritz.schmidt@hzdr.de

// Barrieren, Transport und Rückhaltung – wie die Grundlagenforschung zur sicheren Verwahrung hochradioaktiven Abfalls beiträgt.

NAH UND FERN

_TEXT . Christine Bohnet



INSTITUTSDIREKTOR: Thorsten Stumpf. Foto: AVANGA

Abfall und die darin enthaltenen Schadstoffe sollen grundsätzlich nicht von einer Deponie in die Umwelt, also in die Biosphäre, gelangen. Deshalb gibt es in Deutschland eine Deponie-Verordnung, die ein Multibarrieren-Konzept vorsieht. Sie gilt für Haus- und Industriemüll, aber auch in einem nuklearen Endlager sollen mehrere Barrieren dafür sorgen, dass der hochaktive Abfall für mehrere hunderttausend Jahre sicher eingeschlossen bleibt. Das im Jahr 2013 verabschiedete Endlager-Suchgesetz fordert gar einen Sicherheitsnachweis von einer Million Jahren.

„Einen solch langen Zeitraum können wir in historischen Kategorien nicht in die Zukunft denken, geht man jedoch von geologischen Prozessen aus, so erscheint es möglich, dass die nuklearen Abfälle über eine Million Jahre sicher eingeschlossen bleiben“, sagt Thorsten Stumpf, Institutsdirektor am Dresdner Helmholtz-Zentrum. Alle europäischen Staaten, die vor der Aufgabe stehen, Abfälle aus Kernkraftwerken entsorgen zu müssen, setzen auf die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers. Stumpf: „Das Endlager muss gleich mehrere Eiszeiten überstehen. Das stellt an dessen Konstruktion hohe Anforderungen.“

Denn schon in einigen tausend Jahren könnten sich die technischen Barrieren teilweise aufgelöst haben. Dies trifft etwa für den Behälter aus Stahl zu, der von Gusseisen oder Graphit eingehüllt sein könnte. Er zählt, ebenso wie das ihn umgebende Verfüllmaterial aus Ton, Bentonit oder Salzgrus (feines Salzgestein), zum sogenannten Nahfeld. Das daran anschließende Wirtsgestein rechnen die Endlager-Experten hingegen zum Fernfeld, das aus geologisch stabilen Schichten bestehen muss, um Sicherheit für einen möglichst langen Zeitraum zu gewährleisten – und das auch im Falle eines Wassereintruchs, der radioaktive Schwermetalle wie die Actiniden und andere Abfallstoffe in die Umwelt transportieren könnte.

Endlagerforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft

„Wir haben in der Helmholtz-Gemeinschaft die Arbeiten zwischen dem Forschungszentrum Jülich, dem Karlsruher Institut für Technologie und dem HZDR aufgeteilt, um möglichst stringent Lösungen zu wichtigen Aspekten eines zukünftigen Endlagers zu finden“, erläutert Stumpf, der vor seiner Berufung zum Direktor des Instituts für Ressourcenökologie als Radiochemiker am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gearbeitet hat. So deckt das Forschungsprogramm mit dem Namen „NUSAFE“ ein breites Spektrum ab, wobei der Fokus auf dem Verhalten von Radionukliden im Endlager liegt. Aber auch weitere Themen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle spielen hier eine Rolle.

„Letztlich drehen sich all unsere Arbeiten um die Aspekte Transport und Rückhaltung“, erläutert Stumpf. „Die Mobilisierung der radioaktiven Substanzen kann durch intelligente Barrieren verhindert werden, aber auch durch Vorgänge, die ohne unser Zutun ablaufen.“ Das können chemische Bindungen zwischen Molekülen und Komplexen sein oder elektrostatische Prozesse, bei denen es zum Ionenaustausch an Oberflächen kommt. Eine besonders stabile Bindung liegt immer dann vor, wenn die Actiniden fest in ein Mineral eingebaut werden.

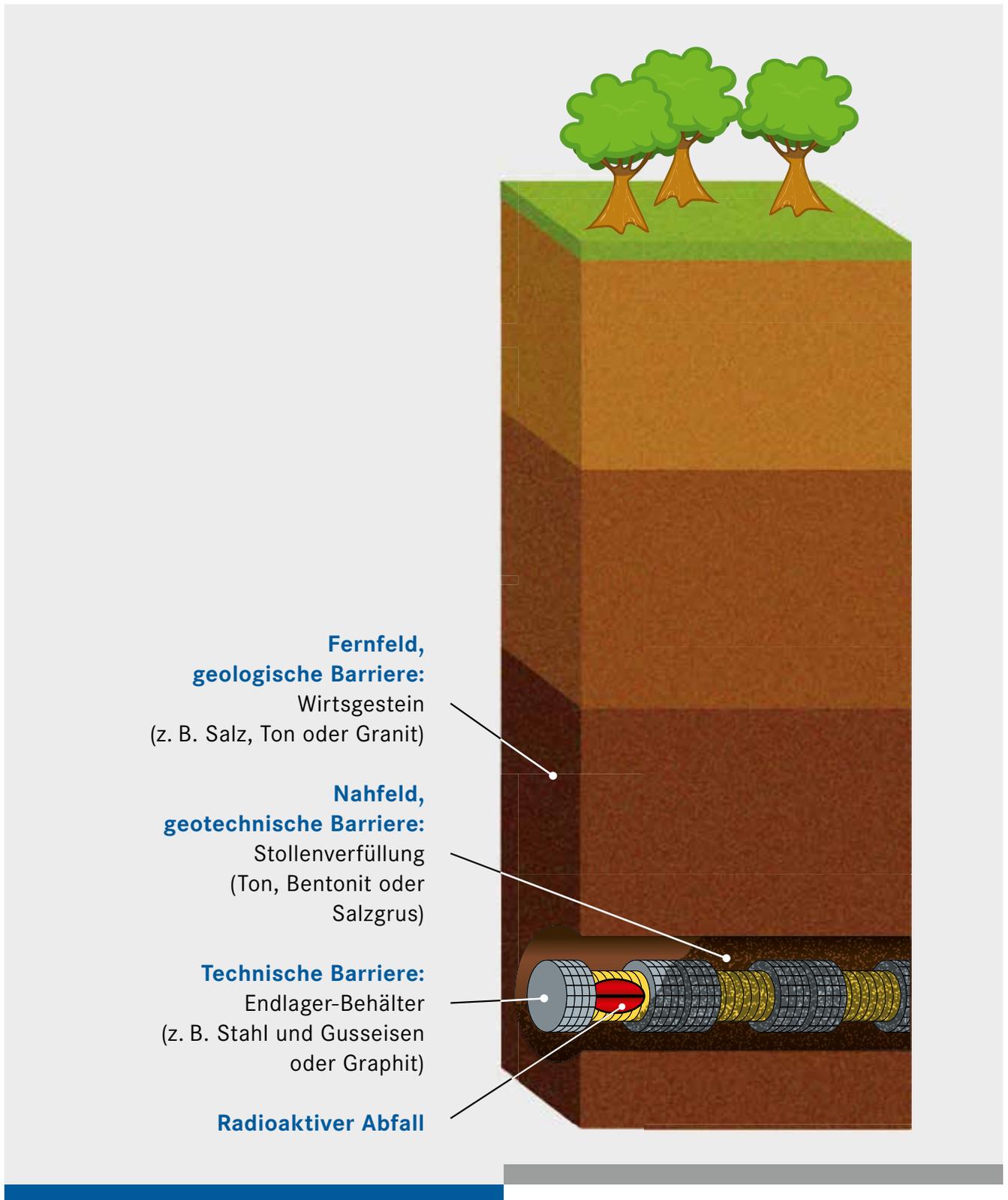
Heute untersucht die Endlagerforschung diese Prozesse auf der Ebene der Moleküle. „Früher hat man im Labor Lösungen hergestellt, eine Weile geschüttelt und eine Verteilungskurve ermittelt“, erzählt Stumpf. Daraus wurde die Ausbreitung einzelner Stoffe abgeschätzt. Änderte sich allerdings ein Parameter, beispielsweise die Temperatur, dann stimmte das Ergebnis nicht mehr. „Wir haben in der Vergangenheit einige relevante Beispiele generiert, die nicht in den Ausbreitungsrechnungen berücksichtigt wurden.“ Deshalb ist Thorsten Stumpf überzeugt, dass belastbare Aussagen nur über das Verständnis des gesamten Systems möglich sind. Die Erkenntnisse zu nuklearen Endlagern aus der Helmholtz-Forschung stehen Wissenschaftlern in der ganzen Welt, Behörden und zukünftigen Endlagerbetreibern in frei zugänglichen Datenbanken zur Verfügung. —

KONTAKT

_Institut für Ressourcenökologie am HZDR
Prof. Thorsten Stumpf
t.stumpf@hzdr.de

TIEFENLAGER FÜR HOCHRADIOAKTIVEN ABFALL: MULTIBARRIEREN-KONZEPT

_DIAGRAMM . Schmidt & Schumann



AUCH IN DEUTSCHLAND EINE LÖSBARE AUFGABE: DIE LAGERUNG HOCHRADIOAKTIVEN ABFALLS

_Interview . Christine Bohnet



Der Chemieingenieur Michael Sailer ist seit 2009 Sprecher der Geschäftsführung des unabhängigen Öko-Instituts, das in Büros in Freiburg, Darmstadt und Berlin arbeitet. Davor hat er viele Jahre den Fachbereich „Nukleartechnik und Anlagensicherheit“ des Instituts geleitet. Sein Expertenwissen zu den Themen Reaktorsicherheit und nukleare Endlagerung bringt er gleich in mehrere Kommissionen ein: Er ist Vorsitzender der Entsorgungskommission, die das Bundesumweltministerium berät, und Mitglied in der „Kommission Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe“, die meist mit „Endlagerkommission“ abgekürzt wird. 15 Jahre gehörte er zudem der Reaktorsicherheitskommission an.

Das Erklären sei ihm wichtig, betont er im Interview für „entdeckt“: „Die Wissenschaft hat eine Bringschuld. Wir müssen der Gesellschaft im Allgemeinen und der Politik im Besonderen die wissenschaftlichen Ergebnisse erklären, aber auch, warum es auf ein Thema unterschiedliche Sichten gibt.“ Die Sicherheit von Reaktoren gilt ihm hierfür als Paradebeispiel. Lange habe es dort nur eine Pro- oder eine Contra-Perspektive gegeben. „Heute liegt mir viel daran, die Risiken bewusst zu machen und nicht zu polarisieren. Wir müssen die Gesellschaft über das Zurverfügungstellen der wissenschaftlichen Informationen in die Lage versetzen, wichtige Entscheidungen treffen zu können.“

■ Herr Sailer, wann geht in Deutschland ein Endlager für radioaktive Abfälle in Betrieb?

Wenn wir uns ordentlich zusammenehmen, könnte in Deutschland zwischen 2045 und 2050 der erste Behälter mit hochradioaktivem Abfall „unter die Erde“ kommen. Die Menge an hochradioaktivem Abfall aus Deutschland passt in ein einziges Endlager hinein. Für schwach- und mittelradioaktiven Abfall, der aus dem Betrieb von Kernkraftwerken, aber auch aus der Medizin oder Forschungseinrichtungen stammt, gibt es das genehmigte Endlager Schacht Konrad, das in einigen Jahren in Betrieb gehen soll.

Doch zurück zum hochradioaktiven Abfall, der laut Gesetz für eine Million Jahre sicher verwahrt werden muss. Die Standortentscheidung soll nach einem bundesweiten stufenweisen

Auswahlprozess 2031 fallen. Eine Baugenehmigung für solch ein geologisches Tiefenlager könnte dann nach 2035 möglich sein. Von der Forschung her wissen wir ja im Großen und Ganzen, wie Endlagerung geht. Unabdingbare Voraussetzung ist jedoch, dass alle wesentlichen Kräfte bei der Realisierung an einem Strick ziehen.

■ Welche besonderen Herausforderungen für Forschungseinrichtungen sehen Sie?

Deutschland hat ein großes Problem bei der Entsorgung, das derzeit zwar noch nicht durchschlägt, das aber in den nächsten Jahren virulent wird, nämlich die Kapazitäten bei den fachkundigen Personen. Das Problem ist zweigeteilt. Wir brauchen einerseits eine Ausbildungsinitiative an den Hochschulen und Forschungseinrichtungen, damit zur richtigen Zeit die richtigen Leute am richtigen Platz sitzen. Schon im Auswahlprozess wird viel Fachkunde gebraucht, aber richtig eng wird es ab dem Jahr 2031, wenn es mit den konkreten Vorbereitungen für den Bau eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle losgehen kann. Wo sind dann die Fachleute, die mit der Endlagerforschung vertraut sind, um Sicherheitsstudien durchzuführen, sie zu überprüfen oder wissenschaftliche Befunde auszuwerten? Plätze für Fachkundige wird es auf der Seite des Endlagerbetreibers geben, aber auch auf der Seite der Genehmigungsbehörden, Bundesämter oder Ministerien – und nicht zuletzt bei Gutachterorganisationen.

