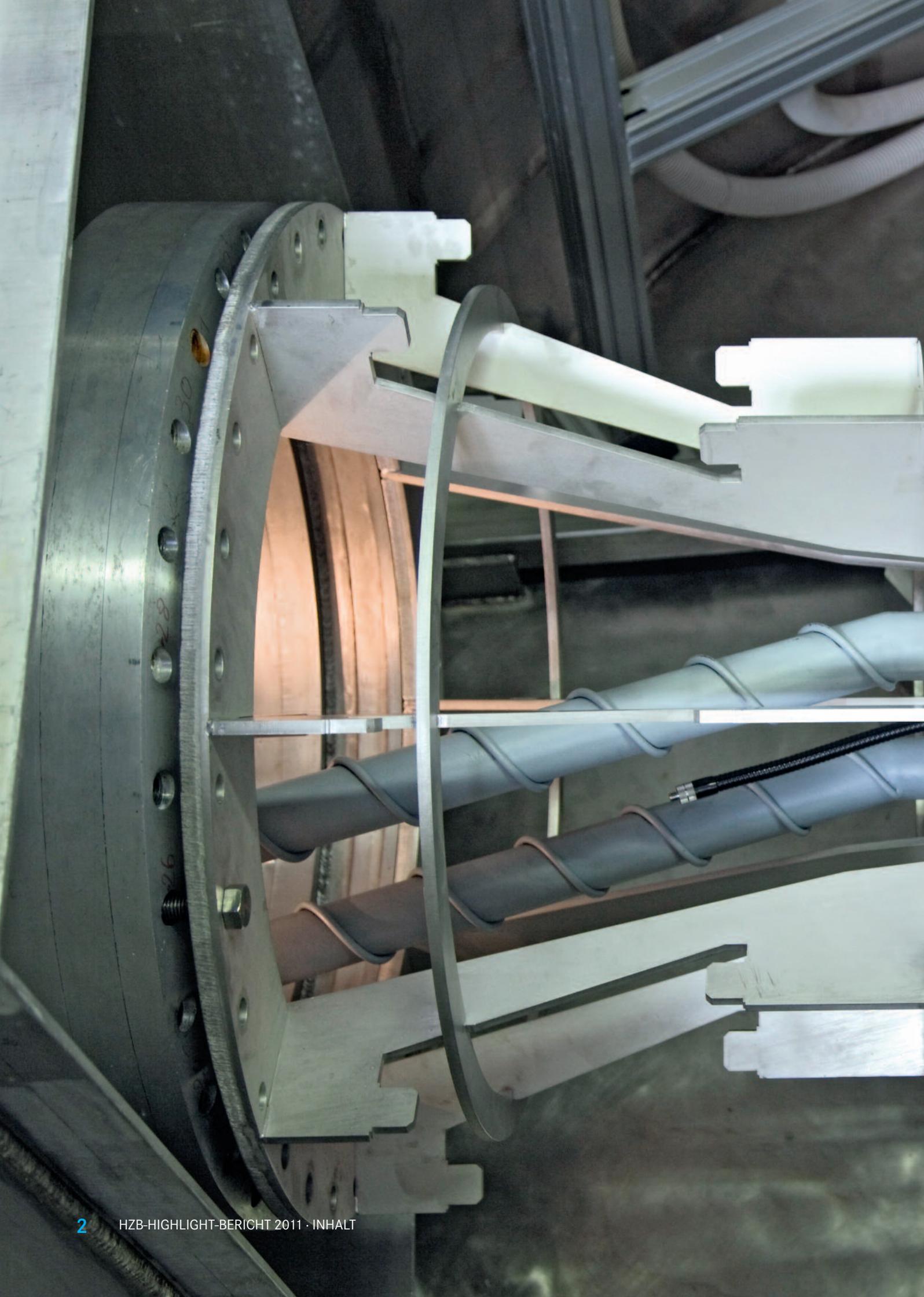


ENERGIE BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN



HIGHLIGHTS 2011

Leistungsbericht mit Höhepunkten aus der Forschung am
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie



DIE ZUKUNFT DER FORSCHUNG GESTALTEN

Das Jahr 2011 war für das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie in vielerlei Hinsicht ein besonderes. Mit dem Upgrade der Forschungsneutronenquelle BER II und den erfolgreichen Starts in unsere Zukunftsprojekte an BESSY II konnten wir viele wichtige Weichen für die Zukunft stellen. Eine davon ist der Aufbau von dedizierten Messplätzen für die Photovoltaikforschung am Speicherring BESSY II.



Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla und Thomas Frederking

Mit der Energiewende in Deutschland hat die Photovoltaikforschung weiter an Bedeutung gewonnen, aber auch international ist ein steigendes Interesse an diesem Forschungsgebiet zu erkennen. Am HZB haben wir die einzigartige Möglichkeit, der Photovoltaikforschung den Zugang zu den Großgeräten zu erleichtern. Im Rahmen unseres geplanten Groß-Projekts *EMIL* wird das HZB in den nächsten Jahren zusammen mit der Max-Planck-Gesellschaft an BESSY II eine weltweit einzigartige Infrastruktur für in-situ Untersuchungen an Materialien für die Energieumwandlung und -speicherung aufbauen. *EMIL* steht dabei für Energy Materials In-situ Laboratory Berlin. Durch die Investitionen im Rahmen des *EMIL*-Projekts werden wir die Forschungsmöglichkeiten an der Synchrotronquelle BESSY II in Berlin-Adlershof deutlich erweitern. Ein externes, vom wissenschaftlichen Beirat eingesetztes Gutachtergremium hatte das *EMIL*-Projekt im September 2011 sehr positiv evaluiert und eindringlich die Realisierung empfohlen. Der Aufsichtsrat des HZB hat danach grünes Licht für den Ausbau von *EMIL* gegeben. BMBF und Helmholtz-Gemeinschaft fördern das ehrgeizige Vorhaben.

Erfolgreich sind wir auch in unser Zukunftsprojekt *BERLinPro* gestartet. Mit der Machbarkeitsstudie wollen wir prüfen, ob sich das Prinzip eines Linearbeschleunigers mit Energierückgewinnung (Energy Recovery Linac) grundsätzlich realisieren lässt. Im April 2011 wurden am HZB dafür mit einer supraleitenden Elektronenquelle (SRF Gun) die ersten Photoelektronen beschleunigt. Dies war das erste Mal, dass ein Elektronenstrahl mit einem supraleitenden Hochfrequenz-Photoinjektor aus einer supraleitenden Photokathode erzeugt wurde. Das Ziel, einen Energy-Recovery Linac zu realisieren, ist damit

entscheidend näher gerückt, denn für solch einen Beschleuniger benötigt man Elektronenquellen von höchster Brillanz.

Ein besonderer Schwerpunkt lag 2011 auf dem Upgrade unserer Neutronenquelle BER II. Die Arbeiten dazu begannen im Herbst 2010 und dauerten bis Ende März 2012. Auch hierüber berichten wir auf den nächsten Seiten ausführlich. Mit großer Freude können wir seit der Wiederinbetriebnahme des BER II beobachten, dass die Neutronenquelle durch den Austausch und die Verbesserung wichtiger Bauteile eine technische Aufwertung erfahren hat. Dies ist besonders erfreulich, weil während der umfangreichen Umbauarbeiten eine öffentliche Diskussion über die Anlage begann. Im Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern, aber auch mit den Medien haben wir diese Diskussion mit großer Offenheit und Transparenz geführt. Wir konnten das gestiegene Interesse aufgreifen und die am BER II durchgeführten Forschungen für die Bürgerinnen und Bürger fassbar machen und den vielen Interessenten näher bringen. Im September 2011 bescheinigte die atomrechtliche Aufsichtsbehörde dem BER II ein hohes Maß an Robustheit. Die angeordnete Sonderüberprüfung – Stresstest genannt – war damit erfolgreich bestanden. Seit dem Frühjahr 2012 ist die Anlage nun wieder in Betrieb und wird auf viele Jahre hinaus einen unverzichtbaren Beitrag für die Forschung leisten.

Dennoch dürfte in der Forschung langfristig Spallationsneutronenquellen die Zukunft gehören. Daher ist es schon jetzt eine unserer Aufgaben, Instrumente für zukünftige Spallationsneutronenquellen zu konzipieren und aufzubauen. Das HZB arbeitet aktiv am Aufbau der Europäischen Spallations-

neutronenquelle (ESS) im schwedischen Lund mit. Die Bedeutung des Projekts, an dem 17 europäische Länder beteiligt sind, lässt sich schon anhand der auf 1,48 Milliarden Euro geschätzten Gesamtkosten für Planung, Bau und Betrieb der ESS abmessen. Die ESS soll ab 2013 errichtet werden und in den 2020ern Forscherinnen und Forschern aus aller Welt zur Verfügung stehen. Experten des HZB sind am Konzept für den Aufbau sowie an der Entwicklung der erforderlichen Instrumente an dieser künftigen europäischen Neutronenquelle beteiligt.

Im vorliegenden Highlight-Bericht informieren wir Sie auch über den Start unseres Vorhabens „Campus 2030“, welches die Helmholtz-Gemeinschaft als Modellprojekt fördert. Denn das HZB ist bestrebt, nicht nur die technischen Geräte laufend auf den neuesten Stand der Wissenschaft zu bringen, sondern das gesamte Umfeld. Im Rahmen dieser Studie sollen Ideen für den Campus der Zukunft entwickelt werden, die auch für andere Wissenschaftsstandorte attraktiv sind. Der Lise-Meitner-Campus in Wannsee bietet dafür ideale Voraussetzungen. Er ist ein innovativer Ort für Wissenschaft und Begegnung, doch die meist aus den 1950er-Jahren stammenden Gebäude weisen mancherorts einen unübersehbaren Sanierungsbedarf auf. Ideal also für ein Modellprojekt, wobei neben der Energieversorgung und Gebäudesanierung auch eine bessere Verkehrsanbindung und eine transparente Kommunikation auf dem Campus erreicht werden sollen. Dank der überschaubaren Größe des Lise-Meitner-Campus stehen die Chancen gut, dass die Ergebnisse von „Campus 2030“ mittel- und langfristig umgesetzt werden.

Noch wichtiger als Gebäude und Technik sind jedoch die Menschen, die am HZB arbeiten. Daher freuen wir uns besonders über die zahlreichen Auszeichnungen, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HZB 2011 erhalten haben. Zum Beispiel Prof. Dr. Emad Flear Aziz, Leiter der Nachwuchsgruppe Struktur und Dynamik funktionaler Materialien. Ihm gratulieren wir zum ERC Starting Grant, mit dem sein Forschungsprojekt in den nächsten fünf Jahren gefördert wird.

Hervorzuheben sind auch die gemeinsamen Berufungen auf wichtige Lehrstühle, die das HZB zusammen mit den Universitäten der Berliner und Brandenburger Region realisiert hat. Prof. Dr. Susan Schorr, Prof. Dr. Joachim Dzubiella und Prof. Dr. Alexander Matveenko, die 2011 an die Freie Universität Berlin bzw. die Humboldt-Universität zu Berlin berufen wurden, stehen beispielhaft dafür, wie eng das HZB mit den Universitäten zusammenarbeitet und wie gut vernetzt die außeruniversitäre Forschung des HZB mit der universitären Forschung und Lehre der Region ist. Diese Vernetzung noch weiter auszubauen ist eines unserer wichtigsten Ziele. Zugleich sind solche Berufungen auch wichtige Karrierestufen für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

Auch in der Geschäftsführung des HZB hat es zwei Veränderungen gegeben: Prof. Dr. Wolfgang Eberhardt, der mehr als sieben Jahre Geschäftsführer bei BESSY und fast drei Jahre Geschäftsführer für das Geschäftsfeld Energie am HZB war, kehrte Mitte 2011 in die Forschung zurück und ist nun am DESY in Hamburg tätig. Dr. Ulrich Breuer, kaufmännischer Geschäftsführer des HZB, wechselte zum 1. Januar 2012 an das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und übernahm dort die Funktion des Vizepräsidenten Finanzen und Wirtschaft. Beiden ehemaligen Geschäftsführern des HZB gelten der Dank des Zentrums und die besten Wünsche für ihre Zukunft.

Die ungebrochene hohe Qualität der Forschung am HZB lässt sich auch 2011 wieder an vielen hervorragenden wissenschaftlichen Veröffentlichungen ablesen. Sie stammen von den Nutzern unserer Großgeräte, aber auch von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des HZB. Beispielhaft seien hier die Forschung an Nanomagnetten genannt oder die Strukturanalyse von Proteinkristallen ebenso wie die Untersuchung von Werkstoffen für Dünnschicht-Solarzellen. Diese und viele weitere spannende Ergebnisse der am HZB betriebenen Forschung möchten wir Ihnen in dem vorliegenden HZB-Highlight-Bericht 2011 näherbringen. Sie alle belegen die anhaltende Attraktivität des HZB als Wissenschaftsstandort.


Prof. Dr. A. Kaysser-Pyzalla


Thomas Frederking

NEUTRONEN FÜR DIE FORSCHUNG – UPGRADE AM BER II ABGESCHLOSSEN

Am 27. März 2012 hat das HZB nach fast anderthalb Jahren Umbauzeit die Neutronenquelle BER II wieder in Betrieb genommen. Zuvor hat sie eine vom Berliner Senat angeordnete Sonderüberprüfung erfolgreich bestanden. Nun stehen die **hervorragenden Experimentierbedingungen** der Wissenschaft wieder zur Verfügung. Seit dem Upgrade ist der Standort noch attraktiver geworden.

2. Oktober 2010; 21 Uhr. Blick in die Reaktorhalle des HZB in Wannsee. Die Steuerstäbe senken sich in den Kern der Neutronenquelle BER II. Sie unterbrechen die Kettenreaktion, die den Reaktor antreibt und die ein wertvolles Gut liefert: Neutronen für die Forschung. Die Bedienungsmannschaften fahren den Reaktor für Wartung und Routineuntersuchungen zwar spätestens alle drei Wochen herunter – diese Abschaltung ist jedoch eine besondere. Der BER II wird für mehrere Monate ausgeschaltet, letztlich sogar für eineinhalb Jahre. Warum?

An der Neutronenquelle und in den angrenzenden Experimentierhallen sind umfangreiche Wartungs- und Umbaumaßnahmen nötig. Das Konische Strahlrohr, eines der wichtigsten Bauteile des Reaktors, soll ausgetauscht werden. Es umschließt die Kalte Neutronenquelle (KNQ), in der die aus dem Reaktorkern kommenden Neutronen mit tiefkaltem Wasserstoffgas abgebremst werden. Die Moderatorzelle, durch die die Neutronen in die Neutronenleiter fliegen, ist dabei das zentrale Bauteil. Ebenso wie das Konische Strahlrohr sollen auch diese beiden Komponenten ausgebaut und für einen intensiveren Neutronenfluss in technisch verbesserter Form neu montiert werden. Aus der



Das Konische Strahlrohr wird in Position gebracht.

neuen Moderatorzelle werden etwa 50 Prozent mehr Neutronen kommen als aus der alten. Auch die Neutronenleiter, durch die die Neutronen zu den Experimenten gelangen, werden erneuert. Sie haben dann eine moderne Beschichtung und sorgen so für noch mehr Neutronen an den Experimentierstationen – von denen die Forscherinnen und Forscher auch noch einige modernisieren wollen. Ein ehrgeiziges Programm also, dem man sich im Herbst 2010 stellt.