Andererseits müssen die Forschungsanstrengungen unbedingt gebündelt werden. Die Themen, mit denen sich die Gesellschaft für Reaktorsicherheit, insgesamt drei Helmholtz-Zentren und einige ausgewählte Universitäten beschäftigen, sind durchaus wichtig und zukunftsweisend. Aber ob sie alle Fragen zum Transport und zur Rückhaltung von Radioaktivität systematisch abdecken, bezweifle ich. Im Endlagersuchprozess, aber vor allem dann, wenn schließlich der konkrete Standort festgelegt wird, sind immer mehr und weitere Detailfragen zu klären. Wie genau breiten sich die radioaktiven Substanzen dort aus? Wie beeinflusst die spezifische geologische Situation den Bergwerksbetrieb untertage? Welche Mikroorganismen leben dort und welche Rolle könnten sie bei der Rückhaltung spielen?

■ Braucht es mehr Forschung in Deutschland?

Die Realität sieht so aus, dass die Endlagerforschung von unterschiedlichen Stellen finanziert wird. Förderprogramme gibt es bei drei unterschiedlichen Bundesministerien für unterschiedliche Ausschnitte. Ich plädiere für eine bessere →

Koordinierung und Verzahnung der Programme. Ohne systematischen Blick und kritische Bestandsaufnahme werden in Zukunft nicht alle notwendigen Felder abgedeckt werden können. Erst im Januar dieses Jahres hat die Entsorgungskommission auf einem zweitägigen Workshop über den Forschungsstand und -bedarf in Deutschland diskutiert.

Aus meiner Sicht müssen praxistaugliche biologische und chemische Großexperimente die typische Reagenzglas-Forschung ergänzen. Zudem spielt in Zukunft ein gestuftes Vorgehen eine große Rolle, damit wir für konkrete Szenarien nach und nach zu einem vertieften Verständnis gelangen. Auch dafür muss jemand definieren, welche Forschung wichtig und notwendig ist.

Wie steht Deutschland im Vergleich zu anderen europäischen Ländern da?

In anderen Ländern funktioniert das Zusammenspiel der Akteure teils viel besser. Nehmen wir etwa Finnland, Schweden, die Schweiz oder Frankreich. Diese Länder sind bei der Festlegung ihres Endlagers und teilweise im dafür notwendigen Genehmigungsverfahren schon sehr fortgeschritten. Und sie haben es geschafft, ihre Kräfte in der Forschung zu bündeln. Die Baugenehmigung für das finnische Endlager steht bereits für 2016 oder 2017 an. Wir können von unseren europäischen Nachbarn also lernen, die tatsächlich zielführenden Fragen zu stellen und immer wieder zu hinterfragen, welche Antworten wir in 10, 20 oder 30 Jahren geben müssen.



Bitte beschreiben Sie kurz die aktuellen Rahmenbedingungen für die Arbeit und die Aufgaben der Endlagerkommission.

Die derzeitige Situation sieht so aus: Die Auseinandersetzung um den Standort Gorleben hat einen enormen Graben quer durch Deutschland gerissen, der nach mehr als 30 Jahren zu einem guten Stück überwunden zu sein scheint. Seit zwei Jahren ist man sich mit großer Mehrheit einig, dass ergebnisoffen ein Standort für ein Endlager gesucht und gefunden werden muss. Dem im Sommer 2013 verabschiedeten „Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle“, kurz Endlagersuchgesetz, stimmten die Abgeordneten im Bundestag mit sehr großer Mehrheit und der Bundesrat einstimmig zu. Alle sehen die Notwendigkeit, eine Lösung durch Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Schichten zu erreichen. Die breite Zustimmung durch die Politik hat für mich eindeutig eine neue Qualität.

Ziel und Aufgabe der 33 Mitglieder in der Endlagerkommission ist es, das Endlagersuchgesetz von 2013 selbst nochmals zu evaluieren, die festgelegten Kriterien und Sicherheitsanforderungen zu beurteilen und das Suchverfahren zu gestalten. Das Gesetz schreibt jedenfalls ein sehr operationalisiertes Vorgehensschema fest. Unser Bericht muss Mitte 2016 vorliegen – und das ist machbar. Ich bin optimistisch, dass Bundestag und Bundesrat auf dieser Grundlage Ende 2016 oder Anfang 2017 das „Go“ für die tatsächliche Standortsuche geben werden.

Wird damit die Aufgabe der Endlagerkommission beendet sein?

Ja, denn das Gesetz sieht vor, dass ein Vorhabenträger, nach der derzeitigen Festlegung das Bundesamt für Strahlenschutz, die eigentliche Standortsuche organisiert. Das neue Bundesamt für kerntechnische Entsorgung tritt demgegenüber als Regulierungsbehörde auf. Alle Akteure haben zudem darauf zu achten, die Öffentlichkeit aktiv in die Prozesse einzubeziehen. Bis zur Festlegung des endgültigen Standorts durch Gesetz werden Bundestag und Bundesrat in einem gestuften Verfahren noch mehrere Entscheidungen zu treffen haben. Deshalb muss die Kunst gelingen, die hohe Zustimmung auf Seiten der Politiker auch in den nächsten Jahren aufrechtzuerhalten. —

➤ www.oeko.de

ANERKANNT: Michael Sailer ist Experte für Reaktorsicherheit und nukleare Endlagerung. Foto: Öko-Institut

// An der Rossendorf Beamline ROBL im französischen Grenoble erhöht der scharfe Blick der Forscher die Sicherheit der Endlager für radioaktiven Abfall – und hat in der Vergangenheit schon so manche Hypothese der Fachwelt widerlegt.

HINAB BIS AUF DIE ATOMARE EBENE

_TEXT . Simon Schmitt



Schon Johann Wolfgang von Goethe wusste, dass der Fehler oft im Detail steckt – oder, um es mit den Worten des großen deutschen Dichters auszudrücken: „Willst du dich am Ganzen erquicken, so musst du das Ganze im Kleinsten erblicken.“ Fast perfekt passt dieses alte Zitat auf den derzeitigen Stand der Endlagerforschung. Denn die wichtigen Punkte sind zu 95 Prozent bereits geklärt, schätzt Andreas Scheinost ein: „Die restlichen fünf Prozent bergen aber Detailfragen, die die Sicherheit der Endlager für radioaktiven Abfall entscheidend beeinflussen können.“ Ganz im Sinne Goethes will der HZDR-Forscher deswegen das Ganze – die Suche nach einem sicheren Endlager – bis in die kleinsten Zusammenhänge durchdringen.

Dafür muss er sich mit molekularen und atomaren Prozessen beschäftigen. Und da sich diese nun mal in extrem kleinen Dimensionen abspielen, nutzt Andreas Scheinost ein „Mikroskop“ in Stadiongröße: die Europäische Synchrotron-Strahlungsquelle ESRF in Grenoble. Auf einer ringförmigen Rennstrecke mit einem Umfang von 844 Metern werden hier Elektronen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Da-

bei entsteht eine 100 Milliarden Mal stärkere Röntgenstrahlung als sie zum Beispiel in Krankenhäusern angewandt wird. Diese intensive Strahlung erlaubt Wissenschaftlern an mehr als 40 experimentellen Stationen der ESRF – sogenannten Beamlines – tiefe Einblicke in die Struktur der Materie.

Was passiert im Endlager?

Nur ein Messlabor bietet jedoch die nötigen Voraussetzungen für die nukleare Endlagerforschung: die Rossendorf Beamline ROBL, die das HZDR an der europäischen Einrichtung in den französischen Alpen unterhält. „Außer uns gibt es in Europa nur eine weitere Beamline, an der radioaktive Stoffe untersucht werden können“, erzählt Andreas Scheinost. Dementsprechend nachgefragt sind die Messzeiten an der Anlage, für die sich auch externe Forscher bewerben können. Ein Angebot, das Wissenschaftler aus aller Welt anlockt. „Wir sind durchschnittlich zwei- bis vierfach überbucht“, berichtet der Leiter der Abteilung für Molekulare Strukturen und fügt hinzu: „Obwohl ROBL an 200 Tagen im Jahr rund um die Uhr in Betrieb ist.“ →

Im Fokus der Arbeiten steht die Frage nach den Prozessen, die in einem Endlager ablaufen. „Wir wissen noch nicht genau genug, wie sich die Actiniden, also die radioaktiven Elemente, in den Umgebungen möglicher Endlager verhalten“, erläutert Scheinost. „Gehen sie zum Beispiel Verbindungen mit Mikroorganismen ein und werden dadurch vielleicht mobil? Wie interagieren die radioaktiven Stoffe in ihren unterschiedlichen Formen mit dem Wirtsgestein und mit technischen Barrieren? Was passiert, wenn die Stahlfässer rosten?“ Solche Fragen sind langfristig entscheidend für die Sicherheit der Endlager, die immerhin Abfälle aus Kernkraftwerken für einen Zeitraum von mehreren hunderttausend Jahren verwahren sollen.

Durchleuchtet für atomare Präzision

Um sie zu beantworten, müssen die Forscher die chemische Grundstruktur der radioaktiven Stoffe und ihre Verbindungen entschlüsseln. Ein wertvolles Hilfsmittel für diese Aufgabe liefert ROBL: die Röntgenabsorptions-Spektroskopie. Die Proben werden dabei dem intensiven Licht des Synchrotronstrahls ausgesetzt. Die Wissenschaftler messen, wie stark die Röntgenstrahlen mit den Atomen in der Probe wechselwirken. „Aus den energieabhängigen Absorptionsspektren können wir wichtige Informationen ableiten“, erklärt Scheinost. „Zum Beispiel, welche Oxidationsstufe die Atome haben, wie und wo sie genau an der Oberfläche der Stoffe sitzen, wie nahe sie sich kommen und welche Verbindungen sie eingehen.“

TIEFE EINBLICKE: Andreas Scheinost setzt an der Europäischen Synchrotron-Strahlungsquelle ESRF in Grenoble radioaktive Proben brillanter Röntgenstrahlung aus. Foto: AVANGA



Von diesen Eigenschaften hängt ab, ob die radioaktiven Stoffe mobil oder immobil sind – also ob sie im Endlager gebunden bleiben oder beispielsweise durch Wasserströme, wie sie im Wirtsgestein vorkommen, wegtransportiert werden. „Das sind Detailfragen“, fasst Scheinost zusammen. „Aber oft mit großen Auswirkungen.“ Und wer ganz genau hinschaut, erkennt neue Zusammenhänge. So konnten die Experimente an ROBL schon einige Male Annahmen der Fachwelt widerlegen. Denn die Anlage in Frankreich bietet einen weiteren großen Vorteil. „Anders als bei den meisten Versuchen können wir realitätsnahe Bedingungen simulieren. Zum Beispiel den Ausschluss von Sauerstoff aus der Luft, was ja in einem Endlager der Fall sein wird.“

Über kleinste Details zu neuen Erkenntnissen

Dadurch konnten Scheinost und mehrere internationale Kollegen bei aufwendigen Untersuchungen zeigen, dass das radioaktive und giftige Schwermetall Selen-79 – ein Abfallprodukt in abgebranntem Kernbrennstoff – unter Endlager-Voraussetzungen weniger mobil ist, als lange Zeit vermutet. „Indem wir die Proben unter Ausschluss von Sauerstoff untersucht haben, stellten wir fest, dass das Selen-79 an Stahlcontainern gebunden bleibt, selbst wenn sie aufgrund eines möglichen Kontakts mit Wasser langsam durchrosten sollten“, erzählt Andreas Scheinost. „Weiteren Schutz bieten außerdem die Minerale, die das zukünftige Endlager umschließen. Das Radionuklid stellt somit kein erhöhtes Risiko für die Sicherheit eines Endlagers dar.“

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Scheinost und seine Kollegen bei Experimenten mit dem radioaktiven Element Plutonium. Die Forscher hatten eigentlich erwartet, dass die sauerstofffreien Reaktionen die Mobilität des Schwermetalls erhöhen würden. Wie die Messungen an der Rossendorf Beamline gezeigt haben, wird das Plutonium jedoch fest an der Oberfläche von Eisenmineralen, die im Granit oder Ton, aber auch im Grundwasser sowie als Rost an den Abfallbehältern vorkommen, gebunden. „All diese Erkenntnisse fließen in die Überlegungen zu möglichen Endlagern ein und helfen dabei, sie sicherer zu machen“, bilanziert Scheinost. Der scharfe Blick für das Kleinste stellt somit das Ganze auf eine starke Grundlage.

PUBLIKATIONEN:

S. Dulnee, A.C. Scheinost: „Interfacial reaction of Sn(II) on mackinawite (FeS)“, in *Journal of Contaminant Hydrology* 2015 (DOI: 10.1016/j.jconhyd.2015.03.012)

E. Yalçintas, X. Gaona, A.C. Scheinost, T. Kobayashi, M. Altmaier, H. Geckeis: “Redox chemistry of Tc(VII)/Tc(IV) in dilute to concentrated NaCl and MgCl₂ solutions”, in *Radiochimica Acta* 2015 (DOI: 10.1515/ract-2014-2272) —

KONTAKT

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

↗ www.esrf.fr

// Der Chemiker Peter Kaden untersucht mithilfe der Kernspinresonanz-Spektroskopie das Bindungsverhalten bestimmter radioaktiver Abfallstoffe. Mit seinem Wissen soll diese Forschung in Rossendorf weiter ausgebaut werden – als einer der wenigen Standorte weltweit.