Neue Bauteile für BER II

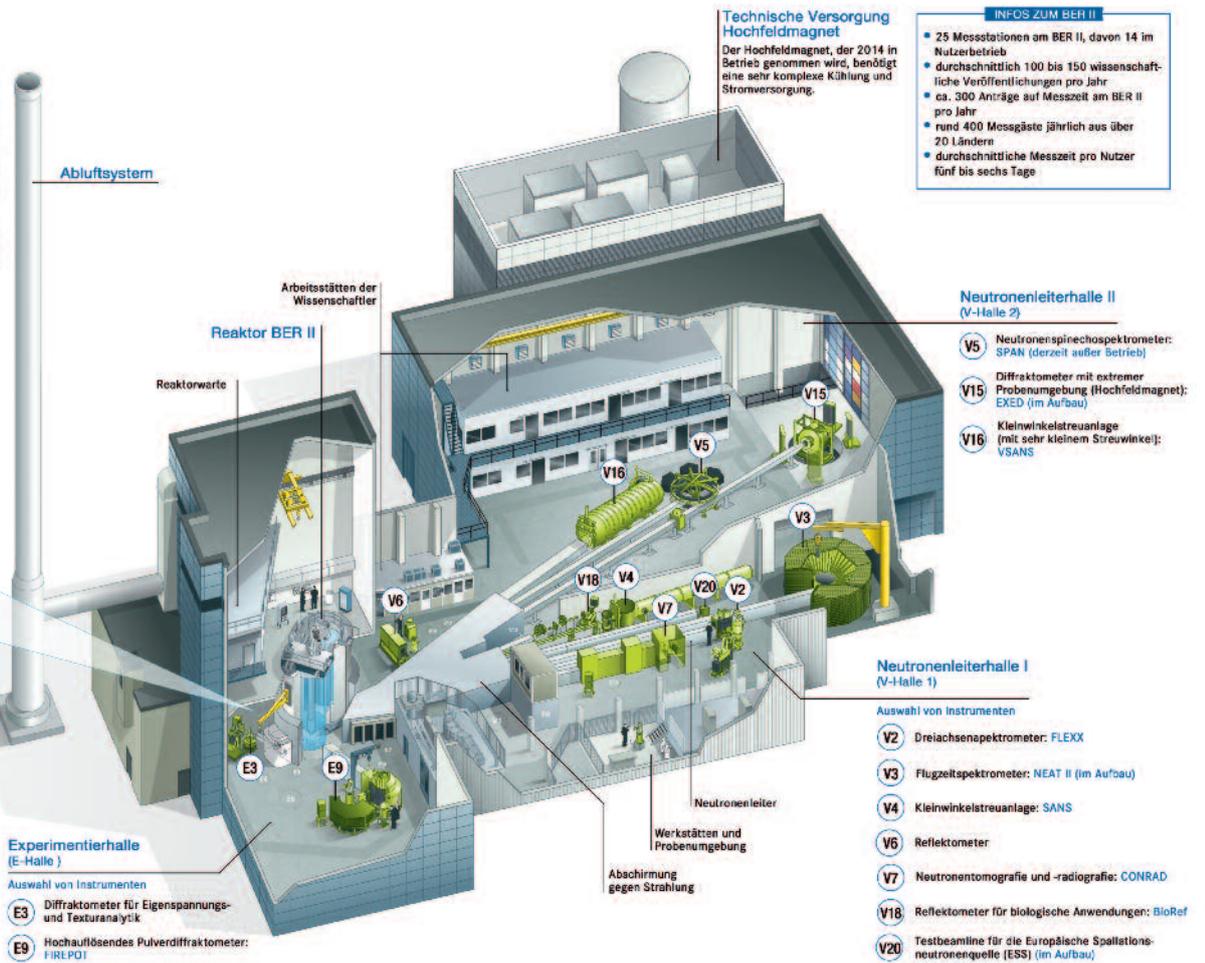
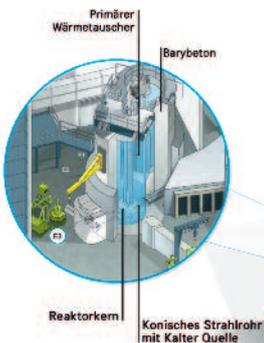
Der Grund: Rund 20 Jahre hatten die Bauteile im Reaktor zuverlässig ihren Dienst getan. „Mit der Zeit versprödet aber das Metall, das ständigem Neutronenbeschuss ausgesetzt ist“, sagt Stephan Welzel, der federführend die Arbeiten am Reaktor-Upgrade plant und betreut. „Wie schnell die Teile altern, konnten wir sehr gut anhand von Vergleichsmaterialien vorausberechnen, die wir an anderer Stelle im Reaktor angebracht hatten.“ So war schon im Jahr 2006 klar, dass spätestens 2011 das Konische Strahlrohr und die Kalte Quelle ausgewechselt werden mussten.

„Wenn man mit radioaktivem Material arbeitet, wartet man natürlich nicht darauf, dass irgendetwas kaputt geht“, sagt Welzel. Der Austausch des Konischen Strahlrohrs sei also keine Reparatur gewesen, sondern eine vorsorgliche Instandsetzung. Eine Instandsetzung allerdings, die enorm viel Planung und Abstimmung erforderte. Die Wissenschaftler hatten deshalb bereits eineinhalb Jahre vor Beginn der Arbeiten einen Simulator aufgebaut, um jeden Handgriff, jeden Maschineneinsatz zu üben.

Nachdem der Reaktor im Oktober 2010 herunter gefahren war, konnten die Arbeiten beginnen. „Mitte März 2011 hatten wir das Konische Strahlrohr und die Kalte Quelle ausgebaut, zerlegt, verpackt und der Zentralstelle für leicht- und mittlerradioaktiven Abfall vorschriftsmäßig zur Entsorgung übergeben“, beschreibt Stephan Welzel den ersten, zentralen Arbeitsabschnitt. Dabei kam es zu Verzögerungen, wie Welzel erzählt: „Das ist bei einem Projekt wie dem Reaktor-Upgrade fast schon zu erwarten, weil es für solch eine komplexe Arbeit einerseits keine Standard-

Ein großer Anziehungspunkt für Forscher aus dem In- und Ausland sind die Instrumente am BER II. Einige sind hier beispielhaft dargestellt. An ihnen finden Forscher Experimentierbedingungen vor, die teilweise weltweit einzigartig sind. Mehrere Instrumente wurden gerade aufwendig verbessert und sind noch attraktiver für die Nutzer.

Herzstück der Anlage ist der Forschungsreaktor BERII, der die begehrten Neutronen für die Wissenschaftler liefert. Mit ihnen können Forscher die Struktur und die Dynamik von Stoffen untersuchen.



verfahren gibt, andererseits jeder Schritt unter Beachtung höchster Sicherheits- und Qualitätsanforderungen durchgeführt werden muss.“

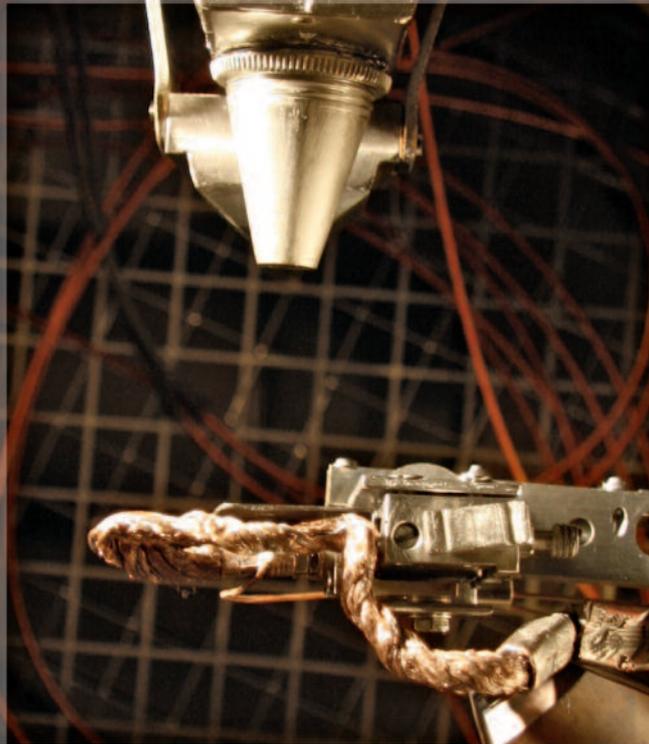
Die Kalte Quelle erfüllt höchste Sicherheitsstandards

Ab April 2011 hätte dann die neue Kalte Quelle montiert werden können. Dazu kam es jedoch erst ein halbes Jahr später. Stephan Welzel: „Das Schmiedematerial muss allerhöchsten Anforderungen genügen, und es wird nur in kleinen Mengen hergestellt. Obwohl wir einen extrem langen Vorlauf hatten, war die Legierung nicht in der notwendigen Menge am Markt erhältlich.“ Da gibt es keine Alternative zum Warten: „Sicherheit ist das oberste Gebot“, sagt Welzel: „Für den Reaktor dürfen nur genehmigte und zertifizierte Baumaterialien verwendet werden.“

Stillstand herrschte trotzdem nicht. So wurde im Rahmen des Upgrades das gesamte Neutronenleitersystem umgebaut, das die Experimente in der Neutronenleiterhalle I mit Neutronen versorgt. „Statt der bisher fünf, stehen den Forschern nun sechs Neutronenleiter zur Verfügung“, sagt Thomas Krist, der für den Umbau der Neutronenleiter verantwortlich war. Drei wurden zudem in der Breite verdoppelt. Krist: „Die neuen Leiter haben eine Superspiegelbeschichtung bekommen, die zu einem besseren Neutronen-

fluss beiträgt.“ Dafür mussten alle fünf Neutronenleiter komplett abgebaut und mit neuer Geometrie sechs Neutronenleiter wieder aufgebaut werden. Im November 2011 wurde die Kalte Quelle dann aber doch endlich angeliefert. „Genau an dem Tag, als der Aufsichtsrat des HZB getagt hat“, erinnert sich Stephan Welzel: „Ich war so froh, dass ich der Geschäftsführerin, Frau Kaysser-Pyzalla, diese Nachricht überbringen konnte.“ Denn jetzt nahm der Zug wieder Fahrt auf: Anfang 2012 wurde die Kalte Quelle tatsächlich im neuen Konischen Strahlrohr montiert. 27. März 2012. Blick in die Reaktorhalle des HZB in Wannsee. Die Steuerstäbe heben sich aus dem Kern der Neutronenquelle BERII. Die Kettenreaktion startet. „Das Material, das wir mit dem neuen Konischen Strahlrohr, der Moderatorzelle und der Kalten Quelle eingebaut haben, ist umfangreichen Prüfungen und Tests unterzogen. Wir haben alle Abnahmen bestanden“, sagt Stephan Welzel: „Trotzdem ist vorgeschrieben, dass wir den Reaktor stufenweise anfahren, so dass wir das Verhalten der neuen Bauteile genau beobachten können.“ Volle Leistung erreichte der BER II nach sechs Tagen. Seitdem liefert er wieder ein wertvolles Gut, für das mehrere Hundert Wissenschaftler jährlich eigens nach Wannsee reisen: Neutronen für die Forschung.

hs/Mitarbeit: Annick Eimer



HIGHLIGHTS AUS DEN NUTZEREXPERIMENTEN

Die Neutronenquelle BER II in Berlin-Wannsee stand im Jahr 2011 den Wissenschaftlern aus aller Welt, die sonst in großer Zahl an den dort eingerichteten Messplätzen arbeiten, nicht zur Verfügung. Grund dafür waren die bereits im Oktober 2010 begonnenen Umbauarbeiten, die im Frühjahr 2012 abgeschlossen wurden. Dank des neuen Konischen Strahlrohrs, einer optimierten Moderatorzelle und Kalten Quelle sowie der erneuerten und deutlich verbesserten Neutronenleiter finden die Forschenden seit der Wiederinbetriebnahme des BER II im März 2012 hervorragende Bedingungen für Untersuchungen mit Neutronen vor.

Aufgrund des Umbaus konzentrierte sich die Forschung am HZB 2011 daher auf den Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern vom Center for Nanointegration (CENIDE) an der Universität Duisburg-Essen beispielsweise nutzten die hochbrillante Röntgenstrahlung für die Untersuchung von Nanomagneteten, die schon heute in zahlreichen medizinischen und technischen Anwendungen zum Einsatz kommen. Sie fanden dabei heraus, wie man die winzigen Magnete mit speziellen Eigenschaften herstellen kann.

Mit Hilfe des Rasterröntgenmikroskops MAXYMUS, das am HZB in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme aufgebaut wurde, gelang es einer Gruppe von Wissenschaftlern, winzige nadelförmige magnetische Strukturen, sogenannte Vortex-Kerne, zwanzig mal schneller zu schalten als bisher. Das könnte den Weg zu einer stabilen, schnellen und stark miniaturisierten Datenspeicherung frei machen.

Fluoreszierende Proteine sind wichtige Untersuchungswerkzeuge in den Biowissenschaften, weil sich mit ihnen Lebensvorgänge in Zellen und Organismen auf molekularer Ebene studieren lassen. Forscherinnen und Forschern des Göttinger Max-Planck-Instituts für Biophysikalische Chemie und der Freien Universität Berlin gelang es erstmals das Kristall eines fluoreszierenden Proteins sowohl in den leuchtenden als auch nicht-leuchtenden Zustand zu versetzen und zu vermessen. Dazu nutzten sie die Beamline 14.2, die im Rahmen des Joint Berlin MX-Laboratory betrieben wird. Bisher konnten Proteinkristalle nur in einem der beiden Zustände untersucht werden. Diese und zahlreiche weitere Beispiele der Nutzerexperimente am HZB möchten wir Ihnen auf den folgenden Seiten näher vorstellen.



MASSGESCHNEIDERTE NANOMAGNETE

Magnetische Nanopartikel lassen sich vielseitig nutzen. Forscherinnen und Forscher der Universität Duisburg-Essen entdeckten mithilfe von Messinstrumenten am HZB, wie **Nanomagnete** für verschiedene Anwendungen entwickelt werden können.

Winzigste Partikel im Nanoformat haben faszinierende Eigenschaften: Sie sind so klein, dass der Einfluss der Oberfläche ihr physikalisches Verhalten dominiert und sich quantenmechanische Phänomene bemerkbar machen. Und: Sie lassen sich mühelos auch in schwer zugängliche Bereiche des menschlichen Körpers manövrieren – wodurch sie als Fähren für Medikamente dienen oder selbst zur Heilung von Krankheiten eingesetzt werden können. Nanoteilchen mit magnetischen Eigenschaften können Ingenieure oder Mediziner zudem leicht mithilfe von elektromagnetischen Feldern bewegen oder lenken.

Zwergenhafte Helfer in Medizin und Technik

Das wird etwa in der Krebsmedizin bereits genutzt, um im Rahmen der sogenannten Hyperthermie Tumoren mit Nanoteilchen zu Leibe zu rücken: Die magnetischen Winzlinge werden dazu per Spritzen – oder künftig über die Blutbahn – an das Krebsgeschwür heran gebracht und anschließend wird durch ein rasch wechselndes Magnetfeld die Magnetisierung in Rotation versetzt. Dadurch entsteht Wärme,



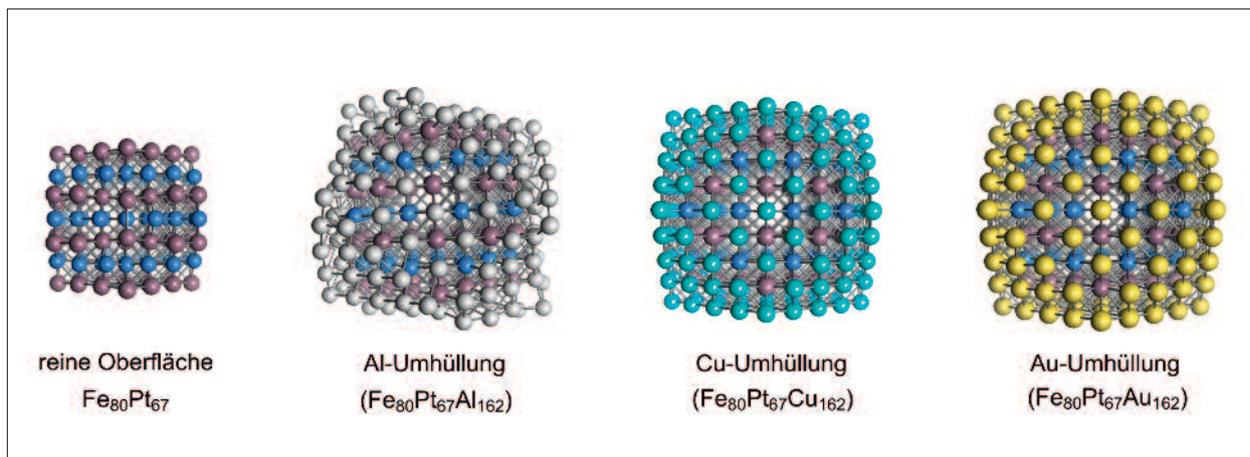
Blick in die Experimentierhalle am Elektronenspeicherring BESSY II. Hier wurden die metallischen Nanoteilchen mit unterschiedlichen Ummantelungen untersucht.

die den Tumor erhitzt und letztlich zerstört. Außerdem machen magnetische Nanopartikel als Kontrastmittel bei MRT-Untersuchungen feinste Strukturen im Körpergewebe sichtbar. Und sie könnten in künftigen leistungsstarken elektronischen Datenspeichern stecken, wo sie sich per Magnetfeld in bestimmte Richtungen ausrichten lassen und so digitale Nullen oder Einsen markieren.

Bei den verschiedenen Anwendungen der vielseitigen Partikel stehen aber unterschiedliche Eigenschaften im Vordergrund, die teilweise ein genau gegensätzliches Verhalten erfordern. So muss sich die Magnetisierung der Nanoteilchen für die Krebsbehandlung per Hyperthermie möglichst leicht drehen lassen, um viel zerstörerische Hitze zu generieren. In einem Speichermedium dagegen muss sie über einen langen Zeitraum stabil ihre Ausrichtung beibehalten. Um die jeweiligen Anforderungen an die magnetischen Nanopartikel zu erfüllen, lassen sich die Forscher bislang vor allem von Erfahrungen leiten und von den Resultaten einzelner, recht unsystematischer Experimente. Design und Herstellung der richtigen Teilchen erscheint dabei fast ein wenig wie Alchemie. Doch nun entwickelte eine Gruppe von Wissenschaftlern der Universität Duisburg-Essen eine Art Rezeptur, mit deren Hilfe sich künftig zielgerichtet und passgenau magnetische Nanoteilchen für diverse Anwendungen in Technik oder Medizin maßschneidern lassen. Um diese Rezeptur für die Nanoküche zu entwickeln, nutzen die Forscher von der Ruhr auch hochbrillante Röntgenstrahlung aus dem Elektronenspeicherring BESSY II am HZB.

Der passende Mantel macht es

Die Forscher fokussierten sich für ihre Untersuchungen auf metallische Nanoteilchen aus einer Verbindung von Platin und Eisen (PtFe) – ein Material, das eine ausgeprägte magnetische Richtungsabhängigkeit (Anisotropie) besitzt und sich deshalb besonders gut für viele Anwendungen eignet. „Wir stellten uns die Frage, was passiert, wenn man diese Partikel mit einem anderen Material umhüllt“, berichtet Prof. Heiko Wende, Arbeitsgruppenleiter in der Experimentalphysik und am Zentrum für Nanointegration der Universität Duisburg-Essen (CENIDE). „Eine solche Ummantelung



Für die Experimente an metallischen Nanomagneten ummantelten die Wissenschaftler eine Eisen-Platin-Verbindung (links, blaue und violette Atome) mit Aluminium (weiße Atome, mi. li.), Kupfer (türkise Atome, mi. re.) und Gold (gelbe Atome, re.). Anschließend untersuchten sie die magnetischen Eigenschaften der Materialkombinationen.

schützt die Nanoteilchen vor einer Oxidation“, erklärt der Physiker. Doch sie verändert auch ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften – wie genau, das ließ sich bisher vor der Ummantelung nur ungenau vorhersagen.

Heiko Wende und seine Mitarbeiterin Dr. Carolin Antoniak nahmen den Einfluss der Hülle mithilfe der am BESSY II erzeugten Röntgenstrahlung erstmals systematisch und detailliert unter die Lupe. Dazu maßen sie, wie stark verschiedene Ummantelungen Röntgenlicht unterschiedlicher Wellenlänge absorbieren. Als Werkstoff für das Umhüllen der kugelförmigen FePt-Partikel, die einen Durchmesser von rund sechs Nanometern (Millionstel Millimetern) hatten, verwendeten die Forscher Gold, Kupfer oder Aluminium. Dabei bekamen sie Unterstützung von der Arbeitsgruppe des Duisburger Physikers Prof. Michael Farle.

Perfektes Teamwork von Messung und Simulation

Die Resultate ihrer Experimente verglichen Antoniak und Wende mit den Ergebnissen von Simulationsrechnungen, die Forscherkollegen um Dr. Markus Gruner und Prof. Peter Entel zuvor angestellt hatten. Dazu hatten die theoretischen Physiker den Höchstleistungsrechner JUGENE am Forschungszentrum Jülich genutzt – mit einer Rechenleistung von bis zu einer Billiarde Operationen pro Sekunde zurzeit einer der schnellsten und leistungsfähigsten Supercomputer der Welt. Auf dieser gewaltigen Maschine hatten Gruner und Entel mithilfe von Modellen auf atomarer Ebene simuliert, wie verschiedene metallische Hüllen die Eigenschaften des Eisens in den ummantelten Nanoteilchen beeinflussen.

Die theoretischen Folgerungen aus den Computersimulationen wurden durch die Ergebnisse der Röntgenabsorptionsmessungen glänzend bestätigt. „Kalkulationen und Messungen haben sich hervorragend ergänzt und gegenseitig befruchtet“, sagt Heiko Wende erfreut. Denn die theoretischen Berechnungen lieferten zwar sehr präzise Resultate, doch sie basierten auf Annahmen, die nun experimentell bewiesen wurden. „Die Kombination von Theorie und Praxis lieferte uns zum ersten Mal ein genaues

Verständnis der physikalischen Prozesse in den Nanopartikeln“, sagt Wende – „und legt damit die Basis dafür, dass sich die Eigenschaften solcher magnetischen Teilchen künftig zuverlässig vorhersagen lassen.“

Die Wissenschaftler um Wende stellten fest, dass eine Ummantelung mit Aluminium das Verhalten der Eisen-Platin-Partikel besonders stark verändert. Werden die Teilchen dagegen mit Gold oder Kupfer umhüllt, wandeln sich ihre Eigenschaften kaum. „Ein hartmagnetisches Material mit einem großen Sättigungsmoment sollte man daher zum Beispiel mit Kupfer bedecken“, folgert Carolin Antoniak. „Für Platin-Eisen-Partikel mit einem hohen Eisengehalt an der Oberfläche kann durch eine Ummantelung mit Gold ein weichmagnetisches Material hergestellt werden, das dennoch ein großes magnetisches Moment besitzt.“ Hartmagnetische Werkstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich nur schwer durch ein äußeres Magnetfeld beeinflussen lassen. Weichmagnetische Substanzen reagieren dagegen rasch auf die Wirkung eines externen Feldes. Mit der Sättigung wird der maximale Wert der Magnetisierung bezeichnet, der von dem Material in einem Magnetfeld erreicht werden kann. Denn auch dieser Wert kann unterschiedlich sein. Diese Erkenntnis ist zum Beispiel hilfreich für Anwendungen in der Hyperthermie. Daneben stießen die Wissenschaftler auf etliche weitere nützliche Zusammenhänge, die als Ausgangspunkt für die Entwicklung ganz neuer Nanopartikel mit neuen Eigenschaften dienen können. Ideen für solche Eigenschaften haben Heiko Wende und seine Forscherkollegen bereits. So wollen sie künftig Nanomagnete mit organischen statt mit metallischen Materialien umhüllen. Wende: „Damit könnte es gelingen, die Eigenschaften der Partikel zum Beispiel mithilfe von Licht zu modifizieren.“

rb

Nature Communications, 2: 528, (DOI: 10.1038/ncomms1538):

A guideline for atomistic design and understanding of ultrahard nanomagnets, Carolin Antoniak, Markus E. Gruner, Marina Spasova, Anastasia V. Trunova, Florian M. Römer, Anne Warland, Bernhard Krumme, Kai Fauth, Shouheng Sun, Peter Entel, Michael Farle & Heiko Wende

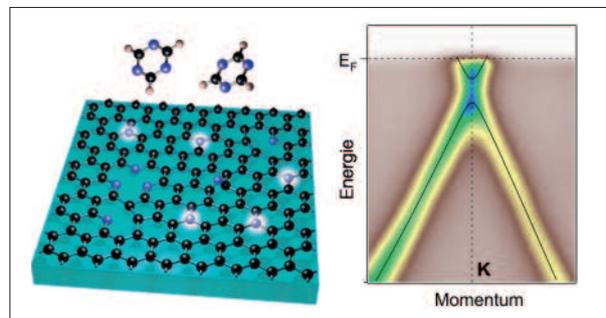
GRAPHEN NACH BEDARF VERÄNDERN

Ein internationales Forscherteam hat am HZB den Wachstumsprozess, die Struktur und die elektronischen Eigenschaften von **Stickstoff-dotiertem Graphen** untersucht.

Seit seiner Entdeckung gilt Graphen als Wundermaterial. Schon seine äußere Erscheinung ist faszinierend: Es besteht aus Kohlenstoffatomen, die wie Graphit in Bienenwabenstruktur angeordnet sind. Allerdings ist Graphen nur eine Atomlage dick. Dünner kann ein Material nicht sein. Trotzdem ist es mechanisch und auch chemisch sehr stabil. Und es besitzt eine extrem gute elektrische Leitfähigkeit. Das macht Graphen für künftige Generationen elektronischer Bauelemente attraktiv, zum Beispiel für den Bau von ultraschnellen Transistoren. Einsatzmöglichkeiten ergeben sich aber auch als elektrochemische Biosensoren, in Lithium-Ionen-Batterien oder in Brennstoffzellen. Für all das ist es allerdings notwendig, die elektronischen Eigenschaften des Graphens maßschneidern zu können, insbesondere die Energieniveaus, auf denen sich die Elektronen um den Atomkern beziehungsweise durch das Kristallgitter bewegen. Ähnlich wie bei den sonst für die Elektronik verwendeten Halbleitermaterialien bietet es sich dafür an, Graphen zu dotieren: Durch den Einbau von Fremdatomen in das Kohlenstoffgitter gelangen zusätzliche Ladungsträger in das Material, die die elektronischen Energieniveaus beeinflussen können.

Stickstoff-Atom ersetzt Kohlenstoff-Atom

Forschern um Dr. Dmitry Usachov von der Universität Sankt Petersburg und Dr. Alexander Grüneis von der Universität Wien und dem IFW Dresden ist es gelungen, Stickstoff-dotiertes Graphen (N-Graphen) herzustellen. Gemeinsam mit Kollegen aus Lund, Triest sowie vom HZB haben sie den Wachstumsprozess, die Struktur und die elektronischen Eigenschaften des Materials untersucht. „Stickstoff hat genau ein Elektron mehr als Kohlenstoff und es lässt sich prinzipiell sehr gut in das Kristallgitter des Kohlenstoffs einbauen“, erläutert Grüneis. Allerdings gibt es dafür verschiedene mögliche Konfigurationen. Wünschenswert wäre ein 1:1-Ersatz eines Kohlenstoffatoms. Dann hat das Stickstoffatom drei direkt benachbarte Kohlenstoffatome, die sechseckige Graphitstruktur des Graphens bleibt erhalten und damit seine herausragende elektrische Leitfähigkeit. Möglich sind aber auch Konfigurationen, in denen der Stick-



Bei Stickstoff-dotiertem Graphen (links) werden zusätzliche Atome und damit Ladungsträger in das Kohlenstoffgitter eingebaut, um seine elektronischen Eigenschaften steuern zu können. Im Photoemissionsspektrum (rechts) wird überprüft, ob der Stickstoff tatsächlich Elektronen abgegeben hat.

stoff nur zwei direkte Kohlenstoffnachbarn hat oder in denen sich anstatt der sechseckigen eine fünfeckige Struktur bildet. Diese Störungen im Kristallgitter wirken sich negativ auf die elektronischen Eigenschaften aus.

Zur Herstellung des N-Graphens bedampften die Forscher einen Nickel-Kristall mit Triazin, einer Verbindung aus Kohlenstoff, Stickstoff und Wasserstoff. Um zu untersuchen, wie sich daraus die Graphen-Schicht mit der Bienenwabenstruktur bildet und wie darin die Stickstoffmoleküle eingebaut werden, nutzten sie unter anderem Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS): Sie strahlten mit Röntgenlicht variierender Energie auf die Probe und analysierten, bei welchen Energien Elektronen aus den Stickstoffatomen herausgeschlagen werden. Hieraus können sie auf den Bindungszustand der Stickstoffatome schließen und damit auf ihre Umgebung.

Elektronische Eigenschaften vermessen

Grundsätzlich, so stellten die Forscher fest, wächst das N-Graphen ähnlich wie das undotierte, allerdings mit einer langsameren Rate. Dabei machen die Stickstoffatome im Kristallgitter nur einen Anteil von einem halben bis zwei Prozent der Atome aus. „Wir fanden heraus, dass sie zunächst in verschiedenen, elektronisch ungünstigen Konfiguration in das Kristallgitter eingebaut sind“, berichtet Alexan-

der Grüneis. „Um sie in die gewünschte Form zu bringen, ist eine thermische Nachbehandlung erforderlich.“ Dafür wird zunächst die starke Kopplung des Graphens an den unterliegenden Nickelkristall gelöst. Dazu wenden die Forscher einen bereits bekannten Trick an: Sie dampfen Gold auf, das unter die Graphenschicht wandert und dort eine Zwischenlage bildet. So ist das Graphen quasi freistehend. Es wird anschließend auf 500 Grad Celsius aufgeheizt. Dadurch ordnen sich etwa 80 Prozent des Stickstoffs in der gewünschten Konfiguration an.