KLEINES VERSTEHEN, UM GROSSES ZU BEWIRKEN

_TEXT . Sara Schmiedel



AUFKLÄRUNG: Der Chemiker Peter Kaden bedient sich in seiner Forschung der NMR- bzw. Kernspinresonanz-Spektroskopie.

Foto: Oliver Killig

Bislang gibt es in Deutschland noch kein Endlager für hochradioaktive, wärmeentwickelnde Abfälle aus kerntechnischen Anlagen. Bis zum Jahr 2031 soll ein Standort her, das sieht das Nationale Entsorgungsprogramm der Bundesregierung vor. Dafür erarbeitet die im Jahr 2013 eingesetzte Kommission aus Politikern, Wirtschafts- und Verbandsvertretern sowie Wissenschaftlern derzeit entsprechende Auswahlkriterien. Das künftige Endlager muss die bestmögliche Sicherheit über einen Zeitraum von einer Million Jahre gewährleisten, das sieht das Standortauswahlgesetz vor.

Deshalb ist eine Lagerung in mehreren hundert Metern Tiefe vorgesehen, wo die nuklearen Abfälle von der belebten Umwelt, der Biosphäre, abgeschirmt sind. „Wenn wir ein Endlager in eine Gesteinsschicht bauen, dann müssen wir wissen, wie sich die radioaktiven Elemente verhalten, falls beispielsweise Wasser in das Endlager eindringen sollte“, sagt Peter Kaden

vom HZDR-Institut für Ressourcenökologie. Ihn und seine Kollegen interessiert, wie die radioaktiven Metalle aus den nuklearen Abfällen mit organischen und anorganischen Stoffen aus ihrer Umgebung interagieren. Diese Erkenntnisse können zu einem besseren Verständnis von Transportprozessen führen und dabei helfen, effektive Barrieren in Endlagern zu errichten. Eine mögliche Ausbreitung von radioaktiven Stoffen könnte so im Ernstfall verhindert werden.

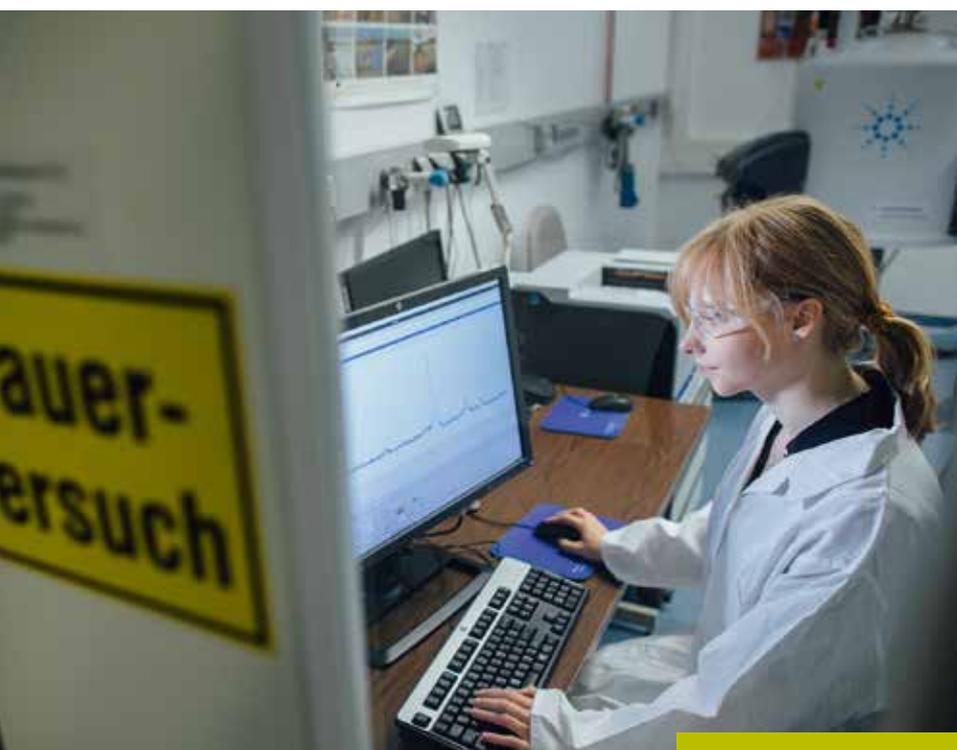
Schwieriger Nachweis

Bei der Energiegewinnung in Kernreaktoren entstehen aus dem Brennstoff Uran die sogenannten Actiniden – also z.B. Plutonium und Americium. Ihnen physikalisch und chemisch ähnlich ist die Gruppe der Lanthanide – Elemente, die überwiegend nicht radioaktiv und deshalb deutlich einfacher zu untersuchen sind. Sie können dazu dienen, auch die Chemie der Actiniden zu verstehen. Aber eben doch nicht ganz. Peter Kaden und seine früheren Kollegen vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) konnten erstmalig zeigen, dass es deutliche Unterschiede im Bindungsverhalten der dreiwertigen Actiniden im Vergleich zu den Lanthaniden gibt. Theoretische Über- →

legungen dazu sind bereits zwanzig Jahre alt. Nur mangelte es bislang an eindeutigen experimentellen Ergebnissen, die diese Thesen stützen konnten.

Die Forscher um Peter Kaden bedienen sich der NMR- oder Kernspinresonanz-Spektroskopie, ein Verfahren, das bereits in den Neunzehnhundertvierzigern entwickelt wurde und unter anderem für den Nachweis von Inhaltsstoffen in einer Probe beziehungsweise in der Medizin genutzt wird. Durch ein starkes Magnetfeld werden die Kernspins der zu untersuchenden Elemente ausgerichtet und mittels eines Radiowellenpulses angeregt. Abhängig von der chemischen Umgebung verändert sich das Verhalten der Kernspins, bevor sie schließlich in ihren Ausgangszustand zurückkehren. Dieser Vorgang ist mess- und auswertbar. Die Wissenschaftler interessiert dabei beispielsweise der Einfluss der Actiniden auf die Kernspins von Stickstoff-Atomen in organischen und anorganischen Verbindungen, die als Bindungspartner dienen können. „Wir sehen eine dramatische Verschiebung der Signale der Stickstoffe, die allein durch elektrostatische Wechselwirkungen nicht zu erklären ist“, sagt Peter Kaden. Daher vermuten die Forscher, dass Elektronen zwischen benachbarten Atomen ausgetauscht werden, d. h. dass eine chemische Bindung vorliegt. „Das ist ganz aktuelle Forschung, wir bräuchten jetzt dringend Unterstützung von der Theorie“, betont der Chemiker. „Doch nicht nur die Experimente, sondern auch die theoretischen Berechnungen an Actiniden sind extrem aufwendig.“ Derartige Rechnungen müssten über Jahre laufen und wären unglaublich kostenintensiv.

NACHWEIS: Doktorandin Claudia Wilke wertet NMR-Spektren aus, um die Eigenschaften der radioaktiven Schwermetalle besser zu verstehen und so ihr Verhalten im Kontakt mit organischen Stoffen genauer beschreiben zu können. Foto: Oliver Killig



Vom Kleinen zum Großen

Der Nachweis dieser besonderen Bindungsform in Actiniden-Verbindungen ist fundamental. Die NMR-Spektroskopie hilft dadurch, die Eigenschaften der radioaktiven Schwermetalle zu verstehen und so ihr Verhalten zum Beispiel im Kontakt mit organischen Stoffen genauer zu beschreiben. „Wenn wir die Interaktionen auf molekularer Ebene verstanden haben, können wir damit später belastbare Ausbreitungsrechnungen absichern“, sagt der Helmholtz-Forscher. Voraussesbar wären dann die Reaktionen der radioaktiven Actiniden im Havariefall eines Endlagers – wodurch werden sie mobilisiert, woran binden sie sich und vor allem: Wie können sie wieder immobilisiert werden?

Kompetenzen am Standort stärken

Actiniden sind radioaktiv – und das im Allgemeinen für sehr lange Zeit. Die Alpha-Strahler sind besonders dann gefährlich, wenn sie in den Körper gelangen. Aus diesen Gründen ist es bundesweit nur etwa einer Handvoll Forschungseinrichtungen erlaubt, die radioaktiven Schwermetalle zu untersuchen. „Es sind sehr strenge Sicherheitsvorkehrungen nötig“, sagt Peter Kaden. „Außerdem sind die Substanzen selbst bei kleinsten Mengen, wie wir sie verwenden, sehr teuer, da schon die Aufarbeitung und Reinigung äußerst aufwendig sind.“

Der Chemiker arbeitet erst seit wenigen Monaten in Dresden-Rossendorf. Zuvor war er mehrere Jahre am KIT als Fachmann für die NMR-Spektroskopie an Actiniden-Verbindungen zuständig. Diese Expertise bringt er nun mit ans HZDR. „Die Voraussetzungen hier sind super, es gibt wahnsinnig viele Möglichkeiten. Das HZDR ist äußerst interdisziplinär, verfügt über nahezu alle relevanten Messgeräte und hat für jede Methode etablierte Spezialisten vor Ort.“ Neben Peter Kaden versammelt Institutsdirektor Thorsten Stumpf aktuell noch weitere Actiniden-Experten aus dem In- und Ausland um sich. „Wir wollen die vorhandenen Kompetenzen hier am Standort weiter stärken“, betont er. Das HZDR wird dann eine der wenigen Einrichtungen weltweit sein, an denen vielfältige spektroskopische Methoden Licht ins Dunkel der Actinidenchemie bringen.

PUBLIKATION:

P. Kaden u. a.: „Evidence for covalence in a N-donor complex of americium(III)“, in Dalton Transactions 06/2013 (DOI: 10.1039/c3dt50953b) —

KONTAKT

— Institut für Ressourcenökologie am HZDR
Dr. Peter Kaden
p.kaden@hzdr.de

// Elektronen bei der Arbeit zuschauen, das können Forscher an der TELBE-Anlage des HZDR, deren hochintensiven und schnellen Lichtblitze im Bereich zwischen den Mikrowellen und infraroter Strahlung liegen.

LIEBER PRÄZISE ANSCHUBSEN, STATT KRÄFTIG DRAUFZUHAUEN

_TEXT . Hannes Schlander

Michael Gensch bekommt viel Besuch aus dem Ausland. TELBE heißt sein Vorzeigeprojekt, das Physiker aus aller Welt an das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf zieht. Das Akronym steht für „Terahertz-Anlage am Elektronen-Linearbeschleuniger für Strahlen hoher Brillanz und niedriger Emitanz“. Ein einmaliges Wortungeheuer, hinter dem aber auch eine einmalige Maschine steckt: TELBE ist zwar momentan noch im Testbetrieb, produziert aber schon nicht-sichtbares Licht im Terahertz-Bereich: Die Wellenlängen liegen zwischen 3 Millimetern und 100 Mikrometern. „Das Besondere an TELBE ist aber, dass wir mit einer extrem hohen Wiederholrate sehr intensive Lichtblitze produzieren können“, sagt