Das konnten die Forscher durch die Messung der elektronischen Eigenschaften bestätigen. Hierfür nutzten sie winkelaufgelöste Photoemission, wobei sie analysierten, unter welchem Winkel die Elektronen von dem eingestrahlenen Röntgenlicht herausgeschlagen werden. „Wir haben für unsere Messungen die besonders brillante Strahlung von BESSY II an den Strahlrohren der UE52-PGM, der RBGL und der 1² ARPES genutzt“, sagt Grüneis. „Ihr Vorteil ist ihre

durchstimmbare Energie, um die verschiedenen möglichen Elektronenniveaus bestimmen zu können, ihr sehr monochromatisches Licht, das sehr klare Messergebnisse liefert, und ihre besonders hohe Sensitivität.“ Letzteres ist wichtig, um die geringen Mengen Stickstoff überhaupt messen zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Stickstoff, wenn er in graphitischer Konfiguration eingebaut ist, wie geplant als Elektronendonator wirkt, so dass die elektronischen Eigenschaften gezielt verändert werden können. „Diese Erkenntnisse sind eine wichtige Basis für den künftigen Einsatz von Graphen in der Elektronik“, resümiert Grüneis. ud

Nano Letters, 2011, 11 (12), 5401–5407 (DOI: 10.1021/nl2031037): Nitrogen-Doped Graphene: Efficient Growth, Structure, and Electronic Properties, D. Usachov, O. Vilkov, A. Grüneis, D. Haberer, A. Federov, V.K. Adamchuk, A.B. Preobrajenski, P. Dudin, A. Barinov, M. Oehzelt, C. Laubschat, D.V. Vyalikh 

EISEN – EIN WIDERSPRÜCHLICHER SUPRALEITER

Auf Eisen basierende Supraleiter zeigen teilweise sonderbare Eigenschaften. Ein internationales Forscherteam ist in Zusammenarbeit mit der **HZB-Forscherguppe PANDA** in Garching bei München nun auf einen bisher unbekanntem Effekt bei der Entstehung der supraleitenden Phase gestoßen.

Japanische Wissenschaftler haben 2006 überraschend eine neue Klasse von Supraleitern entdeckt: Materialien, die nicht – wie die anderen bereits seit den 1980er-Jahren bekannten Hochtemperatur-Supraleiter – auf einer Kupfer-Verbindung basieren, sondern auf einem Gitter mit Eisen- und Arsen-Atomen. Das nährte die Hoffnung auf ein besseres Verständnis des Ursprungs der Hochtemperatur-Supraleitung – und darauf, dass sich innovative und lukrative Anwendungen dafür entwickeln lassen.

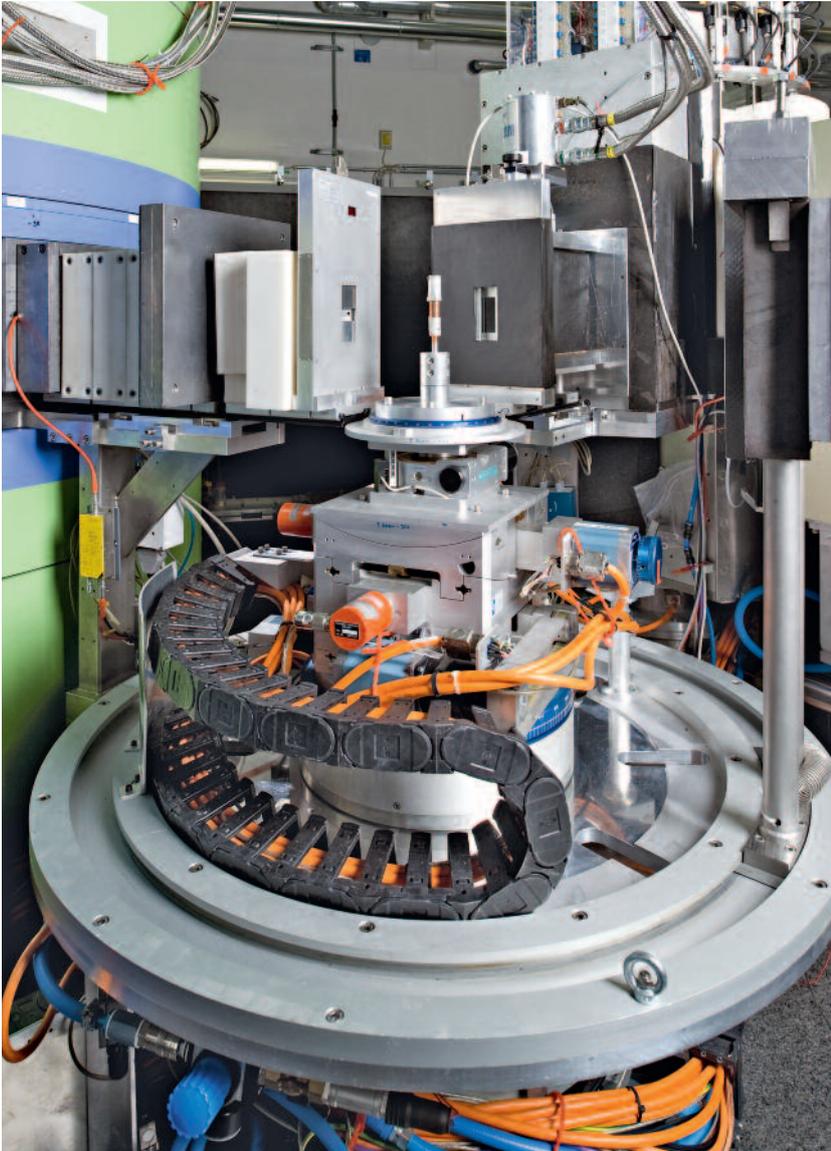
Doch noch stehen diesem Ziel einige offene Fragen zu den Eigenschaften der eisenbasierten keramischen Substanzen entgegen, die die Forscher bisher nicht beantworten konnten. Zum Beispiel ein seit kurzem bekannter und noch unverstandener Effekt: Bei der unelastischen Streuung von Neutronen am Kristallgitter der supraleitenden Werkstoffe zeigt sich eine sogenannte Anregung – eine erhöhte Streurate bei bestimmten Energie- und Impulsüberträgen. Dieser ungewöhnliche Effekt ist jedoch nur innerhalb der supraleitenden Phase beobachtbar und muss mit deren Entstehung zusammenhängen. Ihn zu entschlüsseln könnte zum Verständnis beitragen, wie sich auf Eisen basierte Supraleiter bilden und gezielt für technische Anwendungen herstellen lassen.

„Die Energieabhängigkeit und Form der Anregung müssten sich nach den bisherigen Erwartungen auf eine bestimmte

Weise verändern, wenn ein externes Magnetfeld anliegt“, sagt Enrico Faulhaber, zweiter Instrument-Verantwortlicher der gemeinsamen Forschergruppe PANDA/Technische Universität Dresden an der Forschungsneutronenquelle Heinz-Meier-Leibnitz (FRM II) in Garching bei München. Faulhaber war Kooperationspartner eines internationalen Forscherteams aus China, Frankreich, Deutschland und den USA, das 2011 gemeinsam in Garching experimentierte.

Supraleiter verändern die Streuung

Ziel der Messungen war es, den physikalischen Hintergrund der rätselhaften Neutronenstreuung zu ergründen. Einige Physiker glauben, dass sie auf einer Anregung von Elektronenspins beruht – einer quantenmechanischen Eigenschaft, die vereinfachend oft als Rotation der Teilchen um ihre eigene Achse erklärt wird. Um diese Vermutung zu überprüfen, untersuchten die Forscher zwei unterschiedliche eisenbasierte Supraleiter ($\text{FeSe}_{0.4}\text{Te}_{0.6}$ und $\text{BaFe}_{1.9}\text{Ni}_{0.1}\text{As}_2$), die bei Temperaturen unterhalb von 14 beziehungsweise 20 Kelvin (-259 bzw. -253 Grad Celsius) supraleitend werden. Die Proben platzierten sie in einem starken Magnetfeld und untersuchten systematisch die inelastische Streuung von langsamen Neutronen.



Das vom HZB betriebene Kaltneutronen-Dreiachsenspektrometer PANDA an der Forschungsneutronenquelle Heinz-Meier-Leibnitz (FRM II) in Garching bei München wurde zur Untersuchung zweier eisenbasierter Supraleiter eingesetzt.

Neue theoretische Modelle erforderlich

Dieser Befund macht das Phänomen für die Physiker noch rätselhafter. „Wir konnten zwar bestätigen, dass die Streueigenschaften und das Auftreten der Supraleitung miteinander zusammenhängen“, sagt Enrico Faulhaber, „doch wir haben nun einen zusätzlichen unverständlichen Effekt.“ Und der scheint universell zu sein, da er sich in verschiedenen eisenbasierten Supraleitern beobachten lässt. Die physikalischen Ursachen für die unterschiedliche Streuung bleiben dagegen – vorerst – weiter im Dunkeln.

Eine Entschlüsselung des Phänomens wäre jedoch wichtig für ein Verständnis der mikroskopischen Prozesse bei der Hochtemperatur-Supraleitung. Weitere Messungen an größeren und speziell präparierten Proben sowie – zur Verbesserung der Statistik – über einen noch längeren Zeitraum könnten die Datenbasis verbreitern und so möglicherweise zur Aufklärung beitragen. Doch für Enrico Faulhaber liegt der Ball nun auch bei den theoretischen Physi-

„Die Besonderheit der dafür verwendeten Messeinrichtung ist das extrem starke Magnetfeld von bis zu 14,5 Tesla, das sich während der Streuexperimente anlegen lässt“, erklärt Faulhaber. „Hinzu kommt die hohe Auflösung des Instruments PANDA – eines sogenannten Dreiachsenspektrometers –, kombiniert mit dem intensiven Neutronenfluss der kalten Quelle des FRM II, wo das Instrument betrieben wird.“ Wegen der insgesamt schwachen Streurate an den Proben war dennoch eine relativ lange Messdauer erforderlich. Zusammen mit vorangegangenen Experimenten an anderen Großforschungsanlagen ergab sich allerdings ein konsistentes Bild: Anders als erwartet – und im Gegensatz zum Verhalten bei der kritischen Temperatur, bei der die Supraleitung in dem Material zusammenbricht, – blieben Stärke und Form der Anregung von dem Magnetfeld weitgehend unbeeinflusst. Das galt für beide Proben, obwohl sie einen unterschiedlichen Aufbau hatten.

kern: „Sie müssen zunächst geeignete Modelle entwickeln, die das Verhalten der eisenbasierten Supraleiter plausibel beschreiben“, meint er. Danach ließen sich die experimentellen Einrichtungen am HZB wieder nutzen, um die theoretischen Konzepte durch weitere Messungen auf den Prüfstand zu stellen. Die Frage nach der Natur der Supraleitung in eisen- und arsenhaltigen Stoffen bleibt weiter spannend – und wissenschaftlich ein sprichwörtlich „heißes Eisen“.

rb

Phys. Rev. B 84, 024518, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.024518): Effect of the in-plane magnetic field on the neutron spin resonance in optimally doped $\text{FeSe}_{0.4}\text{Te}_{0.6}$ and $\text{BaFe}_{1.9}\text{Ni}_{0.1}\text{As}_2$ superconductors, S. Li, X. Lu, M. Wang, H. Luo, M. Wang, C. Zhang, E. Faulhaber, L.-P. Regnault, D. Singh & P. Dai

RASANTES UMKLAPPEN

Winzige **magnetische Spitzen** sind ideale Bausteine für eine neue Generation von Datenspeichern. Forscher des Max-Planck-Instituts fanden nun heraus, wie sich Daten in solchen Speichern sehr schnell verarbeiten lassen.

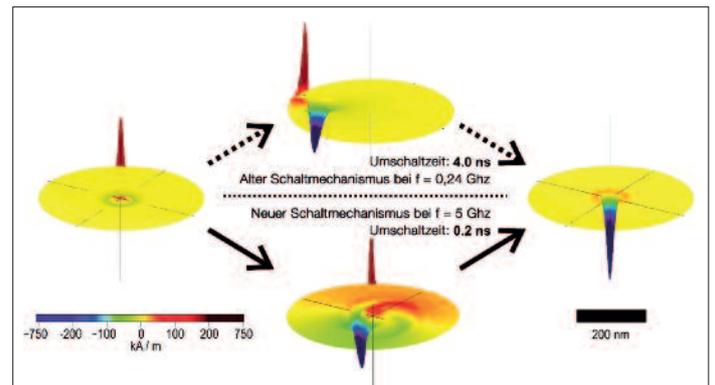
Materialien zum Speichern von Daten haben zwei Anforderungen zu erfüllen: Sie müssen die digitalen Informationen lange bewahren können. Und sie müssen es ermöglichen, Daten einfach und schnell zu speichern, zu ändern oder zu löschen. Als Kandidaten für künftige leistungsfähige Speicher, die diese Anforderungen erfüllen, gelten „magnetische Vortex-Kerne“. „Das sind nanometerkleine wirbelförmige Strukturen, die auf winzigen Plättchen aus einem ferromagnetischen Material entstehen“, erklärt Dr. Matthias Kammerer. Der Physiker, der in der Arbeitsgruppe von Dr. Hermann Stoll am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme (MPI-IS) – dem früheren Max-Planck-Institut für Metallforschung – in Stuttgart forscht, untersuchte solche Gebilde im Rahmen seiner Doktorarbeit. Dabei stieß er auf einen Mechanismus, der ein extrem schnelles Umschalten der Kerne zwischen zwei verschiedenen Zuständen ermöglicht.

www

Für seine Experimente nutzte der Physiker das Rasterröntgenmikroskop MAXYMUS, das Forscher des MPI-IS unter Leitung von Prof. Gisela Schütz gemeinsam mit Experten des HZB aufgebaut haben. Es ist seit Ende 2009 am HZB in Betrieb. Kammerer, der mit Forschern der Universitäten Gent und Regensburg zusammenarbeitete, nahm damit winzige Scheibchen aus Permalloy – eine Legierung aus Nickel und Eisen – unter die Röntgenlupe. Auf den runden Plättchen mit einem Durchmesser von unter 100 Nanometern bis zu mehreren Mikrometern und bloß wenigen Dutzend Nanometer Dicke herrscht eine strenge magnetische Ordnung: „In der Ebene der Scheibe bilden die magnetischen Momente der Nickel und Eisen-Atome konzentrische Kreise, sogenannte Vortices“, erklärt Matthias Kammerer. „In ihrem Zentrum dagegen ragt eine spitze Magnetenadel aus der Ebene des Plättchens heraus: der Vortex-Kern.“ Er hat rund 20 Nanometer Durchmesser – das entspricht dem Durchmesser von wenigen Dutzend Atomen.

Blitzschnelles Schalten mit Spinwellen

Da die Magnetisierung des Vortex-Kerns nach oben oder unten weisen kann, eignen sich diese Objekte, um Daten als digitale Einsen und Nullen zu speichern. Zum Umschalten einzelner Speicherpunkte lässt sich prinzipiell auch ein



Ein Datenpunkt ändert die Polarisation: Der Probenausschnitt zeigt die Magnetisierung, während sie sich von oben nach unten umkehrt.

statisches Magnetfeld nutzen. „Dieses Feld muss aber sehr stark sein, um die Stabilität der ausgerichteten Spitzen zu überwinden“, sagt Kammerer. Doch das würde das Verarbeiten der Daten behindern und viel Energie verzehren. Es gibt aber Tricks, um die Beständigkeit der Magnetenadeln zu überwinden. Vor einigen Jahren haben die Wissenschaftler einen Mechanismus entdeckt, der Änderungen der Daten mit weitaus schwächeren Magnetfeldern gestattet – und zwar mit so hohen Geschwindigkeiten wie sie bei den schnellsten magnetischen Datenspeichern heute möglich sind. Nun fanden Matthias Kammerer und seine Kollegen einen Weg, um die Orientierung von Vortex-Kernen noch erheblich schneller umzukehren. Sie ließen einen kurzen rotierenden Puls eines magnetischen Wechselfeldes mit einigen Gigahertz Frequenz auf die Permalloy-Plättchen einwirken. „Dadurch entstehen Spinwellen, die sich im Zentrum des Plättchens aufschaukeln – ähnlich den Wellenmustern in einem Glas Wasser, wenn man dieses schlagartig anstößt“, erklärt Kammerer. Mit ihrer Hilfe gelingt es, die Magnetenadeln in nur 0,2 Nanosekunden umzuschalten. Ergebnisse von Berechnungen, mit denen die Forscher das Phänomen theoretisch erklären konnten, lassen hoffen, dass sich das Umklappen sogar noch deutlich beschleunigen lässt. „Damit haben wir die Basis für die Entwicklung von neuartigen, äußerst stabilen und nichtflüchtigen Speichern gelegt, die sich sehr schnell schalten lassen“, sagt Kammerer. *rb*

Nature Communications, 2: 279, (DOI: 10.1038/ncomms1277): Magnetic vortex core reversal by excitation of spin waves, M. Kammerer et al.

FORSCHUNGSDURCHBRÜCHE AN DEN MX-BEAMLINES

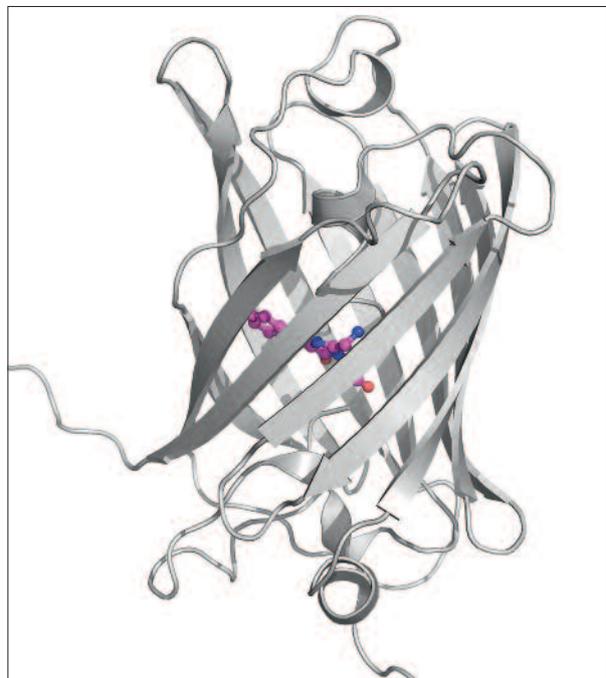
In dem 2010 gegründeten Labor für **makromolekulare Kristallographie** am Elektronenspeicherring BESSY II hat eine Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Struktur des fluoreszierenden Proteins „Dreiklang“ identifiziert. Ein anderes Team entdeckte, wie das im menschlichen Körper vorkommende Protein Rhodopsin Lichtsignale aufnimmt.

Proteine sind lebenswichtige Bausteine im menschlichen Körper, die an zahlreichen biologischen und chemischen Prozessen beteiligt sind – sie transportieren Sauerstoff im Blut, lösen als Botenstoffe Reaktionen im Nervensystem aus oder bekämpfen als Antikörper Krankheitserreger. Die Untersuchung von Proteinen ist daher das explizite Ziel des im März 2010 am Elektronenspeicherring BESSY II offiziell eingeweihten gemeinsamen Joint Berlin MX-Laboratory, des Labors für makromolekulare Kristallographie. Das Labor ist eine Kooperation des HZB mit der Freien Universität Berlin, der Humboldt-Universität Berlin, dem Max-Delbrück Centrum in Berlin-Buch sowie dem Forschungsinstitut für Molekulare Pharmakologie in Berlin-Buch. Drei Experimentierplätze stehen am HZB speziell für die Untersuchung von makromolekularen biologischen Proben zur Verfügung, von denen die beiden MX-Beamlines 14.2 und 14.3 für Experimente von Forschern der beteiligten Partner-Institute genutzt werden können.

Das intensive Röntgenlicht aus der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II eignet sich hervorragend, um die räumliche Anordnung der meist aus über 100 Aminosäuren bestehenden Proteine erforschen zu können. Außerdem ermöglicht die Röntgenstrahlung auch die Untersuchung von Proteinen in Kristallform auf atomarer Ebene, etwa um die Moleküle von Atom zu Atom zu vermessen. Diese Methode nennt man Kristallographie: Aus der Beugung des Synchrotronstrahls am Protein erhält man auf Detektoren ein sogenanntes Streubild, aus dem sich die Protein-Struktur ermitteln lässt.

Struktur des fluoreszierenden Proteins „Dreiklang“ entschlüsselt

Mithilfe der Kristallographie haben Forscher vom Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen und von der Freien Universität Berlin die Struktur des designten Proteins mit dem Namen „Dreiklang“ untersucht. Die Besonderheit dieses künstlich erzeugten Proteins ist seine fluoreszierende Wirkung. Wird es an andere Eiweißstoffe angekoppelt, können Wissenschaftler mit einem fluoreszierenden Protein Lebensvorgänge in Zellen und Organismen auf molekularer Ebene genau studieren. Die



Bändermodell des fluoreszierenden Proteins „Dreiklang“, dessen Struktur am Elektronenspeicherring BESSY II aufgeklärt wurde.

Fluoreszenz-Proteine werden dazu gezielt zum Leuchten gebracht oder bei Bedarf in den nicht-leuchtenden Zustand überführt. Sie können quasi wie eine Lampe an- oder ausgeschaltet werden.

Um zu verstehen, wie dieser Effekt funktioniert, untersuchten die Wissenschaftler an der MX-Beamline BL 14.2 erstmals die mit der Fluoreszenz verbundenen Strukturmerkmale an einem Kristall des Proteins Dreiklang im ein- und ausgeschalteten Zustand. Der grün fluoreszierende Proteinkristall wurde zunächst bei Raumtemperatur aus dem fluoreszierenden in den nicht-fluoreszierenden Zustand überführt – der Schalter also auf „Aus“ gestellt. Anschließend vermaßen die Wissenschaftler den Kristall im tiefgefrorenen Zustand bei etwa minus 170 Grad Celsius an der Beamline. „Normalerweise geht ein Proteinkristall ka-

putt, wenn man es nach der Vermessung wieder auf Raumtemperatur erwärmt“, beschreibt Dr. Uwe Müller, HZB-Arbeitsgruppenleiter „Makromolekulare Kristallographie“ das Besondere der Untersuchungen: „In diesem Fall ist es aber gelungen, das Protein funktionsfähig zu halten.“ So war es möglich, den Proteinkristall bei 30 Grad Celsius in den fluoreszierenden Zustand zu bringen, anschließend erneut einzufrieren und ein zweites Mal an der Beamline zu vermessen. Bei der anschließenden Analyse der Daten stellte das Forscherteam fest, dass sich die Struktur des Proteins im ein- beziehungsweise ausgeschalteten Zustand durch die Zahl der eingelagerten Wassermoleküle verändert hatte.

„Mit der Untersuchung des Dreiklang-Moleküls haben wir Neuland betreten, denn dabei handelt es sich um ein designtes Protein, dass es in dieser Form in der Natur nicht gibt“, sagt Uwe Müller. „Mit der MX-Beamline lassen sich also nicht nur natürliche Proteine, sondern auch völlig neue Materialien untersuchen. Damit sind wir mit unserer Arbeit noch ein Stück weiter in den Kernbereich der HZB-Forschung zu Funktionalen Materialien gerückt“, so Müller.

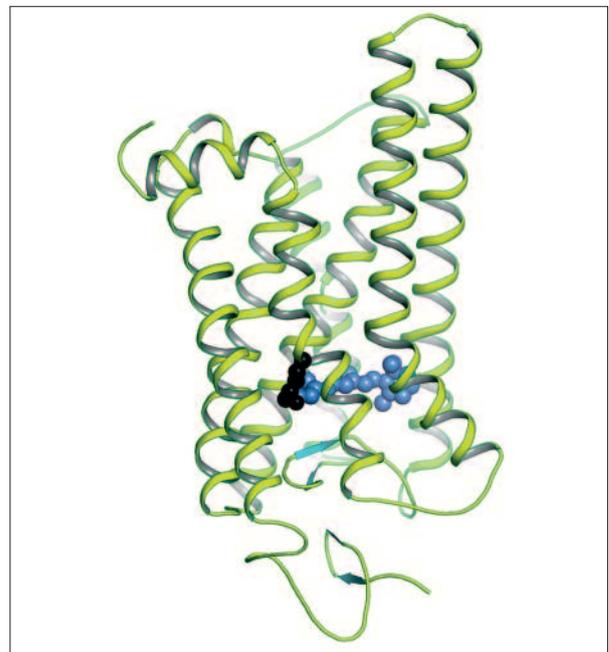
www

Struktur bei der Übertragung von Lichtsignalen untersucht

Wissenschaftler der Charité – Universitätsmedizin Berlin, konnten an derselben Beamline erstmals bei einem wichtigen Informationsträger im menschlichen Körper klären, wie ein Protein beschaffen sein muss, um ein Lichtsignal aufnehmen zu können. In Zusammenarbeit mit Kollegen der Humboldt Universität zu Berlin sowie von Universitäten in Jeonju/Südkorea, London und Toronto untersuchten sie das Rezeptorprotein Rhodopsin.

Rhodopsin gehört zu den Proteinen, die sich in den Membranen befinden, die jede lebende Zelle umhüllen. Sie verbinden die Zellen mit Signalen aus der Umwelt wie Licht, Düften und Geschmacksstoffen, aber auch mit Signalen aus dem Organismus, wie zum Beispiel Hormonen. Daher sind sie an fast allen physiologischen Vorgängen im Körper und so auch an den meisten Krankheiten beteiligt. Damit ein Rezeptor wie Rhodopsin eine Information aufnehmen kann, muss er das in einem molekularen Informationsträger – etwa einem Hormon oder einer lichtempfindlichen „Antenne“ – codierte Signal aufnehmen. Dies ist nur möglich, wenn der Rezeptor eine Bindungsstelle ausbildet, in die das Bindungsmolekül (der Ligand) passt. Der Forschungsgruppe gelang es zum ersten Mal, den Lichtrezeptor Rhodopsin in seinem lichtaktivierten Zustand in einer stabilen Form zu halten und die Struktur aufzuklären. In diesem sogenannten Meta-Zustand bindet der Rezeptor das Retinal, einen Abkömmling des Vitamin A, in einer durch Licht umgewandelten Form.

Mit ihrer Untersuchung erhielten die Forscher Einblick in den Mechanismus der Wechselwirkung zwischen dem Rezeptor und seinem Liganden und damit in die Signalüber-



Signalübertragung: Die Rhodopsin-Struktur im lichtaktivierten Zustand Meta II. Das Protein bildet eine Bindungsstelle, in die der Vitamin A-Abkömmling Retinal (blaue Kugeln) in einer durch Licht umgewandelten Form hineinpasst.

tragung in die Zelle. „Man kann an unserem Beispiel lernen, wie Signalübertragung von einem Liganden in ein Rezeptorprotein überhaupt vor sich gehen kann“, erklärt Prof. Klaus Peter Hofmann, stellvertretender Direktor des Instituts für Medizinische Physik und Biophysik der Charité und Mitglied im Zentrum für Biophysik und Bioinformatik der Humboldt Universität. „Es gibt Grund zu der Annahme, dass die grundlegenden Vorgänge bei der Ligandenbindung für verschiedene Rezeptoren ähnlich sind. Natürlich hoffen wir auch, dass man vom Verständnis der zu Grunde liegenden Strukturen und Mechanismen für die Behandlung krankhafter Veränderungen der Signalübertragung profitieren wird.“ Doch bis tatsächlich Medikamente entwickelt werden, mit denen eine solche krankhafte Veränderung der Signalübertragung behandelt werden kann, ist es noch ein langer Weg. cn

Nature Biotechnology 29, 942–947 (2011) (doi:10.1038/nbt.1952): A reversibly photoswitchable GFP-like protein with fluorescence excitation decoupled from switching, T. Brakemann, A. C. Stiel, G. Weber, M. Andresen, I. Testa, T. Grotjohann, M. Leutenegger, U. Plessmann, H. Urlaub, C. Eggeling, M. C. Wahl, S. W. Hell & S. Jakobs

Nature, Vol. 471 (7340): 651–52011 (2011) (doi: 10.1038/nature09789): Crystal structure of metarhodopsin II, H.-W. Choe, Y. J. Kim, J. H. Park, T. Morizumi, E. F. Pai, N. Krauß, K. P. Hofmann, P. Scheerer & O. P. Ernst

URANSPINS UNTER DER NEUTRONENLUPE

Ein internationales Forscherteam hat am HZB eine ungewöhnliche Uranverbindung analysiert. Die Ergebnisse könnten den Weg zu neuen **Hochtemperatursupraleitern** weisen.

Auch rund 25 Jahre nach der Entdeckung der ersten Hochtemperatursupraleiter sind die Mechanismen, die den elektrischen Widerstand in diesen Werkstoffen zum Verschwinden bringen, noch rätselhaft. Die Untersuchung von ungewöhnlichen metallischen Substanzen, in denen die Supraleitung Hand in Hand mit einem ferromagnetischen Verhalten auftritt, soll dabei helfen, supraleitende Materialien gezielt für technische Anwendungen zu entwickeln. Ein Forscherteam am HZB nahm dazu UCoGe unter die Lupe – eine exotische chemische Verbindung aus Uran, Cobalt und Germanium.

„Das Besondere an diesem Material ist die Tatsache, dass Supraleitung und Ferromagnetismus bei normalem Umgebungsdruck und Raumtemperatur koexistieren“, sagt Dr. Kirrily Rule, die bis vor kurzem als Wissenschaftlerin in der Abteilung Forschung mit Spallationsneutronen des HZB tätig war. Und: Der Ferromagnetismus scheint bei UCoGe erst die Voraussetzung dafür zu sein, dass ein supraleitender Zustand entstehen kann. Das ist umso erstaunlicher, weil bei den meisten anderen supraleitenden Substanzen ein starkes Magnetfeld – wie es im Inneren eines ferromagnetischen Materials herrscht – den widerstandslosen Zustand kollabieren lässt.

Richtungsabhängigkeit nachgewiesen

Um die Frage zu ergründen, warum das sich bei UCoGe anders verhält, nutzten Rule und das internationale Team von Forschern aus den USA, Großbritannien und Frankreich das Dreiachsenspektrometer FLEX am HZB. Damit analysierten sie die Streuung von kalten – also relativ langsamen – Neutronen an einer Probe dieses Materials, um so die atomaren Eigenschaften der Uranverbindung zu ergründen. „Die Vorteile des FLEX-Spektrometers sind ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis mit wenig störenden Neutronen im Hintergrund“, sagt Dr. Chris Stock vom NIST Zentrum für Neutronenforschung in Gaithersburg/Maryland (USA), der an den Experimenten beteiligt war. „Das ermöglicht es, auch schwache Signale zu beobachten“ – zum Beispiel in UCoGe, an dessen Atomgitter nur so wenig Neutronen gestreut werden, dass die Forscher zusätzlich zu einem Trick greifen mussten: Sie



www

Mithilfe des Dreiachsenspektrometers FLEX wurde die supraleitende Verbindung aus Uran, Cobalt und Germanium untersucht.

arrangierten zwei einzelne Kristalle des Materials so in der Messapparatur, dass sie sich wie ein einzelner größerer Kristall untersuchen ließen.