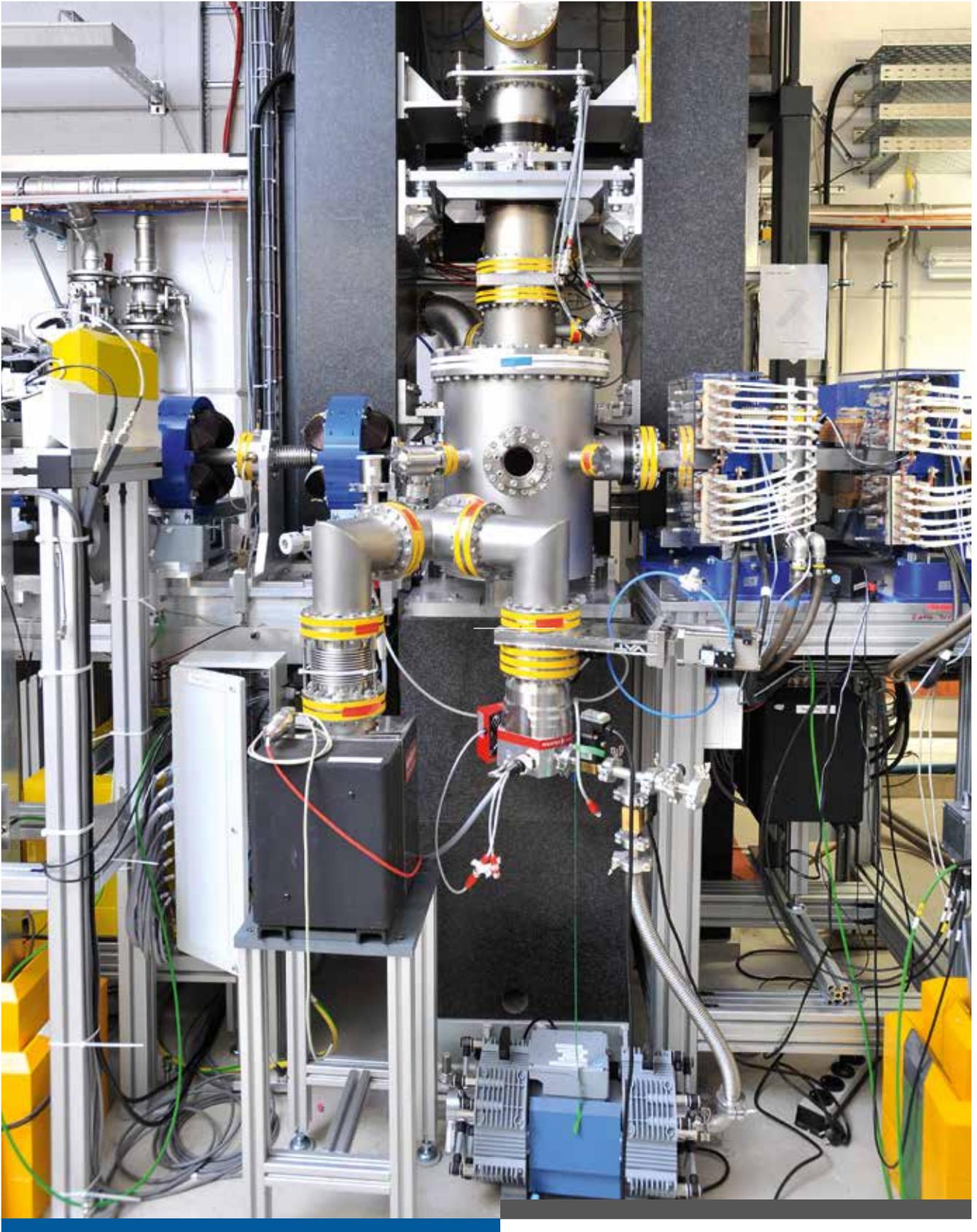
TELBE-Gruppenleiter Gensch: „Andere Terahertz-Quellen schaffen immer nur das eine oder das andere – entweder hohe Lichtintensitäten oder hohe Wiederholraten der Pulse.“ Wie stark sich TELBE von seinen Konkurrenten unterscheidet, zeigt ein Zahlenvergleich: Die Dresdner Anlage erzeugt bis zu 13 Millionen hochintensive Pulse pro Sekunde. Bei anderen Anlagen mit ähnlichen Pulsenergien liegt der Wert in demselben Zeitraum bestenfalls bei wenigen tausend Pulsen.

Woher kommt diese Leistungsfähigkeit, Herr Gensch? „Wir konnten unsere Terahertz-Quelle an einem einzigartigen Linearbeschleuniger bauen, dem ELBE-Beschleuniger am HZDR. Er ist im Dauerstrichbetrieb voll funktionsfähig, das heißt, dass ununterbrochen Elektronenpakete nahezu auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Diese auch mit dem englischen Wort ‚Bunch‘ bezeichneten Elektronenpulse, die vor der TELBE-Anlage auf Längen unter 300 Mikrometer verkürzt werden können, sind die Basis für unsere Terahertz-Strahlung. Und da sie ohne Unterbrechung produziert werden, ermöglicht dies die extrem hohe Wiederholraten unserer Lichtpulse.“ →

TELBE: In diesem Labor am ELBE-Zentrum für Hochleistungs-Strahlenquellen des HZDR werden Experimente mit Terahertz-Strahlung durchgeführt.
Foto: Frank Bierstedt



ATTRAKTIV: Die neue Terahertz-Quelle erweitert wesentlich die Experimentiermöglichkeiten für interessierte Forscher.
Foto: Frank Bierstedt



→

24

25

Womit wir wieder bei der Attraktivität von TELBE für Physiker sind: Auch anderswo werden ähnliche Quellen betrieben, geplant und gebaut. Im US-amerikanischen Stanford etwa: „Die Anlage in Stanford befindet sich an einem Beschleuniger, der mit zwei Kilometern fast hundertmal länger ist als ELBE. Die Kollegen dort halten momentan den Weltrekord, was die Pulsenergie betrifft – allerdings nur bei Wiederholraten von wenigen zehn Hertz“, sagt Gensch: „Das HZDR ist momentan das einzige Zentrum, das die notwendige Beschleunigertechnologie beherrscht, um ähnliche Pulsenergien bei hohen Wiederholraten zu erzeugen.“

Diagnostik mit Terahertz-Strahlen

Das ist aber weder für Michael Gensch noch für das HZDR ein Grund zum Hochmut. Ganz im Gegenteil – Kooperation ist das erklärte Ziel. Und so stehen die Türen offen: „Kollegen aus der ganzen Welt kommen, um bei uns neue Diagnosekonzepte für Elektronenstrahlen in Beschleunigern mit hoher Wiederholrate zu testen. Für die großen, neu geplanten Maschinen, die wie ELBE im Dauerstrichbetrieb funktionieren sollen, muss man exakt wissen, ob sich die Elektronenpulse in der vorberechneten Art und Weise verhalten und wie groß sie sind. Falls etwas nicht stimmt, muss man schnell nachjustieren können. Und genau solche online-diagnostischen Untersuchungen lassen sich mit unserer Terahertz-Strahlung benchmarken.“

Die Entwicklung von Diagnostikmethoden für Elektronenpakete ist also eine wichtige Anwendungsmöglichkeit von TELBE – aber natürlich nicht die einzige: Terahertz-Strahlung ist für viele Disziplinen von der Biologie über die Medizin bis

chirurgisches Instrument. Mit ihm ist es möglich, beispielsweise nur einen ganz bestimmten Freiheitsgrad in einem Material anzuregen – etwa spezielle Spinwellen –, ohne dabei die Elektronentemperatur oder das atomare Gitter zu beeinflussen.

Die Wissenschaftler können aber mit den extrem langen Wellenlängen auch gezielt schwache Kräfte zwischen Molekülen beeinflussen. Etwa die von Wasserstoffbrücken-Bindungen, also den Bindungen, die Wassermoleküle leicht aneinander heften, sodass unter anderem die Oberflächenspannung entsteht. Oder sie können geringfügig die Wechselwirkung zwischen korrelierten, also sich gegenseitig beeinflussenden Elektronen in einem Material manipulieren. Aus den Beobachtungen, die die Forscher machen, wenn sich solche Systeme wieder in ihren Ursprungszustand begeben, ergeben sich dann Rückschlüsse auf die fundamentalen Mechanismen von bisher unverstandenen Prozessen und Phänomenen in den Material- und Lebenswissenschaften.

Moderne Materialien im Lichtstrahl

Derartige Untersuchungen mit einer Kombination aus laserbasierter Terahertz-Strahlung und Messungen am Freie-Elektronen-Laser FELBE des HZDR sowie an TELBE haben Gensch und sein Team mit Partnern vom Institut für Photonische Wissenschaften (Institute of Photonic Sciences – ICFO) in Barcelona durchgeführt und im Sommer 2015 im Fachmagazin „Nature Communications“ publiziert. Untersuchungsobjekt war ein Festkörper mit der chemischen Formel $\text{La}_0.5\text{Sr}_{1.5}\text{MnO}_4$ aus der Klasse der Manganoxide. Das Material gehört zu einer Familie von Materialien, die Physiker

Noch befindet sich die Terahertz-Quelle TELBE im Probelauf – Mitte 2016 soll sie dann in den regulären Nutzerbetrieb gehen.

zur Materialforschung von großem Interesse. „Ein Vorteil ist, dass dieses langwellige Licht für den Menschen im Gegensatz zu anderen Strahlungsarten ungefährlich ist. Deshalb findet es Anwendung in sogenannten Bodyscannern“, sagt Gensch: „Man kann damit aber auch dynamische Prozesse in Materialsystemen gezielt beeinflussen – viel präziser und selektiver, als das mit kürzeren Wellenlängen möglich ist.“

Gensch vergleicht herkömmliche Verfahren, die Licht aus dem Bereich des Ultravioletten bis ins Infrarote einsetzen, mit einem Hammer, mit dem man auf ein Untersuchungsobjekt schlägt, um zu beobachten, wie (und ob) es sich anschließend wieder in den Ursprungszustand zurückbegibt. „Dabei wird das Material auf vielen Energie- und Freiheitsgraden gleichzeitig angeregt, was die Analyse der experimentellen Beobachtungen sehr schwierig oder oft auch unmöglich macht.“ Terahertz-Pulse sind im Vergleich dazu eher ein präzises,

als korrelierte Elektronensysteme bezeichnen: Zwischen den Elektronen finden hier spezielle lokale Wechselwirkungen statt, die den Materialien charakteristische Eigenschaften verleihen. Das kann beispielsweise die Fähigkeit zur Hochtemperatur-Supraleitung sein. Oder – wie im Fall des untersuchten Manganoxids – die Möglichkeit, so genannte orbitale Domänen zu bilden. „Orbitale Domänen sind bisher eher ein akademisches Thema ohne direkte technologische Anwendungen“, erläutert Michael Gensch: „Wir wissen, dass es diese spezielle Konfiguration von Elektronenzuständen gibt. Wir haben bisher aber nur eine vage Vorstellung, wie sie entsteht und ob und wie sie durch Lichtpulse beeinflusst oder sogar kontrolliert werden kann.“

Das ist natürlich ein Ansporn, der Sache auf den Grund zu gehen, insbesondere, wenn man eine neue Untersuchungsmethode daran erproben kann. „Wir konnten feststellen, dass →



TEAMARBEIT: Die neue Forschergruppe „Hochfeld-Terahertz getriebene Phänomene“ am HZDR-Institut für Strahlenphysik um Leiter Michael Gensch besteht aus dem Physiker Sergey Kovalev und den beiden Doktoranden Bertram Green und Nilesch Awari (v.r.n.l.).

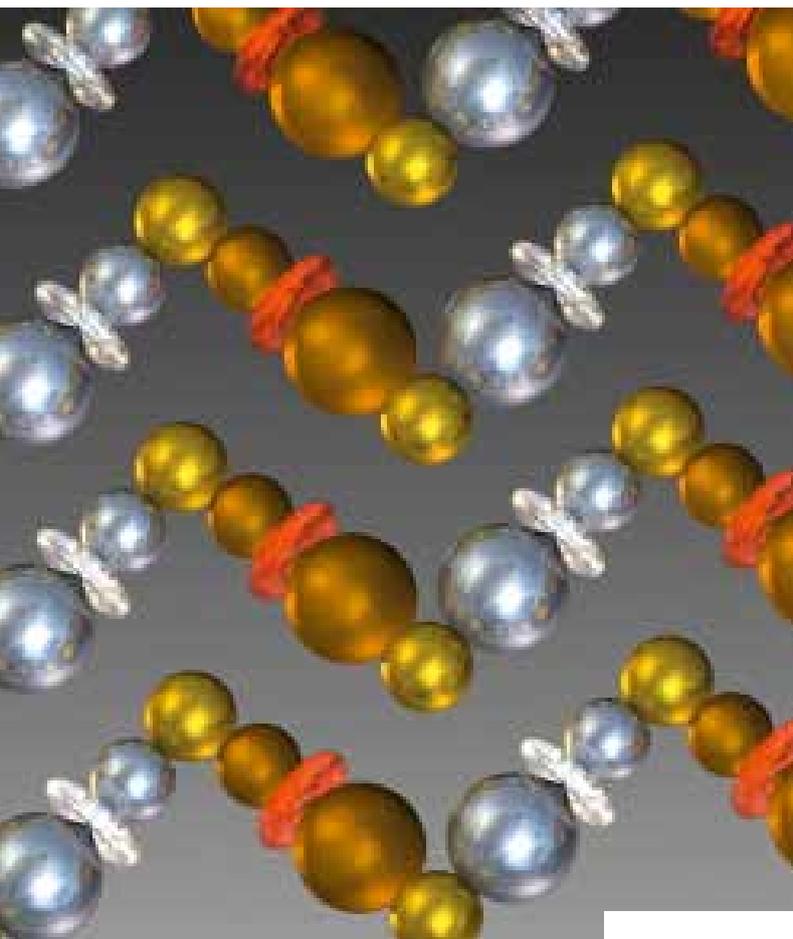
sich die orbitalen Domänen unter Einfluss von Terahertz-Strahlung auf eine bestimmte Art und Weise ausrichten. Die Tatsache, dass wir die Polarisation der Strahlung ausnutzen können, um die Domänen in eine Richtung zu drehen, gibt uns gute Hinweise darauf, welche quantenphysikalischen Wechselwirkungen dafür verantwortlich sind.“

Für ihre Untersuchungen konnten die Physiker auf das breit gefächerte Methodenspektrum am ELBE-Zentrum für Hochleistungs-Strahlenquellen des HZDR zurückgreifen. Darunter sind mehrere Quellen für Terahertz-Strahlung, wie Gensch erläutert: „TELBE ist noch in der Aufbau- und Kommissionierungsphase, in der die Maschine für den regulären Forschungsbetrieb fit gemacht wird. Daher konnten wir sie

nur eingeschränkt nutzen. Demnächst werden wir die orbitalen Domänen mit TELBE aber noch genauer unter die Lupe nehmen. Von der extrem hohen Zeitgenauigkeit der Pulse erwarten wir uns nun auch eine exzellente zeitliche Auflösung der Dynamik des Ausrichtungsprozesses, die uns sehr interessiert.“ Mit dieser Erwartung können in naher Zukunft auch Wissenschaftler aus aller Welt nach Rossendorf kommen – wenn TELBE Mitte 2016 in den regulären Nutzerbetrieb geht.

PUBLIKATION:

T. A. Miller, R. W. Chhajlany, L. Tagliacozzo, B. Green, S. Kovalev, D. Prabhakaran, M. Lewenstein, M. Gensch, S. Wall: "Terahertz field control of in-plane orbital order in $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{MnO}_4$ ", in Nature Communications 6, 2015 (DOI: 10.1038/ncomms9175) ↪



ELEKTRONENZUSTAND: Orbitale Ordnung in einem Festkörper aus der Klasse der Manganoxide. Bild: Institute of Photonic Sciences in Barcelona (ICFO)

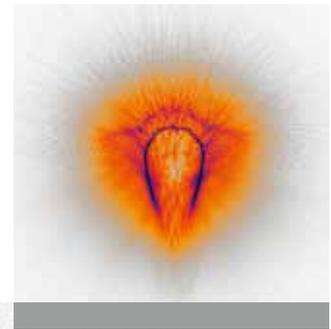
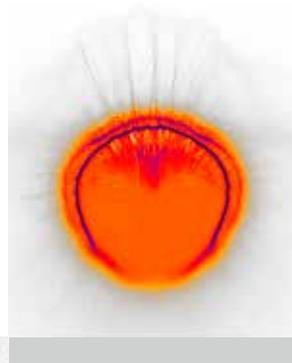
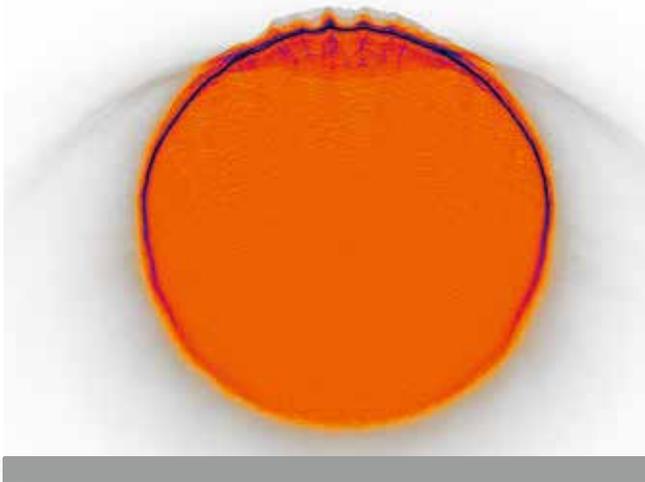
KONTAKT

„Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung sowie für Strahlenphysik am HZDR
Dr. Michael Gensch
m.gensch@hzdr.de

// Superschnell, skalierbar und gratis – was als „Jugend forscht“-Projekt begann, ist heute einer der leistungsfähigsten Programmcodes für Berechnungen in der Astro- und Plasmaphysik.

SCHNELL RECHNEN FÜR DIE PLASMA-ZEITLUPE

_TEXT . Christian Döring



IN AKTION: Ein Laserpuls trifft auf ein kugelförmiges Target. Es entsteht ein Plasma aus Elektronen und Ionen. Wie bei einer Explosion breitet sich das Plasma aus und die Elektronen fliegen davon, gefolgt von den Ionen.

Ein Super-Laser schießt, eine Metallfolie verpufft und ein wenig Dampf steigt auf – so simpel ließe sich der Ablauf einer Laser-Teilchenbeschleunigung beschreiben. Doch der Blick auf die physikalischen Details ist weitaus beeindruckender: Die hunderte Billionen Watt starken Laser am Helmholtz-Zentrum in Dresden katapultieren Billiarden von Elektronen nach vorn und kreieren damit eine Art heiße Wolke aus geladenen Teilchen. In einem Zeitraum, in dem ein Elektron um seinen Atomkern fliegt, gerät alles aus dem Gleichgewicht – ein sogenanntes Hochenergie-Plasma entsteht. „Für uns Physiker ist das ein sehr interessanter Zustand der Materie. Die Wechselwirkungen zwischen den Elektronen und Ionen sind so unglaublich komplex, dass unsere Grundlagenforschung zunächst exakte, überprüfbare Computer-Modelle benötigt“, erklärt Michael Busmann, Leiter der Nachwuchsgruppe für computergestützte Strahlenphysik am HZDR.

Um solche Modelle berechnen zu können, haben die Dresdner Nachwuchsforscher „PIConGPU“ entwickelt. Dieser spezielle Simulations-Code ist so leistungsfähig, dass er selbst den amerikanischen Supercomputer „Titan“ ins Schwitzen bringt. Mit seinen 18.688 Grafik-Recheneinheiten (GPU) ist Titan nicht nur der derzeit zweitschnellste Rechner der Welt,

sondern auch besonders gut geeignet für solche Aufgaben: „GPUs sind in der Lage, die Bewegung unglaublich vieler Teilchen parallel zu berechnen – genau darauf kommt es an, wenn extrem komplexe Vorgänge der Laser-Teilchenbeschleunigung in sehr kurzen Zeiträumen modelliert werden sollen“, sagt Michael Busmann.

Ein Elektron unter 100 Milliarden Teilchen verfolgen

Die Dresdner Wissenschaftler lassen demnach ihre Prozeduren nicht wie sonst üblich von normalen Hauptprozessoren durchführen, sondern nutzen Grafikkarten. Diese lösen mit der „Particle-in-Cell“-Methode (PIC) Differentialgleichungen, die die Ausbreitung des Lichts mit der Bewegung der Teilchen im Plasma verbinden. Bei einem Rekordwert von 7,1 Billionen Berechnungen pro Sekunde (PFLOPs/s) werden so physikalische 3D-Modelle vom ultraschnellen Teilchen-Chaos im Plasma erstellt. Der Code kann also wie eine Zeitlupe eingesetzt werden: Selbst unter 100 Milliarden Teilchen können die Forscher noch ein individuelles Elektron verfolgen und seinen Einfluss auf das Gesamtsystem berechnen.

Der Clou ist die starke Skalierbarkeit des Codes. Das heißt, die Rechenleistung des Codes steigt proportional zur Anzahl der eingesetzten Grafikkarten. Keine Selbstverständlichkeit, wie Heiko Baur, Diplomand in Busmanns Nachwuchsgruppe, betont: „Schon die kleinsten ungenutzten Wartezeiten bei der Datenverarbeitung führen dazu, dass ein Großteil der GPU-Leistung verpufft.“ Für eine maximale Leistung müssen die Grafikprozessoren also möglichst unabhängig voneinander arbeiten. Da tausende Karten gemeinsam an den Modellen →

rechnen, ergab sich somit eine Herausforderung: Wie kompensiert man die langsame Daten-Weitergabe zwischen den einzelnen Grafikkarten? Die simple, aber effektive Lösung: Schon während der Übertragung zu anderen Karten beginnen neue Berechnungen. So wird die Wartezeit sinnvoll genutzt und alle Grafikkarten arbeiten parallel.

Flexibilität des Codes ermöglicht Einsatz im neuen Helmholtz-Extremlabor in Hamburg

Heiko Burau ist zugleich auch der Erfinder von PIConGPU: Nach einer Auszeichnung beim Schüler-Wettbewerb „Jugend forscht“ erhielt er 2009 die Möglichkeit, zu seinem Thema „Grafikkarten-Programmierung“ am HZDR zu forschen. Bereits nach sechs Wochen hatte der damals 17-Jährige mit anderen jungen Forschern der Gruppe die erste Version des Codes für eine Einzel-GPU programmiert. Nach und nach kamen weitere Studenten hinzu und bauten PIConGPU schließlich zu einem der heute leistungsfähigsten Codes der

TITAN: Der derzeit zweitschnellste Computer der Welt, der Supercomputer „Titan“, steht am Oak Ridge National Laboratory im US-Bundesstaat Tennessee. Foto: ORNL | U.S. Dept. of Energy



Laser-Plasmaphysik aus. Ob kosmische Jets in der Astrophysik, die Untersuchung von lasergetriebener Fusion oder Laser-Teilchenbeschleunigung – mittlerweile können damit fast alle Berechnungen durchgeführt werden, in denen Hochenergie-Plasmen eine Rolle spielen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse könnten zum Beispiel helfen, Beschleuniger-Anlagen für die Protonenstrahl-Therapie gegen Krebs kompakter und günstiger zu machen.

Dank seiner enormen Flexibilität soll der Code künftig auch für Atomphysik-Modelle an der neuen Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF) am Röntgenlaser European XFEL in Hamburg zum Einsatz kommen. Dabei werden noch deutlich mehr Parameter bis hinunter zur quantenphysikalischen Ebene einberechnet. Das macht den Code zwar langsamer, ermöglicht zugleich aber Simulationen, die zuvor noch undenkbar waren. Bussmanns Traum ist es, auch noch

die Analyse der experimentellen Daten anzuschließen: „Dann wäre der Weg vom Modell zur Überprüfung im Experiment und voran zum verbesserten Modell mit ein und demselben Code möglich.“

Der Gruppenleiter ist stolz, dass sich das Vertrauen in die Fähigkeiten seiner Nachwuchsforscher auszahlt hat: „Nicht selten wurde mir auf Konferenzen skeptisch entgegnet: ‚Mit Studenten? Das klappt doch niemals.‘ Und es hat doch geklappt – nicht trotz, sondern wegen der Studenten.“ Diese Förderung von ausgezeichnetem Nachwuchs setzt sich bis heute fort: Im September arbeitete mit Daniel Grassinger abermals ein Sieger des „Jugend forscht“-Wettbewerbs als Praktikant in der Gruppe. Er entwickelte ein neues Verfahren, um Daten aus verschiedenen Codes im gleichen offenen Format, OpenPMD, auslesen zu können. Dank seiner Arbeit ist es nun erstmals möglich, die Vorhersagekraft des HZDR-Codes mit der anderer Plasma-Codes zu vergleichen und sie dadurch zu verbessern.

Diese Optimierung ist auch ausdrücklich von externen Forschern erwünscht, denn bei PIConGPU handelt es sich um einen Open-Source-Code, der von jedem Wissenschaftler kostenlos genutzt und für die eigenen Modelle angepasst werden kann. Die HZDR-Forscher sind überzeugt, dass gegenseitiger Wissensaustausch die Entwicklung noch weiter vorantreibt, weshalb sie offensiv auffordern: „Bitte klauen Sie unseren Code!“

PUBLIKATION:

M. Bussmann, H. Burau, T. Cowan, A. Debus, A. Huebl, G. Juckeland, T. Kluge, W.E. Nagel, R. Pausch, F. Schmitt, U. Schramm, J. Schuchart, R. Widera: “Radiative signatures of the relativistic Kelvin-Helmholtz Instability”, in Proceedings SC13: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis 2013 (DOI: 10.1145/2503210.2504564) —

KONTAKT

_Nachwuchsgruppe Computergestützte Strahlenphysik am HZDR
Dr. Michael Bussmann
m.bussmann@hzdr.de

// HZDR-Doktorand Oliver Zeidler hat gemeinsam mit der Firma Freiburger Compound Materials und der TU Bergakademie Freiberg ein Verfahren entwickelt, das das Recycling von Gallium bei der Herstellung elektronischer Bauteile um bis zu 20 Prozent steigern konnte.

RECYCLING – DIE NIERE ALS VORBILD

_TEXT . Tina Schulz

DIFFUSION: Wasser trifft auf die Membran, die Harze quellen auf, die Poren werden geschlossen. Arsensäure passiert die Membran ungehindert und wird so vom Gallium getrennt (Aufnahme mit einem Aufricht-Mikroskop in 50-facher Vergrößerung).

Obwohl heutzutage die meisten Computerchips und Solarzellen aus Silizium bestehen, gibt es ein Halbleitermaterial, das Elektronen schneller transportieren und Sonnenlicht viel effizienter in Strom umwandeln kann: Galliumarsenid. Die Verbindung aus Gallium und Arsen schlägt Silizium sowohl bei der Schaltgeschwindigkeit für Transistoren als auch bei der Energieausbeute von Solarzellen. Darüber hinaus ist der Werkstoff unverzichtbar, wenn es um den Bau von Leuchtdioden geht oder um Laser, die Informationen durch Glasfasernetze leiten.

Weil sich das Galliumarsenid so großer Beliebtheit erfreut, wächst der Bedarf an Gallium rasant. Doch leider zählt das silberweiße Material mit dem typisch blauen Glanz zu den „seltenen Metallen“. Nicht etwa, weil es besonders rar ist – in der Erdkruste ist Gallium ähnlich häufig wie Blei anzutreffen –, sondern weil das Metall nur in einer sehr geringen Konzentration in den Erzen vorkommt. In vielen Fällen steht deshalb der technische Aufwand, der für die Anreicherung betrieben werden muss, einer breiteren Gewinnung im Wege.