Um die Gefahr einer Verfälschung der Messungen durch Neutronen aus der Umgebung zu verringern, ist der Detektor bei FLEX durch einen massiven Mantel aus Polyethylen mit einer Borverbindung abgeschirmt.

Der Aufwand hat sich gelohnt. „Wir konnten eine deutliche Anisotropie, also Richtungsabhängigkeit der Neutronenstreuung nachweisen“, berichtet Rule. Daraus schließen die Wissenschaftler, dass auch die magnetischen Momente der Elektronen des Urans – sie sorgen für die ferromagnetische Eigenschaft – eine starke Anisotropie aufweisen. „Dieser Aspekt könnte entscheidend sein für die Zähigkeit der Supraleitung in dem Material“, ergänzt Stock. Und er liefert Hinweise auf die zugrunde liegende Elektronenstruktur, die für die Entwicklung neuartiger supraleitender Stoffe von Bedeutung sein könnten. Auch die Natur der Supraleitung in anderen Materialien wird sich nach Meinung der Forscher dadurch besser verstehen lassen. Sie wollen daher das Neutronenspektrometer am HZB nutzen, um weitere supraleitende Substanzen zu untersuchen – bis daraus maßgeschneiderte Materialien hervorgehen, die der technischen Anwendung von Hochtemperatursupraleitern endlich zum Durchbruch verhelfen. rb

Phys. Rev. Lett. 107, 187202, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.187202): Anisotropic Critical Magnetic Fluctuations in the Ferromagnetic Superconductor UCoGe, C. Stock, D.A. Sokolov, P. Bourges, P.H. Tobash, K. Gofryk, F. Ronning, E.D. Bauer, K.C. Rule, A.D. Huxley

MIT ADDITIVEN DIE SCHMIERUNG VERBESSERN

Am Helmholtz-Zentrum Berlin untersuchte ein Forscherteam um Dr. Ali Zorbakhsh von der London University die **Grenzfläche** zwischen Öl und Metall.

Schmierstoffe helfen, Materialverschleiß in Maschinen zu minimieren, Energie in Motoren zu sparen oder den Wirkungsgrad von Windkraftanlagen zu erhöhen. Obwohl sie seit Jahrhunderten erfolgreich eingesetzt werden, ist immer noch nicht genau verstanden, wie sie wirken. Dieses Rätsel zu lösen hat sich Ali Zorbakhsh zur Aufgabe gemacht. Der Chemiker von der London University untersucht, wie Öl Oberflächen benetzt und wie die Wirkung des Öls als Schmiermittel durch verschiedene Zusätze optimiert werden kann. Diese Additive beeinflussen beispielsweise die Oberflächenspannung, die Lebensdauer und die Konsistenz des Öls. Eigentlich mögen sich Öl und Metall nicht, wie man aus der metallenen Salatschüssel kennt: Öl zieht sich zu Tropfen zusammen anstatt die Oberfläche gleichmäßig zu benetzen, wie es für eine gute Schmierung notwendig ist. Additive wie Palmitinsäure sorgen dafür, dass sich das ändert. Die langgestreckten Moleküle haben zwei Enden, deren eines gerne an dem Metall andockt und deren zweites attraktiv für das Öl ist. Wie sich die Palmitinsäure tatsächlich an der Grenzfläche von Öl und Metall verhält, hat Zorbakhsh nun erstmals auf atomarer Ebene untersucht. Dabei haben er und seine britischen Kollegen im Rahmen eines EU-Projektes mit Forschern aus Berlin und Belgien sowie mit Partnern aus der Industrie zusammengearbeitet. Sie präparierten Eisenschichten mit einer dünnen Oxidlage und tauchten sie in einem speziellen Probenhalter in Öl, dem variierende Mengen von Palmitinsäure zugesetzt waren. Die Grenzschicht haben sie mithilfe von Neutronenreflektometrie am Helmholtz-Zentrum Berlin untersucht. „Hier gibt es hervorragende Untersuchungsmethoden und die Experten dafür“, sagt Zorbakhsh. Die Messungen fanden am V6 Instrument an der Neutronenquelle BER II unter Leitung von Roland Steitz statt. „Dieses Experiment funktioniert überhaupt nur mit Neutronen, denn nur sie können ungestört durch die Metallschicht an die Grenzfläche gelangen und dort mit den Molekülen wechselwirken“, erläutert Steitz. Die Grenzschicht durch die Flüssigkeit hindurch zu untersuchen, ohne das temperaturempfindliche Öl mit hochenergetischen Strahlen zu verdampfen, sei noch komplizierter.

Gute Basis für praktische Anwendungen

„Wir haben zunächst einmal gezeigt, dass wir mit unserer Methode tatsächlich Informationen über die Grenzfläche zwischen Öl und Metall gewinnen können“, sagt Steitz. Die Forscher fanden heraus, dass sich auf der leicht porösen Eisenoxid-Oberfläche aus der darüber stehenden Ölphase eine zwei Lagen dicke Grenzschicht aus Palmitin-Molekülen abscheidet: Zunächst docken die Fettsäuremoleküle an der Eisenoxid-Oberfläche an und bilden eine geschlossene, einlagige Schicht. Dabei stehen die Moleküle nicht senkrecht zur Oberfläche sondern schräg. Die darüberliegende zweite Schicht Palmitin bildet locker ins Öl reichende Arme. Grundsätzlich steigt die Menge der adsorbierten Additive mit ihrer Konzentration im Öl.

„Diese ersten Ergebnisse sind eine gute Grundlage, um weitere Additive und typische in Gebrauch befindliche Additivmischungen zu untersuchen“, resümiert Zorbakhsh. „Außerdem werden wir nun genauer studieren, welchen Einfluss die Additivschicht auf die Schmierwirkung hat.“ Insbesondere werden die Forscher in praxisnahen Experimenten am HZB untersuchen, welche Auswirkungen Belastungen wie Druck, Scherkräfte und höhere Temperaturen auf die Grenzfläche und das Schmierverhalten haben. Die Ergebnisse können dann der Industrie helfen, die Konzentration der Additive und ihre Zusammensetzung für die unterschiedlichen Schmier-Anwendungen zu optimieren.

Langmuir 2011, 27 (10), 6085-6090: Surfactant Adsorption at the Metal-Oil Interface, M. Campana et al.



Vorbereitung der Untersuchung von Additiven am V6 Reflektometer.



ud

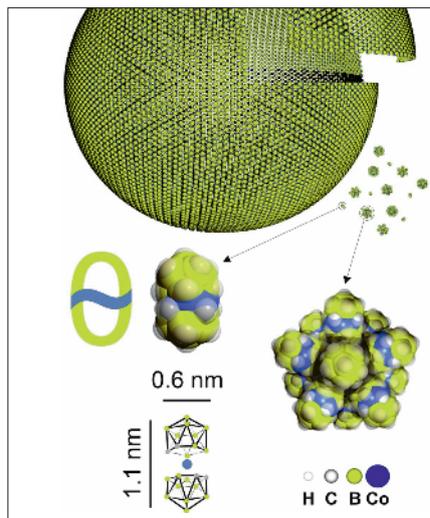
ZWEI AGGREGATE IN KOEXISTENZ

Ein Forscherteam um Dr. Pierre Bauduin hat an den Großgeräten des HZB das **ungewöhnliche Aggregationsverhalten** einer Borwasserstoffverbindung beobachtet.

Selbstassemblierung, das heißt, die Bildung von Strukturen ohne äußere Einwirkungen, kommt in der Natur und besonders bei Moleküloberflächen sehr häufig vor. Zu diesen Strukturen gehören Mizellen und Vesikel. Vesikel sind größere kugelförmige Anordnungen von oberflächenaktiven Molekülen in einer Flüssigkeit, Mizellen sind kleine Anhäufungen von amphiphilen, also wasser- und fettlöslichen Molekülen, die sich ebenfalls spontan zusammenlagern. Mizellen bilden sich jedoch erst ab einer bestimmten Stoffkonzentration im Lösungsmittel. Weil sich solche Prozesse für technische Anwendungen nutzen lassen, sind sie für Wissenschaft und Industrie höchst interessant. Bei der Untersuchung des Aggregationsverhaltens des Cobaltabisdicarbollid-Anions ($[3,3'\text{-Co}(1,2\text{-C}_2\text{B}_9\text{H}_{11})_2]^-$, COSAN⁻) entdeckte ein internationales Forschungsteam um Dr. Pierre Bauduin vom französischen Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM) dank der Großgeräte am HZB die Bildung von einschichtigen Vesikeln und kleineren Mizellen an wasserlöslichen Metallcarboranen. Carborane sind Borwasserstoffverbindungen, bei denen ein oder mehrere Bor-Atome durch Kohlenstoff-Atome ersetzt wurden. Für diese Verbindungen war die Bildung solcher Strukturen bislang unbekannt. „Wir haben gezielt das Cobaltabisdicarbollid-Anion gewählt, weil dieser handelsübliche Stoff in absehbarer Zeit Anwendungen in interessanten Gebieten finden wird, darunter in der Pharmazie, der synthetischen Chemie und bei der Beseitigung nuklearer Abfälle“, sagt Dr. Sylvain Prevost vom Institut Weiche Materie und Funktionale Materialien am HZB.

Form und Ladungsdichte ausschlaggebend

Um das Aggregationsverhalten des kurz COSAN genannten Stoffes zu erforschen, lösten die Wissenschaftler ihn in unterschiedlicher Konzentration in sogenanntem schwerem Wasser (Deuteriumoxid) und untersuchten die Proben am HZB mit einer Kombination aus Klein- und Weitwinkel-Röntgenstrahlung sowie Neutronenstreuung. „Mit der Röntgenstrahlung können wir sehen, wo sich besonders viele Elektronen befinden. Im vorliegenden Fall im Cobalt-Ion. Mit Neutronen beobachten wir den Wasserstoff in der Bor-



Das Cobaltabisdicarbollid-Anion ist wie ein Sandwich aufgebaut: Es besteht aus zwei gewölbten Halbkäfigen mit einem Cobalt (III)-Ion als „Belag“ in der Mitte. Es bildet bei niedrigen Konzentrationen in schwerem Wasser größere Vesikel (oben), bei einer Erhöhung der Konzentration zerfällt es in kleinere Mizellen (re.).

wasserstoffverbindung. In dem wir beide Techniken nutzen, erhalten wir einen besseren Überblick über das System“, erklärt Prevost.

Dabei fanden sie heraus, dass das teils hydrophobe COSAN bei geringerer Konzentration zunächst Vesikel bildet, um dem Wasser möglichst wenig Oberfläche zu bieten. „Erst bei einer steigenden Konzentration zerfallen die Vesikel aufgrund ihrer zu dicht beieinander liegenden negativen elektrischen Ladungen und bilden kleinere Mizellen. Diese verringern die Interaktionen der Moleküle, bieten aber immer noch eine geringere Oberfläche als dies bei einzeln im Wasser schwimmenden Molekülen der Fall wäre“, erläutert Prevost. In einer gewissen Bandbreite der Konzentration bestehen daher beide Formen parallel. „Das ungewöhnliche Aggregationsverhalten von COSAN ergibt sich aus der Kombination seiner besonderen Form, Ladungsdichte und Formtreue“. Das macht den Stoff für eine Reihe von technischen Anwendungen interessant – von der Wiederaufbereitung von Kernbrennstoffen, über Ionen-selektierende Elektroden bis hin zum Einsatz als HIV-Proteasehemmer. Um auch in der Materialforschung praktische Anwendungen damit zu entwickeln, sind aber noch weitere Forschungen notwendig. *cn*

Phys. Rev. Lett. 107, 187202, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.187202): Anisotropic Critical Magnetic Fluctuations in the Ferromagnetic Superconductor UCoGe, C. Stock et al.

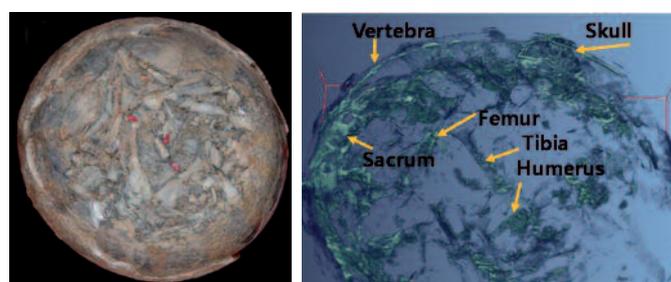
FREIER BLICK IN DAS EI EINES DINOSAURIERS

Dr. Nikolay Kardjilov vom HZB half Kolleginnen und Kollegen in Südkorea mit am HZB entwickelten Instrumenten bei der Untersuchung eines gut 100 Millionen Jahre alten Fossils eines **Titanosaurier-Embryos**.

Ein Saurierei zu finden, ist für Paläontologen nicht besonders aufregend – es sei denn, es steckt noch ein Embryo darin: Solche Funde sind extrem selten. Im vorliegenden Fall war das fast runde Ei mit knapp 90 Millimetern Durchmesser schon in den 1960-Jahren in der Wüste Gobi entdeckt worden. Doch analysiert wurden die Skelettreste eines noch ungeborenen Vertreters der Titanosaurier erst 2011 in Südkorea. Das Ei gehört zum Bestand des National Science Museum of Korea in Daejeon. Dort steht auch die Neutronenquelle „High-Flux Advanced Neutron Application Reactor“ (HANARO) des Korea Atomic Energy Research Institute, an der das Fossil untersucht werden sollte. Es bestand aus einer dünnen Kalzitschicht mit einem Hohlraum, an deren Boden sich die winzigen Knochen sammelten. Eine klassische Präparation war nicht möglich, weil die Überreste zu winzig und zu fragil waren. Die beteiligten Forscher entschieden sich daher für das zerstörungsfreie Verfahren der Neutronentomographie. Mit den Röntgenstrahlen eines Computertomographen wären sie nicht weiter gekommen, da die Dichte des fossilen Materials der des umgebenden Gesteins zu ähnlich war. Und für die Untersuchung mit Synchrotronlicht war die Probe wiederum zu groß. Die Neutronentomographie bot dagegen ideale Voraussetzungen – weil sie mit Proben von den Ausmaßen des Sauriereis umgehen kann und scharfe Kontraste zwischen fossilisiertem Knochenmaterial und umgebendem Gestein zeigt. Dafür sorgt das Kristallwasser in den mineralisierten Knochen. „Die Neutronen sind sehr empfindlich im Bezug auf Wasserstoff“, erklärt Nikolay Kardjilov vom Institut für Angewandte Materialforschung des HZB.