Aus diesem Grund, und weil das Metall kaum ersetzbar ist, läuft die Suche nach kostengünstigen Recyclingmethoden mittlerweile auf Hochtouren. Denn alleine bei der Herstellung von Galliumarsenid-Wafern, die als Ausgangsmaterial für die Chipproduktion dienen, sind etwa 60 Prozent des eingesetz-

ten Galliums Abfall. Dabei wird der Werkstoff zu zylindrischen Kristallen gezüchtet und über einen mechanischen Trennprozess in millimeterdünne Scheiben geschnitten. Heute findet bereits fast die Hälfte des Abfalls, wie beispielsweise abgesägte Kristall-Enden oder defekte Scheiben, problemlos seinen Weg zurück in die Produktion. Schwieriger sieht es allerdings aus, wenn die Wafer-Oberflächen mit Wasser gereinigt oder mit einer ätzenden Beizlösung poliert werden. Dann landet das teure Metall in verschiedenen Abwässern, die auf unterschiedliche Art wiederaufbereitet werden müssen.

Giftiges Arsin

Besonders aufwendig ist die Aufbereitung von Beizlösungen. Das Metall lässt sich zwar durch den Einsatz von Elektrizität – also durch Elektrolyse – aus solchen Abwässern anreichern. Dafür ist allerdings eine Vorbehandlung nötig. Ohne diese würde durch die Elektrolyse ein extrem giftiges Gas entstehen. Die Rede ist von Arsin, einer Verbindung aus Arsen und Wasserstoff, die die Nervenrezeptoren blockiert und den Sauerstoff-Transport im Körper verhindert. Will man das giftige Übel an seiner chemischen Wurzel packen, dann gilt es aber, einen ganz anderen Stoff aus dem Verkehr zu ziehen: Arsensäure. Die Verbindung, die zusätzlich zum Wasserstoff auch Sauerstoff-Atome besitzt, ist der Ausgangsstoff für Arsin. Es entsteht, wenn sich Galliumarsenid in der ätzenden Beize löst. Chemiker gehen das Problem an, indem sie den pH-Wert in den Beizabwässern unter Zugabe von Kalkmilch – einer calciumhaltigen Suspension – erhöhen. Auf diese Weise sinkt die →

Löslichkeit der Calcium-Ionen ebenso wie die von Arsensäure. Mit dem Feststoff, der dabei entsteht, kann Arsen gefahrlos aus der Flüssigkeit verbannt werden. Der Nachteil der Methode ist, dass sich das Volumen der Flüssigkeit durch die Zugabe der für die Behandlung nötigen Chemikalien deutlich vergrößert. Damit sinkt die Konzentration von Gallium in der Lösung so weit, dass eine anschließende Anreicherung unwirtschaftlich ist. Um die Arsensäure auszuschalten und dadurch Gallium effektiver recyceln zu können, bedarf es deshalb einer ganz anderen Lösung.

Eine „ausgezeichnete“ Idee

Für die Idee gab es im Dezember 2014 den mit 10.000 Euro dotierten Deutschen Rohstoffeffizienz-Preis. Effizient an der Forschung ist vor allem eines: Unterschiedliche Arten von Produktionsabwässern können nun in einem einzigen Schritt und ohne den aufwendigen Einsatz von Chemikalien aus dem Abwasser entfernt werden. Die Recyclingquote für Galliumabfälle lässt sich damit von bisher 45 auf bis zu 65 Prozent verbessern. Der HZDR-Ingenieur Oliver Zeidler, der seit 2012 am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie promoviert, hat dafür ein spezielles Dialyseverfahren entwickelt. Entstanden ist es in Zusammenarbeit mit der Firma Freiburger Compound Materials (FCM) und der TU Bergakademie Freiberg. Der großgewachsene Leipziger zieht als Vergleich ein ganz bestimmtes Organ heran: „Ähnlich wie eine Niere die Harnsäure über eine Membran aus dem Blut filtert, kann Arsensäure aus den flüssigen Rückständen entfernt werden.“

Das Verfahren funktioniert nach dem einfachen Prinzip der Diffusion: Teilchen tendieren dazu, sich gleichmäßig im Raum zu verteilen. Ist ihre Konzentration an einem Ort höher als an einem anderen, setzen sie sich in Bewegung, um diesen Unterschied auszugleichen. Das geht ohne Energiezufuhr und ist deshalb besonders sparsam. Doch wie gelingt es nun, die Arsensäure vom Gallium zu trennen? Die Lösung ist, wie bei der Niere, eine selektive Membran, die nur bestimmte Stoffe

aus der Ausgangslösung filtert. Dabei muss die Membran besonders eines sein, nämlich säureresistent. Denn sollen alle Abwässer gleichzeitig behandelt werden, ist es notwendig, die Rückstände unter Zugabe von Königswasser – einer extrem sauren, chlorhaltigen Säuremischung – aufzulösen.

Gegensätze ziehen sich an

Für die Dialyseanlage verwendet Oliver Zeidler spezielle ionenselektive Membranen mit einer Schicht aus positiv geladenen, funktionellen Gruppen. Folglich können nur negativ geladene Ionen wie die Arsensäure die Membran ungehindert passieren. Und die positiv geladenen Gallium-Ionen? Die verwandeln sich durch das Königswasser in negativ geladene Galliumchlorid-Komplexe. Der Trick dabei ist, dass solche Komplexe nicht besonders stabil sind. Nimmt die Konzentration der Chlor-Verbindungen in der Umgebung ab, dann zerfallen sie und setzen die positiv geladenen Gallium-Ionen frei. Das passiert genau in dem Moment, in dem die Komplexe aus der chlorhaltigen Ausgangslösung durch die Membran in die chlorfreie Waschlösung wandern. Gallium und Arsensäure werden auf diese Weise voneinander getrennt und die Bildung des giftigen Gases Arsin verhindert.

Mithilfe von Transportmodellen, die die Prozesse an den Membranen vorhersagen können, ist es dem Werkstoffwissenschaftler gelungen, seine Ergebnisse an einer Testanlage zu demonstrieren. Das Verfahren ist vielversprechend: Einmal in die Praxis umgesetzt, könnte es gelingen, jährlich bis zu zweieinhalb Tonnen an Gallium mit einem Marktwert von etwa einer halben Million Euro in der Wafer-Herstellung einzusparen. ─

KONTAKT

— Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie am HZDR
Prof. Christiane Scharf | Oliver Zeidler
c.scharf@hzdr.de | o.zeidler@hzdr.de



DIALYSE: 2014 erhielt die Recyclingmethode den „Deutschen Rohstoffeffizienz-Preis“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Foto: BGR | Uppenkamp

// HZDR-Gastwissenschaftlerin Jenny Feige ist es gelungen, mit Tiefsee-Sedimenten weit zurückliegende Stern-Explosionen zu detektieren. Mit dem populärwissenschaftlichen Artikel „Astronomie unter dem Meer“ gewann sie den mit 5.000 Euro dotierten Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft.

ASTRONOMIE UNTER DEM MEER

Text . Tina Schulz

Dass man bei der Astronomie nicht immer nur in den Himmel, sondern auch unter die Meeresoberfläche blicken sollte, bewies Jenny Feige in ihrer Doktorarbeit an der Universität Wien. Dort untersuchte die 33-jährige Brandenburgerin spezielle langlebige Radionuklide in zwei bis drei Millionen Jahre alten Sedimentschichten aus dem Indischen Ozean. Sie entstehen durch Kernreaktionen, die bei Supernova-Explosionen im All stattfinden. Ereignet sich so eine kosmische Explosion in der Nähe unseres Sonnensystems, dann fallen die Radionuklide mit dem Sternenstaub auf die Erde und reichern sich in Sedimenten an. „Die Tiefsee hat eine Art geologisches Langzeitgedächtnis, das die Überbleibsel längst vergangener Stern-Explosionen speichert“, beschreibt die Astrophysikerin.

Und tatsächlich konnte Jenny Feige das ^{60}Fe in 1,7 bis 3,2 Millionen Jahre alten Sedimentschichten sicher nachweisen. Damit widerlegte sie auch die bisherige Annahme, dass es in der Nähe unseres Sonnensystems nur eine Supernova gegeben hat. „Vielmehr waren es mehrere, sich zeitlich überlagernde Explosionen“, so Feige. Für ihre Doktorarbeit erhielt sie den diesjährigen Promotionspreis der Fachgruppe Nuklearchemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker.

In ihrem Artikel „Astronomie unter dem Meer“ vermittelt Feige auf spannende Weise Kenntnisse auf einem Forschungsgebiet, das in der Öffentlichkeit bislang nahezu unbekannt war: der Tiefseeastronomie. Für den Beitrag wurde sie am 8. Oktober

„Das Eisen-Isotop ^{60}Fe entsteht bei Temperaturen zwischen 500 Millionen und 2 Milliarden Grad Celsius – Bedingungen, die nicht einmal im Inneren unserer Sonne herrschen.“

Ihre Proben untersuchte Jenny Feige mithilfe der Beschleuniger-Massenspektrometrie – einer Methode, die einzelne Atome detektiert – in Wien, an der Australian National University in Canberra und am HZDR. Dabei wies sie in den Sedimenten die Existenz des Eisen-Isotops ^{60}Fe nach, für das es auf der Erde keine Quelle gibt. Es entsteht nur kurz vor und während einer Supernova. In Dresden verbrachte Jenny Feige insgesamt sechs Monate unter der Leitung der Nuklearchemikerin Silke Merchel. Hier nutzte sie vor allem die chemischen Labore zur Vorbereitung der Proben und die Beschleunigeranlage DREAMS (DREsdn Accelerator Mass Spectrometry). „Für eine genaue Altersbestimmung ist die Detektion von ^{60}Fe alleine nicht geeignet. Deshalb hat Jenny Feige bei uns das Beryllium-Isotop ^{10}Be in den Proben gemessen“, erklärt Merchel. Dieses entsteht in der Erdatmosphäre und gelangt nach und nach mit dem Niederschlag auf die Erde, wo es dann zerfällt. „Da jede neue Sedimentschicht mehr ^{10}Be -Atome besitzt als die darunterliegenden Schichten, in denen der Zerfall des Isotops schon vorangeschritten ist, können wir das Alter der Sedimente ermitteln.“

2015 mit dem Klaus Tschira Preis in der Kategorie Physik ausgezeichnet. Seit 1997 vergibt die gleichnamige Stiftung den Preis an Nachwuchswissenschaftler, die ihre Ergebnisse in besonders gelungenen Artikeln präsentieren.

PUBLIKATION:

J. Feige u. a.: „AMS measurements of cosmogenic and supernova-ejected radionuclides in deep-sea sediment cores“, in European Physical Journal Web of Conferences 2013 (DOI: 10.1051/epjconf/20136303003) [↵](#)

KONTAKT

— Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie am HZDR
Dr. Silke Merchel
s.merchel@hzdr.de

— Zentrum für Astronomie und Astrophysik an der TU Berlin
Dr. Jenny Feige
feige@astro.physik.tu-berlin.de

↗ www-astro.physik.tu-berlin.de/

↗ www.klaus-tschira-preis.info



ZU GAST: Die Astrophysikerin Jenny Feige nutzte für ihre Sedimentproben das Beschleuniger-Massenspektrometer am HZDR. Foto: Klaus Tschira Stiftung gGmbH | Dietmar Gust

// Seit September ist Markus Reuter neuer Co-Direktor am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF). Seine Vision: Eine intelligente Kreislaufwirtschaft, die alle Glieder der Rohstoffkette material- und energieeffizient miteinander verbindet.

BRÜCKENBAUER IN DER ROHSTOFFWELT

Text . Tina Schulz

Die Glühlampe hat ausgedient, denn LED-Lampen gelten als energieeffizienter und langlebiger. Doch geht eine LED zu früh kaputt, dann sieht es mit der Ökobilanz schlecht aus. Über 40 verschiedene Elemente braucht es für die Produktion eines solchen Leuchtkörpers. Einige der darin enthaltenen Metalle stuft die Europäische Kommission im Jahr 2014 sogar als sogenannte „kritische Rohstoffe“ ein – also als wirtschaftlich wichtige Rohstoffe, die einem hohen Versorgungsrisiko unterliegen. Darum sind Hersteller zunehmend auf Nachschub aus ausgedienten Hightech-Produkten angewiesen. „Die Notwendigkeit für die Wiederverwertung wächst, doch können Geräte mit immer komplexeren Zusammensetzungen nur schwer recycelt werden“, gibt Markus Reuter zu bedenken.

Der neue HIF-Direktor vergleicht das moderne Metallrecycling gerne damit, eine Tasse Kaffee wieder zurück in ihre Bestandteile zu zerlegen: in sauberes Wasser, Kaffeepulver, Zucker und Milch. Was dem menschlichen Organismus scheinbar mühelos gelingt, ist für das Recycling eine Mammutaufgabe. Die Herausforderung besteht vor allem darin, die verschiede-

nen Trenn- und Rückgewinnungsverfahren, die sich aus den unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften und Konzentrationen der Inhaltsstoffe ergeben, ökonomisch und ökologisch effizient zu kombinieren. „Erst dann ist Recycling überhaupt sinnvoll“, betont Reuter.