Know-how-Transfer nach Südkorea

Dennoch standen die Wissenschaftler vor einem Problem: „Die koreanischen Kollegen konnten die zu untersuchenden Strukturen nicht fein genug auflösen“, sagt Kardjilov. Mit dem Versuchsaufbau in Daejeon ließen sich Bilder mit einer Auflösung von 300 Mikrometern pro Pixel erzeugen. Dagegen erreicht das „Cold Neutron Radiography“ oder kurz CONRAD genannte Instrument am HZB eine Auflösung von 50 Mikrometern pro Pixel. Doch aus versicherungstechni-



Ansicht des fossilisierten Titanosaurierembryos – die roten Pfeile im linken Bild weisen auf Knochen des Embryos, rechts eine tomographische Aufnahme.

schen Gründen wollte das Museum in Daejeon das wertvolle Exponat nicht in Berlin untersuchen lassen. Also reiste Nikolay Kardjilov nach Korea – im Gepäck hatte er einen dünnen Szintillatorschirm sowie ein hochauflösendes Objektiv. „Mit unserem Know-how vom CONRAD-Detektor konnten wir den Kollegen entscheidend weiterhelfen“, erklärt der Berliner Forscher.

Bei der Neutronentomographie wird die Probe mit einem parallelen Strahl thermischer Neutronen untersucht. Dabei wird sie auf einem Drehtisch jeweils ein Stück bewegt, insgesamt um 180 Grad. Im konkreten Fall war das Saurierei in 600 Schritten gedreht und mit einem 25 meV-Neutronenstrahl ausgeleuchtet worden. Im Computer wurden die Einzelbilder dann zusammengesetzt. „Bei der hohen Auflösung gibt es einige Herausforderungen“, sagt Kardjilov. Der parallele Neutronenstrahl fächert auf dem Weg zur Probe leicht aus. Bei geringeren Auflösungen lässt sich dieser Effekt vernachlässigen. Für das Saurierei musste das Bild dagegen mit einem sogenannten Kegelstrahlalgorithmus korrigiert werden. Diese Arbeiten fanden am HZB statt, wo man damit viel Erfahrung hat. Das Resultat sind beeindruckende Aufnahmen des Eis. „Es ist, als hätte man eine Milchglasscheibe von den Bildern entfernt“, sagt Kardjilov erfreut. cs

Gondwana Research 20 (2011), p. 621-629: Description of the first lithostrotian titanosaur embryo in ovo with Neutron characterization..., G. Grellet-Tinner et.al.



HIGHLIGHTS AUS DER EIGENEN FORSCHUNG

Die Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums Berlin sorgen mit ihrer Arbeit dafür, dass der Betrieb und die Weiterentwicklung der beiden Forschungsgroßgeräte reibungslos funktionieren. 2011 stand dabei ganz im Zeichen des Umbaus der Neutronenquelle BER II. Neben der höheren Leistungsfähigkeit des Strahlrohrs und der Neutronenleiter verbesserten die Mitarbeiter des HZB die Forschungsmöglichkeiten an den Messplätzen.

Im Rahmen des eigenen Forschungsprogramms gelingt es den Wissenschaftlern des HZB immer wieder, ihr Methodenrepertoire am HZB weiter zu entwickeln und damit die Basis für neue Erkenntnisse zu schaffen. Bislang beispielsweise können die Bewegungen von Molekülen im entscheidenden Moment einer chemischen Reaktion nicht in Echtzeit beobachtet werden, weil diese im Bruchteil von Nano-Sekunden ablaufen. Damit solche unverständlichen Prozesse künftig entschlüsselt werden können, entwickelte eine Gruppe von Forschern am HZB eine Methode, mit der sie Moleküle mit Hilfe von Lichtblitzen im Abstand von Femtosekunden filmen können.

Die Größe und die elektronischen Eigenschaften von Nanopartikeln lassen sich so gestalten, dass sie wichtige Aufgaben in Solarzellen oder bei der Wasserstoffproduktion übernehmen. Um Nanopartikel noch genauer untersuchen zu können, verbesserte ein anderes Team von HZB-Wissenschaftlern mithilfe der brillanten Röntgenstrahlung an der Synchrotronquelle BESSY II die räumliche Auflösung der Röntgenspektroskopie.

Der schnellen Speicherung von Daten kommt im Zeitalter der Information eine immer größere Bedeutung zu. Bei der Untersuchung von Bariumtitanat entdeckten Forscher des HZB eine ungewöhnliche und äußerst seltene Eigenschaft: Der multiferroische Kristall zeigt bereits bei Raumtemperatur sowohl ferroelektrische als auch ferromagnetische Eigenschaften und ist damit ein idealer Baustoff für Datenspeicher. Bislang wurden multiferroische Eigenschaften an Materialien nur bei sehr tiefen Temperaturen beobachtet. Wir laden Sie ein, mehr zu diesen und vielen weiteren spannenden Ergebnissen aus der Grundlagenforschung am HZB zu erfahren, die wir Ihnen auf den folgenden Seiten präsentieren.

SCHNELLSTER FILM DER WELT AUFGENOMMEN

Mithilfe von Röntgenlaserblitzen und einer holografischen Abbildung haben Forscher des HZB gezeigt, dass sich **ultraschnelle Vorgänge** im Reich der Moleküle und Nanostrukturen filmen lassen.

Es kommt nicht oft vor, dass wissenschaftliche Ergebnisse einen Platz im Guinness-Buch der Rekorde finden. Dem Physiker Prof. Stefan Eisebitt, Leiter der HZB-Forscherguppe Funktionale Nanomaterialien und der Arbeitsgruppe Nanometer-Optik und Röntgenstreuung an der TU Berlin, ist dieses Kunststück mit seinem Team gelungen. In der Ausgabe 2012 der „Weltrekord-Bibel“ sind die Berliner Forscher mit einer Abfolge von Bildern im Abstand von nur 50 Femtosekunden (Billiardstel Sekunden) als Schöpfer des „schnellsten Films der Welt“ aufgeführt. Die Forscher wollten damit zeigen, dass sich extrem schnelle Vorgänge im Nanokosmos mithilfe von Röntgenlichtblitzen zeitaufgelöst verfolgen lassen. „Viele physikalische, chemische und biologische Prozesse, die für technische Anwendungen oder die Erforschung und Behandlung von Krankheiten wichtig sind, spielen sich auf der Skala von Atomen, Molekülen oder Nanostrukturen ab“, sagt Eisebitt – etwa komplexe chemische Reaktionen oder die Faltung von Proteinen. Die wenige Millionstel Millimeter kleinen Partikel lassen sich zwar mit Verfahren wie der Beugung

kurzwelliger Röntgenstrahlung sichtbar machen. Doch „live“ zu beobachten, wie sie sich bewegen, kollidieren oder ihre Gestalt verändern, war bislang nicht möglich.

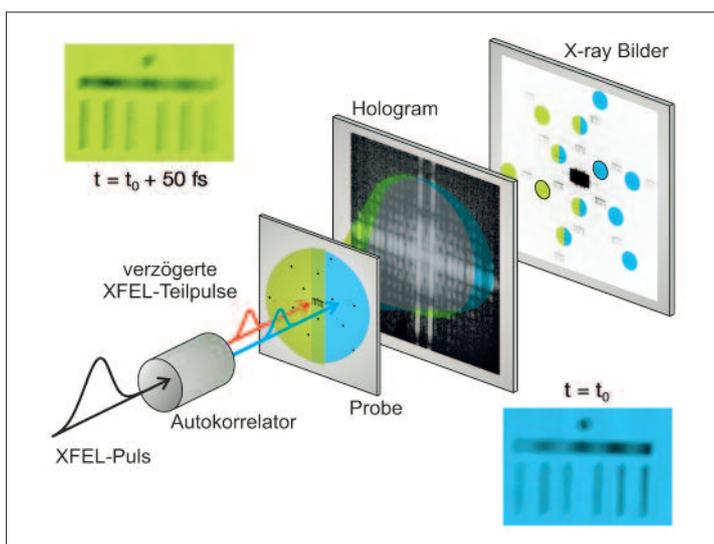
Aufnahmen im Femtosekundenabstand

Die Forscher um Stefan Eisebitt fanden nun einen Weg, das zu ändern. Dazu nutzten sie kurze Pulse von Röntgenlaserlicht, mit denen sie ein miniaturisiertes Abbild des Brandenburger Tors, das in eine mikrometerdünne Metallfolie geätzt war, wie mit einem Stroboskop beleuchteten. Die Lichtblitze mit 23,4 Nanometer Wellenlänge und 20 Femtosekunden Dauer entstammten der Forschungsanlage FLASH des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY) in Hamburg. Elektronen, die dort auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und durch Magnetfelder periodisch abgelenkt werden, senden die begehrten kurzwelligen Laserblitze aus.

Röntgenlaserpulse lichteten das Motiv mehrmals kurz nacheinander ab – wie bei einem Film. „Ein Problem bestand darin, dass die zur Abbildung verwendeten Laserblitze in einem unvorstellbar kurzen zeitlichen Abstand von wenigen Femtosekunden aufeinander folgten – viel zu dicht, um damit wie bei einer Kamera einfach eine Sequenz einzelner Bilder aufnehmen zu können“, sagt Eisebitt. Denn auch bei einer Digitalkamera wird zwischen zwei Aufnahmen stets etwas Zeit benötigt, um den Mikrochip auszulesen und das vorangegangene Foto zu speichern. Diese Zeit wäre auch bei einem Video aus der Nanowelt zum Verarbeiten einzelner Bilder erforderlich. Doch das Tempo der Vorgänge würde jeden Bildsensor überfordern.

Mathematisch rekonstruierte Aufnahmen

Stefan Eisebitt und sein Team griffen daher zu einem Trick: Die Wissenschaftler aus Berlin erzeugten zwei Aufnahmen der Miniaturversion des Brandenburger Tors – speicherten sie aber nicht nacheinander in zwei separaten Bildern ab, sondern überlagerten sie in einem Hologramm. Dazu



Versuchsaufbau: Die Röntgenlaserpulse treffen im Abstand von 50 Femtosekunden zuerst auf die Probe und überlagern sich dann in einem Hologramm, aus dem die Bilder errechnet werden.

spalteten die Forscher den Röntgenstrahl durch einen Spiegel in zwei Teilstrahlen auf. Weitere Spiegel lenkten einen der beiden Strahlen so um, dass er 50 Femtosekunden später auf das Objekt traf als der andere.

Das Hologramm entstand in einem lichtempfindlichen Chip hinter dem Objekt, auf den beide Teilstrahlen nach dem Belichten des Objekts trafen. Mithilfe mathematischer Operationen ließen sich aus dem räumlichen Muster der beiden holografisch vermischten Momentaufnahmen die beiden Bilder des Brandenburger Tors rekonstruieren.

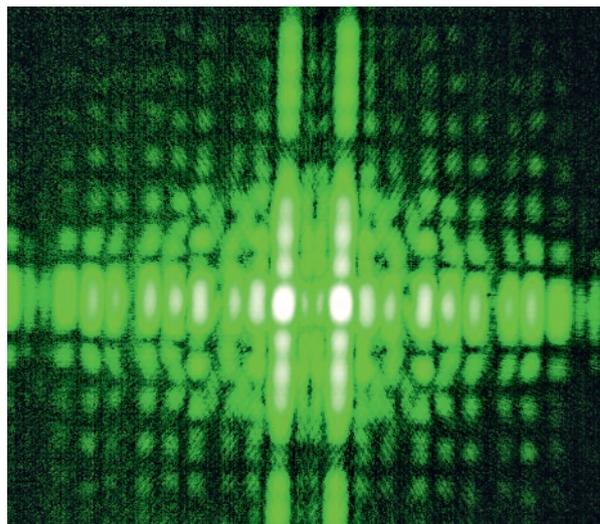
Der „Film“, der so entstand, ist denkbar kurz und ziemlich langweilig, gesteht Stefan Eisebitt schmunzelnd ein: Er besteht nur aus zwei Bildern, die zudem genau dasselbe zeigen – denn das abgelenkte Motiv hat sich zwischen den Aufnahmen nicht verändert. Zudem ist es weitaus größer als ein Molekül oder eine Ansammlung von Atomen. „Doch uns ging es bei diesem Experiment in erster Linie darum, zu zeigen, dass die Methode, Filme von nanometerkleinen Strukturen mit extrem hoher zeitlicher Auflösung zu erstellen, funktioniert“, betont der Berliner Physiker. Und das ist ihm und seinem Team glänzend gelungen.

Stefan Eisebitt und seine Teams widmen sich der Weiterentwicklung der experimentellen Verfahren. Darüber hinaus richten sie ihren Fokus auf die Aufklärung magnetischer Phänomene – etwa die ultraschnelle Entmagnetisierung mancher ferromagnetischer Materialien: Diesen Effekt, der Mitte der 1990er-Jahre entdeckt wurde, verstehen die Physiker bislang nicht. „Bei dem bemerkenswerten Vorgang verschwindet die Magnetisierung in dünnen magnetischen Schichten in wenigen Dutzend Femtosekunden“, erklärt Eisebitt. Ein Verständnis dafür, was diesen Effekt hervorruft, würde die Forscher der Antwort auf die Frage näher bringen, wo die physikalischen Grenzen für die Geschwindigkeit einer Magnetisierungsänderung liegen, etwa beim Umschalten eines Daten-Bits in einem Speicher.

Magnetspeicher unter der Lupe

Auch niederländische Forscher um Dr. Ilie Radu von der Arbeitsgruppe Methoden und Instrumentierung der Synchrotron-Strahlung am HZB nahm ultraschnelle magnetische Prozesse unter die Lupe. Dazu nutzten sie das Berliner Elektronen-Synchrotron BESSY II – und ähnliche experimentelle Methoden wie Stefan Eisebitt. Bei der Analyse der physikalischen Prozesse, die in magnetischen Speichermedien ablaufen, stieß das Team um Radu auf ein bislang unbekanntes Phänomen.

In solchen Speichern werden die Daten durch eine bestimmte Ausrichtung von atomaren magnetischen Mo-



Aufnahme des Hologramms, aus dem die Wissenschaftler zwei im Abstand von 50 Femtosekunden aufgenommene Bilder des Brandenburger Tors rekonstruierten.

menten codiert. Die Momente benachbarter Atome sind entweder parallel oder antiparallel orientiert – entsprechend einer digitalen „1“ oder „0“. Für die Ausrichtung sorgt eine starke quantenmechanische Kraft, die Austauschwechselwirkung. Die Forscher wollten wissen, was geschieht, wenn man diese Kraft überwindet.