Von Südafrika nach Deutschland

Die Suche nach neuen Recyclingkonzepten begleitet den gebürtigen Südafrikaner mit deutschen Wurzeln schon seit vielen Jahren. Als Chemie-Verfahrenstechniker kann Markus Reuter auf eine lange Karriere in der Wissenschaft und Industrie zurückblicken. Auf den Gebieten Recycling, Metallurgie, Prozess- und Systemmodellierung sowie -optimierung hat er als Professor seit 1996 in fünf Ländern gelehrt: in den Niederlanden, Südafrika sowie auch heute noch in Australien, China und Finnland. Die Universität Lüttich in Belgien hat ihm gar die Ehrendoktorwürde verliehen. Seine Laufbahn in der Industrie begann 1984 in der Anglo American Corporation, einem weltweit agierenden Konzern für Bergbau und Rohstoffverarbeitung. Danach arbeitete er als Manager in der Entwicklung von Steuersystemen für Schmelzöfen bei Mintek, einer südafrikanischen Einrichtung für Industrieforschung im Bereich Aufbereitung und Metallgewinnung. Bis zu seiner Berufung an das zum HZDR gehörende Helmholtz-Institut war Reuter außerdem als Technologiemanager fast neun Jahre lang bei Outotec tätig. Das finnische Unternehmen ist der Weltmarktführer auf dem Gebiet des Anlagenbaus für die Aufbereitung und Metallurgie.



DER NEUE: Markus Reuter ist jetzt Co-Direktor des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie.

„Um die Effizienz einer LED wirklich bemes- sen zu können, sollte nicht nur ihr Strom- verbrauch, sondern auch der Energie- und Rohstoffeinsatz über den gesamten Lebenszyklus hinweg betrachtet werden“, erklärt Reuter. Sein Ziel ist es, alle Glieder der Rohstoffkette von der Gewinnung der Rohstoffe über die Herstellung der Güter bis hin zur Rückgewinnung der Elemente zu einem Netzwerk zusammenzuschalten und nahezu in Echtzeit ressourcen- und →

energieschonend zu optimieren. Für die Produktion und das Recycling einer LED heißt das, dass Maschinen und Werkstücke mithilfe von Kleinstcomputern, Sensoren sowie mit leistungsfähigen Simulations- und Monitoring-Werkzeugen permanent Informationen austauschen. Reuter nennt dieses Konzept „Internet of Metallurgical Things“ der Kreislaufwirtschaft.

Der richtige Fang

Um seine Forschung zur Kreislaufwirtschaft 4.0 vorantreiben zu können, wechselte der Manager im September von der Industrie an das Helmholtz-Institut nach Freiberg. Gemeinsam mit seinen neuen Kollegen hat er nun die Möglichkeit, Themen entlang der gesamten Rohstoffkette zu bearbeiten. Der Geowissenschaftler und HIF-Gründungsdirektor Jens Gutzmer ist sich sicher: „Das Wissen, das Markus Reuter über viele Jahre sammeln konnte, wird einen wertvollen Beitrag für die Entwicklung innovativer Ressourcetechnologien leisten. Mit seiner Unterstützung können wir das HIF als international führendes Forschungsinstitut fest etablieren.“

Darüber hinaus wird Reuter am Forschungszentrum eine wichtige Position als Brückenbauer zwischen den Disziplinen einnehmen: einerseits zwischen den Abteilungen am HIF und andererseits zu den energie- und materialrelevanten Forschungsbereichen in den anderen HZDR-Instituten. Der 56-Jährige wird zudem als Honorarprofessor an der TU Bergakademie Freiberg, dem wichtigsten Kooperationspartner des HIF, lehren. So hat er die Möglichkeit, Doktoranden zu betreuen und den Nachwuchs in der Rohstoffforschung zu fördern.

PUBLIKATION:

M. Reuter (Leitautor) u. a.: „Metal recycling: Opportunities, limits, infrastructure. A report of the working group on the global metal flows to the International Resource Panel“, UNEP (2013) →

KONTAKT

_Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcetechnologie am HZDR
Prof. Markus Reuter
m.reuter@hzdr.de

Unterstützung aus Down Under

Für einen Forschungsaufenthalt am HZDR-Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung hat sich im Sommer dieses Jahres Leone Spiccia auf den weiten Weg von Australien nach Dresden gemacht. Der Wissenschaftler der Monash University Melbourne ist einer Einladung gefolgt, die er 2014 bei der Verleihung eines „Helmholtz International Fellow Award“ erhalten hat. Diese mit 20.000 Euro dotierte Auszeichnung

vergift die Helmholtz-Gemeinschaft an Experten aus dem Ausland für herausragende Arbeiten auf den Forschungsfeldern der Organisation – in diesem Fall für Spiccias Beiträge zum Bereich Gesundheit.

Vorgeschlagen hatten den Australier das Helmholtz-Zentrum Berlin und das HZDR. Die Dresdner Wissenschaftler arbeiten bereits seit 2006 eng mit Spiccias Gruppe zusammen. So untersucht der australische Chemiker mit dem Leiter des Helmholtz Virtuellen Instituts NanoTracking, Holger Stephan, beispielsweise die Nutzung von Nanomaterialien für die Diagnose und Therapie von Krebserkrankungen.



AUSTAUSCH: Seit Jahren arbeiten Leone Spiccia (rechts) und Holger Stephan zusammen.

Ein weiterer Schritt hin zur klinischen Anwendung

Für seine Doktorarbeit am Nationalen Zentrum für Strahlenforschung in der Onkologie – OncoRay und am HZDR-Institut für Strahlenphysik erhielt Stephan Helmbrecht im Oktober 2015 den Hanns-Langendorff-Preis. Der Physiker konnte für eine Messmethode, mit der sich die Reichweite von Protonen- und

Ionenstrahlen bestimmen lässt, die Datenverarbeitung für die klinische Anwendung optimieren.

Partikelstrahlen könnten den Kampf gegen Krebs wesentlich verbessern, da sie die erkrankten Zellen gezielt schädigen, während das umliegende Gewebe weitestgehend geschont wird. Um die Treffsicherheit zu gewährleisten, muss die Bestrahlung aber genau geplant und kontrolliert werden. Stephan Helmbrecht hat in seiner Dissertation verschiedene Verfahren entwickelt, um möglichst einfach die Genauigkeit der Bestrahlung aus den gemessenen Daten bestimmen zu können. Für diese Leistung hat ihm die Hanns-Langendorff-Stiftung die gleichnamige Auszeichnung, die mit 1.500 Euro dotiert ist, verliehen. Sie geht auf den deutschen Radiologen und Biologen Hanns Langendorff (1901-1974) zurück.



PREISTRÄGER: Stephan Helmbrecht wurde für seine Doktorarbeit ausgezeichnet.

➤ <http://langendorff-stiftung.de>

WISSENSWERT – NACHRICHTEN RUND UM DAS HZDR

HIGHTECH-ROHSTOFFE FÜR DIE WIRTSCHAFT

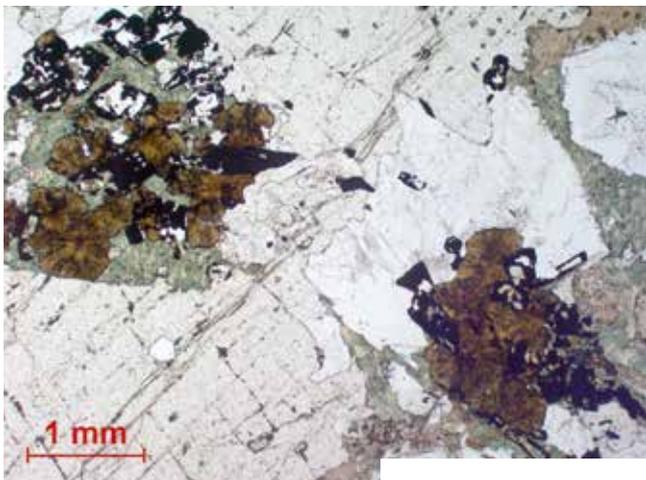
Das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) koordiniert seit Mai 2015 vier Forschungsprojekte, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit insgesamt 5,5 Millionen Euro unterstützt. Die Verbundvorhaben sind Teil des Förderschwerpunkts „r⁴ - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe“ im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA)“. Gefördert werden dabei vor allem innovative Verfahren zur Gewinnung, Aufbereitung und zum Recycling von mineralischen und metallischen Rohstoffen.

Molekulare Container für die Gewinnung Seltener Erden

Experten aus Forschung und Industrie wollen im BMBF-Projekt „SE-FLECX“ testen, ob so genannte Calixarene als alternative Extraktionsmittel in industriellen Gewinnungsverfahren eingesetzt werden könnten. Die wegen ihrer speziellen chemischen Struktur auch als Container-Moleküle bekannten organischen Makromoleküle sollen die Anreicherung von Metallen vereinfachen und den Gebrauch von Prozesschemikalien deutlich verringern.

Aufbereitung komplexer Erze

Neuartige Konzepte für die Aufbereitung komplexer Erze aus bekannten Lagerstätten im Erzgebirge stehen im Projekt „AFK“ im Vordergrund. Die Erze, die aus einer Vielzahl von ungewöhnlich feinkörnigen und eng verwachsenen Wertmineralen



Indium, Kupfer, Eisen, Fluor oder Zinn können fein verteilt in einem komplexen Erz vorkommen. Ihre Aufbereitung ist aufwendig.

zusammengesetzt sind, gelten bisher als schwer oder gar nicht zu verarbeiten. Ziel ist es, technische Lösungen zu entwickeln, mit denen die unterschiedlichen Wertminerale gleichzeitig auf wirtschaftliche und energieeffiziente Weise aufbereitet werden können. Dafür soll die gesamte Verfahrenskette von der Zerkleinerung der Erze bis hin zur Herstellung eines marktfähigen Mineralkonzentrats untersucht und optimiert werden.

Erkundung heimischer Lagerstätten

Mit umfassenden Modellen über die geologische Entstehung und Verteilung von Lagerstätten in Deutschland wollen das HIF und seine Projektpartner das heimische Rohstoffpotenzial neu einschätzen. Die Ergebnisse dienen auch als Grundlage für die Erkundung weiterer Rohstoffvorkommen. Zudem planen die Partner im Verbundprojekt „ResErVar“ den Aufbau einer Graduiertenschule zur Förderung des geowissenschaftlichen Nachwuchses.



Virtuelles Rohstoffinstitut

Das „German Resource Research Institute (GERRI)“ zielt darauf ab, alle nationalen Rohstoffkompetenzen, -infrastrukturen und -strategien erstmals in einem virtuellen Institut zu erfassen und gezielt aufeinander abzustimmen. Dies soll die Forschung entlang der Wertschöpfungskette nichtenergetischer mineralischer Rohstoffe auch international vorantreiben.

Die Maßnahme r⁴ knüpft direkt an das Förderprogramm r³ – „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien“ an, das derzeit ausläuft. Zu den sächsischen Projektpartnern zählen die TU Bergakademie Freiberg, Beak Consultants GmbH, Sachsenzinn GmbH, Saxore Bergbau GmbH, Universität Leipzig und die UVR-FIA GmbH. Weitere nationale Partner sind die Fraunhofer-Projektgruppe IWKS, BASF SE, CMI UVK GmbH, Eberhard Karls Universität in Tübingen, RWTH Aachen und die TU Clausthal. _TS.

➤ www.hzdr.de/hif

➤ www.fona.de/de/16664



Bruno Merk lehrt und forscht seit Oktober in Großbritannien.
Foto: University of Liverpool

Von Dresden auf die britische Insel

Bruno Merk ist dem Ruf der Universität Liverpool gefolgt. Nach knapp neun Jahren an den HZDR-Instituten für Sicherheitsforschung und Ressourcenökologie übernimmt er den Lehrstuhl für „Computational Modelling for Nuclear Engineering“, den das National Nuclear Laboratory, die Royal Academy of Engineering und die Universität gemeinsam tragen. Während seiner Zeit in Dresden-Rossendorf hat sich Bruno Merk mit der Entwicklung moderner Berechnungs- und Simulationsmethoden für die Auslegung und die Sicherheit von Kernreaktoren beschäftigt.

In seiner aktuellen Veröffentlichung geht der Kerntechnik-Experte zudem der Frage nach, ob es theoretisch möglich ist, das in Leichtwasser-Reaktoren entstandene Plutonium in neuartigen Reaktoranlagen nahezu vollständig zu verbrennen. Damit berührt er eine zentrale Fragestellung zum Umgang mit hochgiftigen und radioaktiven Hinterlassenschaften aus der nuklearen Erzeugung von Strom.

PUBLIKATION:

B. Merk u.a.: „On the burning of plutonium originating from light water reactor use in a fast molten salt reactor - A neutron physical study“, in *Energies* 2015 (DOI: 10.3390/en8112328)

Neuer Branchentreff in Dresden

Die erste „Werkstoffwoche“ verstand sich als Branchentreffpunkt für Entwickler, Hersteller und Anwender. Der Einladung der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde folgten fast 2.000 registrierte Teilnehmer, die vom 14. bis zum 17. September in Dresden die Fachmesse „Werkstoffe für die Zukunft“ sowie die begleitenden Symposien, Seminare und Nachwuchsforen besuchten. Dass die Wahl auf Dresden fiel, war sicherlich kein Zufall, arbeiten hier doch schon seit vielen Jahren 20 universitäre, außeruniversitäre und Industrie-Einrichtungen im Materialforschungsverbund Dresden (MFD) eng zusammen.

Auch Forscher des HZDR nahmen aktiv am Tagungsprogramm teil und boten zudem eine Exkursion nach Rossendorf an. Dabei ging es in das Ionenstrahlzentrum und in die Labore des Instituts für Fluidodynamik, in denen die Themen Solar-Silizium, Stahl- und Leichtmetall-Guss, Strömungsmessungen in flüssigen Metallen und Erstarrung bzw. kontaktlose Beeinflussung erstarrter Gefüge im Mittelpunkt standen. Eine Fortsetzung der erfolgreichen Werkstoffwoche ist geplant.

Terminvorschau

19.02.2016

Lehrerfortbildung „Astrophysik“
HZDR | Schülerlabor DeltaX

28.05.2016

Tag des offenen Labors

10.06.2016

Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften

24.06.2016

Lange Nacht der Wissenschaften Leipzig

Wissenschaftliche Veranstaltungen

06.-08.01.2016

Magnonics – Spin Waves Connecting Charges,
Spins and Photons
Physikzentrum Bad Honnef | HZDR-Institut
für Ionenstrahlphysik und Materialforschung

10.03.2016

Möglichkeiten und Grenzen der HPLC
in den Lebenswissenschaften
HZDR | Institut für Radiopharmazeutische
Krebsforschung

16.-18.03.2016

1st German Czechoslovak Conference on Crystal
Growth | GCCCG-1
TU Dresden | HZDR-Institut für Fluidodynamik

10.-15.07.2016

10th International Biometals Symposium |
Biometals 2016
art'otel Dresden |
HZDR-Institut für Ressourcenökologie

Strahlenschutzkurse an der HZDR-Forschungsstelle Leipzig

**03.02.2016 | 01.03.2016 | 23.03.2016 |
26.04.2016 | 25.05.2016**

Aktualisierungskurse

14.-18.03.2016

Fachkunde (Module GH, OG)

12.-14.04.2016

Fachkunde (Module GG, FA)



Dipjyoti Deb engagiert sich auch außerhalb des Labors für internationale Zusammenarbeit. Foto: cfaed | Jürgen Lösel

Mit der TU zur Falling Walls Conference

In seiner Doktorarbeit am HZDR und am cfaed, dem „Center for Advancing Electronics“ der TU Dresden, beschäftigt sich Dipjyoti Deb mit der Herstellung und Kontaktierung von Nano-Drähten auf Silizium-Basis. Neue Kontakte zu knüpfen ist auch in der realen Welt eine Aufgabe, der er sich mit großem Engagement stellt. So arbeitet er derzeit daran, ein gemeinsames Master-Programm zwischen der TU Dresden und dem University College Cork in Irland zu vermitteln. „Die Idee dazu entstand bei einem Forschungsaufenthalt in Cork“, erzählt der

Materialwissenschaftler, den alle einfach nur DJ nennen. Dass auch die Kommunikation zu seinen Stärken zählt, konnte er auf der diesjährigen „Falling Walls Conference“ am 8. und 9. November in Berlin unter Beweis stellen. Bereits zu früheren Gelegenheiten trat er als internationaler Botschafter der TU Dresden auf. Die Universität ihrerseits war im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ins Leben gerufenen „Aktionsbündnisses Forschungsmarketing“ für ihre ALUMNI-Arbeit ausgezeichnet und deshalb zur Konferenz eingeladen worden. Deshalb lag die Nominierung des smarten Doktoranden auf der Hand. „So kam es, dass die Alexander von Humboldt-Stiftung mein Ticket bezahlt hat“, freut sich DJ über die ihm damit zuerkannte Rolle als Spezialist für ALUMNI-Fragen in Deutschland.

Dipjyoti Deb sprach auf der Konferenz gleich mehrere Einladungen nach Dresden aus, musste dabei aber auch viele Fragen zur derzeitigen Stimmung in der Stadt und zu Pegida beantworten: „Mit Naila Kabeer, Schriftstellerin und Forscherin an der London School of Economics, habe ich mich sehr intensiv über Gender-Fragen in der Wissenschaft ausgetauscht, und die in Frankreich lehrende Soziologin Nilüfer Göle hat versprochen, die TU Dresden zu besuchen, wenn ich ein Programm für sie organisiere.“ So gehörten Forscher wie beispielsweise auch der Physik-Nobelpreisträger Wolfgang Ketterle ebenso zu seinen Gesprächspartnern wie der Wissenschaftsjournalist Ranga Yogeshwar oder führende Vertreter aus Industrie und Politik.

➤ www.falling-walls.com

➤ www.cfaed.tu-dresden.de

1. Posterpreis für Sonja Schellhammer



Erstmalig nahmen am zentralen Doktorandenseminar des HZDR, das Anfang November im Erzgebirge stattfand, auch die Promotionsstudenten am klinisch ausgerichteten HZDR-Institut für Radioonkologie und vom OncoRay-Zentrum teil. Und das mit Erfolg. So sicherte sich die Medizinphysikerin Sonja Schellhammer den ersten Platz für die beste

Posterpräsentation. Das Besondere: Sie hatte sich gerade erst einen Monat mit ihrem Forschungsthema beschäftigt.

Unter Betreuung des niederländischen Forschers Aswin Hoffmann geht Sonja Schellhammer am Institut für Radioonkologie der physikalischen Frage nach, wie das starke Magnetfeld eines Magnetresonanztomographen (MRT) einen Teilchenstrahl ablenkt. Elektrisch geladene Teilchen – die Ionen – spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der Krebstherapie. Das leichteste Ion ist ein Proton. Es besteht aus einem Wasserstoff-Atom, dem das einzige Elektron entzogen wurde. Was nun etwa in der Beschleunigerphysik erwünscht ist, nämlich Teilchenstrahlen mit Magneten um Kurven zu lenken, stellt für die Idee einer neuen Echtzeit-Überwachung in der Behandlung mit Protonen eine große Herausforderung dar.

„Im Vergleich zur konventionellen Strahlentherapie mit hochenergetischer Röntgenstrahlung bietet der Einsatz von Protonen für die Krebstherapie den entscheidenden Vorteil eines sehr steilen Dosisprofils“, erläutert Schellhammer. Das bedeutet, dass die Protonen auf ihrem Weg durch den Patientenkörper sehr wenig Energie abgeben – und damit wenig Schaden im gesunden Gewebe anrichten. An der Stelle jedoch, an der sie zum Stillstand kommen, deponieren die Teilchen ihre gesamte restliche Energie als Dosis, das Gewebe hinter dem Tumor wird geschont. Deshalb ist es auch möglich, im Tumorgewebe sehr hohe Strahlendosen zu applizieren, allerdings ist die Teilchentherapie anfällig gegenüber Bewegungen und Deformationen des Gewebes, sei es durch Atmung, Verdauung oder den Herzschlag.

„Mein Ziel ist es, daran mitzuwirken, dass in Zukunft während der Therapie, also in Echtzeit, MRT-Bilder zur Verfügung stehen, mit denen wir anatomische Veränderungen während der Bestrahlung registrieren und ausgleichen können“, so die junge Doktorandin. Deshalb arbeitet sie daran, ein bereits entwickeltes, theoretisches Modell zur Ablenkung des Protonenstrahls durch das MRT-Magnetfeld mit Experimenten zu untersetzen. Eine perfekte Grundlage dafür bietet ihr die absolvierte Ausbildung im Masterprogramm des Nationalen Zentrums für Strahlenforschung in der Onkologie – OncoRay.

Foto: BGR Hannover

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

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

ERSCHEINUNGSDATUM

Dezember 2015
ISSN: 2194-5705 // Ausgabe 02.2015

REDAKTION

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

AUTOREN DIESER AUSGABE

Dr. Uta Bilow | Freie Wissenschaftsjournalistin, Dresden
Christian Döring | Kommunikation und Medien, HZDR
Dr. Roland Knauer | Journalistenbüro Viering und Knauer, Lehnin
Dr. Hannes Schlender | scienceRELATIONS, Berlin
Sara Schmiedel | Freie Wissenschaftsjournalistin, Leipzig
Tina Schulz | Kommunikation Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, HZDR

BILDNACHWEIS

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HZDR, soweit nicht anders angegeben

GESTALTUNG

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

DRUCK

Druckerei Mißbach
www.missbach.de

AUFLAGE

4.000 // Gedruckt auf Inapa Infinity Silk, FSC zertifiziert

KONTAKT // BESTELLUNG (kostenfrei)

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

NACHDRUCK

mit Quellenangabe gestattet. Belegexemplar erbeten.

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

➤ www.hzdr.de

Das HZDR auf Facebook und Twitter.

➤ www.facebook.com/Helmholtz.Dresden

➤ www.twitter.com/hzdr_dresden



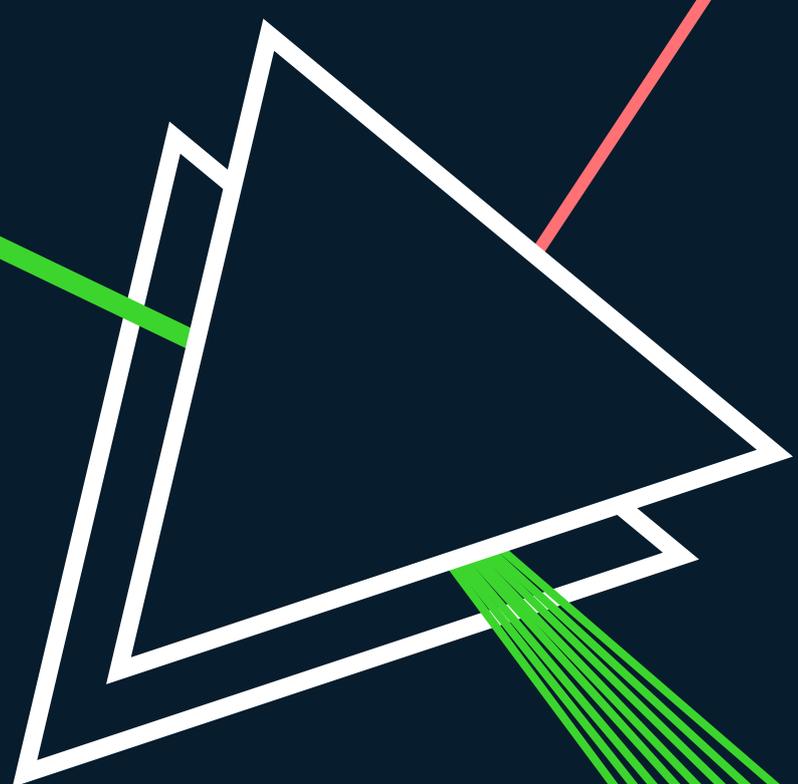
HI

LIGHTS!

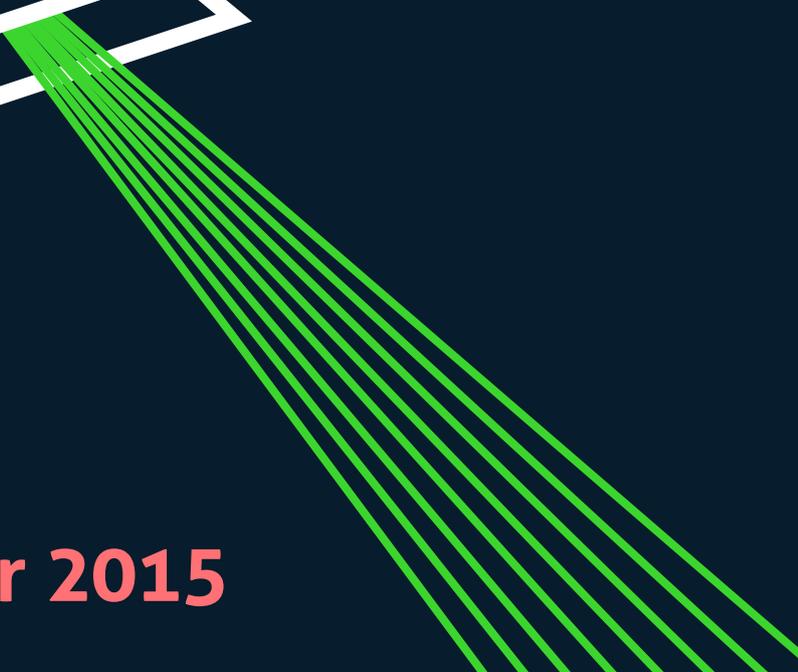


NEUES VOM LICHT

20. Jun 2015 — 19. Jun 2016



Technische
Sammlungen
Dresden



Dresdner Lichtjahr 2015