Sie beschossen eine Legierung aus Gadolinium, Eisen und Cobalt mit wenigen Femtosekunden kurzen Laserpulsen. Diese erhitzen das metallische Material, wodurch sich die Magnetisierung änderte. Die anfängliche Magnetisierung der Probe basierte auf einer antiparallelen Ausrichtung der Gadolinium- und Eisen-Atome. Nach dem Laser-Beschuss verfolgten die Wissenschaftler mit ultrakurzen Röntgenblitzen den Wandel im Material. Sie stellten fest, dass die magnetischen Momente unterschiedlich schnell ihre Richtung änderten: Beim Eisen geschah das in weniger als 300 Femtosekunden, die Gadolinium-Atome brauchten fünfmal so lang. Somit gelang es mithilfe ultrakurzer Laserpulse als externem Auslöser, die Magnetisierung so schnell umzudrehen, dass das für die beiden Bestandteile des Ferromagneten auf unterschiedlichen Zeitskalen geschah. „Das ist, als ob sich beim Umpolen eines Magneten der Nordpol schneller wandeln würde als der der Südpol“, sagt Radu. „Dieser Befund weist den Weg zur Entwicklung von neuartigen Computerspeichern, die Daten rund tausend Mal schneller verarbeiten können, als das heute möglich ist.“ Vielleicht winkt damit der nächste Guinness-Rekord. *rb*

Nature Photonics 5, 99–102, 2011 (doi:10.1038/nphoton.2010.287): Sequential femtosecond X-ray imaging, C. M. Günther, B. Pfau, R. Mitzner, B. Siemer, S. Roling, H. Zacharias, O. Kutz, I. Rudolph, D. Schöndelmaier, R. Treusch & S. Eisebitt

Nature 472, 205–208, 2011 (doi: 10.1038/nature09901): Transient ferromagnetic-like state mediating ultrafast reversal of antiferromagnetically coupled spins, I. Radu, K. Vahaplar, C. Stamm, T. Kachel, N. Pontius, H. A. Dürr, T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing & A. V. Kimel

MULTITALENTE FÜR DATENSPEICHER

Werkstoffe, die zugleich **ferromagnetisch** und **ferroelektrisch** sind, ermöglichen den Bau schneller und energiesparender Datenspeicher. HZB-Forscher haben dazu die Grundlage erarbeitet, in dem sie das „multiferroische“ Materialverhalten bei Raumtemperatur nachwiesen.

Multiferroische Materialien gelten als Wunderwerkstoffe für die Mikroelektronik, denn sie vereinen zwei für die Verarbeitung von digitalen Daten nützliche physikalische Eigenschaften: Ferromagnetismus und Ferroelektrizität. Während sich ein ferromagnetischer Stoff durch ein externes Magnetfeld magnetisieren lässt – wie Eisen unter der Wirkung eines Stabmagneten –, verändert ein ferroelektrischer Kristall in einem elektrischen Feld seine spontane Polarisierung: Positive und negative elektrische Ladungen werden teilweise getrennt. Die Kombination von Ferromagnetismus und Ferroelektrizität lässt sich nur bei wenigen Substanzen finden, weil die beiden Phänomene unterschiedliche Bedingungen benötigen. Treten sie dennoch gemeinsam auf, dann meist nur bei sehr tiefen Temperaturen.

Multiferroisch bei Raumtemperatur

Wissenschaftler am HZB um den Physiker Dr. Sergio Valencia Molina konnten multiferroische Eigenschaften bei normaler Umgebungstemperatur nachweisen. Dazu nutzten sie den Elektronenspeicherring BESSY II, wo sie Röntgenlicht an Bariumtitanat (BaTiO_3) streuten. Mit dem „Soft X-Ray Resonant Magnetic Scattering“ genannten Verfahren untersuchten die Forscher das magnetische Moment der Titan- und Sauerstoff-Atome in einem Film aus Bariumtitanat. Der kristalline Werkstoff ist eigentlich als Ferroelektrikum bekannt. Damit er auch ferromagnetische Eigenschaften erhält, griffen die Wissenschaftler zu einem Trick: Sie brachten eine Nanometer-feine Lage aus Eisen oder Cobalt – beides ferromagnetische Metalle – auf einen dünnen Bariumtitanat-Film auf. „Solche dünnen Schichten braucht man auch später bei technischen Anwendungen in elektronischen Geräten“, sagt Valencia.

„Wir konnten erstmals zeigen, dass bestimmte Bereiche des Bariumtitanats multiferroische Eigenschaften haben können“, freut sich der Physiker. In diesem Fall trat der Effekt in einer wenige Atomdiameter dünnen Übergangsschicht des Films hin zum Eisen oder Cobalt auf. Dort ließen sich die magnetischen Eigenschaften des Materials durch ein elektrisches Feld steuern – das ist viel einfacher



HZB-Wissenschaftler Florin Radu inspiziert eine BaTiO_3 -Probe im ALICE-Diffraktometer.

als eine Steuerung mit Magnetfeldern, wie sie bisher etwa zum Lesen oder Beschreiben magnetischer Speichermedien gebräuchlich ist. Wird eine elektrische Spannung an den Bariumtitanat-Film angelegt, um seine elektrische Polarisierung umzukehren, ändert sich auch die Magnetisierung. Und das funktioniert bereits bei Zimmertemperatur, wie die Experimente belegen.

Ein nützlicher Effekt

„Dieser Effekt lässt sich nutzen, um Daten schnell und energiesparend zu speichern“, sagt Valencia. Bei einer starken Kopplung zwischen ferromagnetischen und ferroelektrischen Eigenschaften ließe sich das magnetische Verhalten elektrisch steuern – und der Strombedarf könnte um bis zu 99 Prozent sinken. Bei einer schwachen Kopplung hingegen wäre ein ganz neues Konzept zur Datenspeicherung möglich – mit vier statt wie bislang zwei verschiedenen Zuständen der Datenbits. Wie stark die Kopplung wirklich ist, wissen die HZB-Forscher bislang nicht. Doch so oder so – die Entdeckung eröffnet eine neue Möglichkeit, multiferroische Substanzen bei Raumtemperatur zu kreieren – und macht Bariumtitanat als Material für Speichermedien hochinteressant. rb

Nature Materials 10, 753–758, 2011 (doi:10.1038/nmat3098): Interface-induced room-temperature multiferroicity in BaTiO_3 , S. Valencia et al.

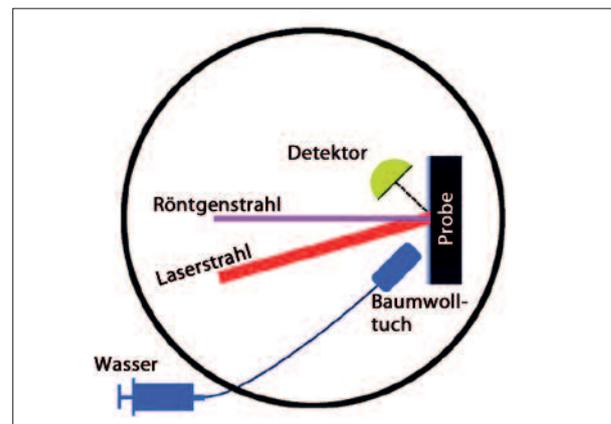
LASERLICHT LÄSST ZELLEN WASSER „EINATMEN“

Wissenschaftler zeigen durch Untersuchungen an BESSY II, wie Laserlicht **Grenzflächenwasser** beeinflusst. Die Ergebnisse könnten helfen, die Aufnahme von Krebsmedikamenten in Zellen zu erleichtern.

Wasser ist die Grundlage allen Lebens, doch Wasser ist nicht gleich Wasser: Wissenschaftler unterscheiden zwischen freiem, flüssigen Wasser und den hauchdünnen Schichten von Wassermolekülen, die sich an der Grenzfläche zu anderen Stoffen anlagern. Interessant ist dieses sogenannte Grenzflächenwasser vor allem deshalb, weil es einen großen Anteil des Wassers in biologischen Systemen – beispielsweise in Zellen – ausmacht. Hier lagert es sich an der Zellmembran und anderen Molekülstrukturen im Zellinneren an. In verschiedenen Experimenten konnten Wissenschaftler bereits nachweisen, dass sich bestimmte Eigenschaften von Grenzflächenwasser, wie Viskosität oder Wärmekapazität, von freiem Wasser unterscheiden. Diese hängen außerdem vom jeweiligen Material und der Struktur der Grenzfläche ab.

Ein Laserstrahl als Störimpuls

Die Untersuchung von Grenzflächenwasser stellt die Wissenschaftler jedoch vor große Herausforderungen, denn diese nur wenige Atomlagen dicken Wasserschichten sind im Experiment sehr schwer zu kontrollieren. Ein Forscherteam um Dr. Andrei Sommer vom Institut für Mikro- und Nanomaterialien der Universität Ulm hat in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Emad Flear Aziz Bekhit und der von ihm geleiteten Nachwuchsgruppe Funktionale Materialien in Flüssigkeiten des HZB Grenzflächenwasser mithilfe weicher Röntgenstrahlung untersucht. Für ihr Experiment haben die Forscher eine künstlich hergestellte Diamantschicht als Grenzfläche benutzt. Diese Probe setzten sie im sogenannten Liquidrom – einer am HZB speziell für Flüssigkeiten entwickelten Experimentierkammer – einer Gasatmosphäre mit kontrollierter Feuchte aus, so dass sich eine hauchdünne Wasserschicht darauf absetzte. „Die Diamantoberfläche wurde so präpariert, dass sie hydrophob ist und chemisch kaum mit anderen Stoffen reagiert. Das Wasser lagert sich darauf ab, ohne sich mit ihr zu verbinden“, erläutert Dr. Kai Hodeck von der Nachwuchsgruppe Funktionale Materialien in Flüssigkeiten. Das auf der Probe abgesetzte Grenzflächenwasser wurde mittels weicher Röntgenstrahlung und einem Laser untersucht. „Weiche Röntgenstrahlung eignet sich besonders, um Wasser zu



Ein befeuchtetes Baumwollstück (blau) sorgte dafür, dass sich auf der Probe (schwarz) stets eine dünne Wasserschicht befand. Diese wurde mit Laserimpulsen (rot) verändert und mit Röntgenstrahlen (violett) untersucht.

untersuchen. Dazu wird das durch die Röntgenbestrahlung entstehende Fluoreszenzlicht gemessen. Es enthält Informationen über die elektronische Struktur der Moleküle. Parallel haben wir die Grenzflächenschicht mit einem Laser gezielt gestört, um die Änderung der Fluoreszenz und damit der Struktur der Wasserschicht zu beobachten“, erklärt Hodeck. Der Versuch wurde zwar an einem sehr vereinfachten Modellsystem durchgeführt, doch das Ergebnis ist bemerkenswert: Sommer konnte zeigen, dass sich durch die Laserbestrahlung das Grenzflächenwasser ausdehnt und „flüssiger“ wird. Wird der Laserstrahl dagegen abgeschaltet, zieht sich das Wasser wieder zusammen und wird „fester“. Dieser Effekt könnte etwa dazu genutzt werden, das in Krebszellen befindliche Grenzflächenwasser durch Laserbestrahlung so zu beeinflussen, dass es Anti-Krebs-Wirkstoffe aus der Umgebung der Zellen förmlich „einatmet“. „Bis dieser theoretische Weg praktisch beschritten werden kann, sind allerdings noch viele weitere Untersuchungen notwendig. Doch am HZB sind die Instrumente für die Untersuchung von Grenzflächenwasser mit komplementären Methoden wie Infrarotspektroskopie oder Neutronenstreuung vorhanden“, sagt Hodeck. cn

J. Phys. Chem. Lett., 2011, 2 (6), pp 562–565 (doi: 10.1021/jz2001503): Breathing Volume into Interfacial Water with Laser Light, A. P. Sommer, K. F. Hodeck, D. Zhu, A. Kothe, K. M. Lange, H.-J. Fecht & E. F. Aziz

MIT ZWEI MESSMETHODEN ZUM ERFOLG

Ein Team um **Dr. Florian Kronast** hat am HZB ein Mikroskopieverfahren entwickelt, mit dem die magnetischen Eigenschaften einzelner Eisen-Nanowürfel untersucht werden können.

O b zur Krebstherapie, als Sensoren oder für die Datenspeicherung: Magnetische Nanopartikel bieten ein breites Anwendungsspektrum. Um sie für die jeweiligen Einsatzgebiete zu optimieren, muss man sowohl ihre geometrische Struktur, als auch ihre elektronischen und magnetischen Eigenschaften genau kennen. Bis heute ist es allerdings schwierig, einzelne Nanopartikel exakt zu charakterisieren. Sie sind schlicht zu klein für viele Messmethoden. Deshalb werden in einer Messung oft viele Tausend Partikel auf einmal erfasst, über deren Eigenschaften dann nur gemittelte Aussagen möglich sind. „Doch um die Nanoteilchen für ihre speziellen Anwendungen hin zu optimieren, ihre magnetischen Eigenschaften, ihre Struktur und ihre Wechselwirkung untereinander zu un-



Das Röntgen-Photoemissions-Elektronenmikroskop (X-PEEM) am HZB.

tersuchen, reicht das nicht aus“, sagt Florian Kronast aus der Abteilung für Magnetisierungsdynamik am HZB. „Die Eigenschaften hängen nicht nur vom Partikel selber ab, sondern auch davon, wie es auf einer Oberfläche positioniert ist und in welcher Relation es zu benachbarten Partikeln steht. Die Teilchen können sich gegenseitig erheblich beeinflussen.“

Magnetischer Probenhalter entwickelt

Deshalb haben Kronast und seine Kollegen ein neues Mikroskopieverfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, einzelne Partikel zu charakterisieren. Zum Beispiel Eisen-Nanowürfel,

die ein Team um Michael Farle von der Universität Duisburg-Essen hergestellt und mit untersucht hat. Dazu werden die Teilchen in einer Lösung auf eine Probe gespült und dann zu Hunderten simultan vermessen. Ihre individuellen Eigenschaften lassen sich dann aus den Flächenbildern bestimmen. Um Größe, Form und Ausrichtung einzelner Partikel mit ihren elektronischen und magnetischen Eigenschaften zu korrelieren, kombinieren die Forscher zwei Methoden. Mittels Raster-Elektronenmikroskopie (SEM) erhalten sie ein hoch aufgelöstes Abbild der Probenoberfläche und damit auch Informationen über Größe, Form und Verteilung der Partikel. Röntgen-Photoemissions-Elektronenmikroskopie (X-PEEM) dient der elementspezifischen Untersuchung ihrer elektronischen und magnetischen Eigenschaften.

Zusätzlich wird die Probe einem Magnetfeld ausgesetzt, das in Stärke und Richtung variiert wird, um die magnetische Reaktion der Partikel zu erfassen. Der Clou: „Wir können mit einem neu entwickelten Probenhalter ein lokales Magnetfeld anlegen, das nur einige 100 Mikrometer abdeckt und die austretenden Elektronen nicht verfälschend beeinflusst“, sagt Kronast.

Die neuartigen Messungen haben gezeigt, dass die Eisenwürfel mit 18 Nanometer Kantenlänge bevorzugte magnetische Richtungen besitzen und dass die Stabilität ihrer Magnetisierung bei Raumtemperatur stark von der Wechselwirkung mit benachbarten Teilchen abhängt. „Wir sehen also, dass es wichtig ist, die Partikel einzeln untersuchen zu können und nicht bloß als Mittelung über ein größeres Ensemble“, resümiert Kronast. Nur so können auch ihre Wechselwirkungen analysiert werden. „Unser Experiment eröffnet einen einzigartigen Zugang zur Untersuchung von magnetischen Nanopartikeln und deren magnetischen Wechselwirkungen“, so Kronast. Das X-PEEM ist als festes Experiment an BESSY II installiert; der spezielle magnetische Probenhalter erfreut sich einer regen Nachfrage in der Nutzergemeinschaft. *ud*

Nano Letters, 2011, 11 (4), 1710–1715 (DOI: 10.1021/nl200242c): Element-Specific Magnetic Hysteresis of Individual 18 nm Fe Nanocubes, Florian Kronast et al.

SCHARFE BILDER VON KLEINSTEN OBJEKTEN

Am HZB gelang **Dr. Peter Guttman** und dem Mikroskopie-Team von **Dr. Gerd Schneider** ein wichtiger Durchbruch in der Röntgen-Nanospektroskopie.

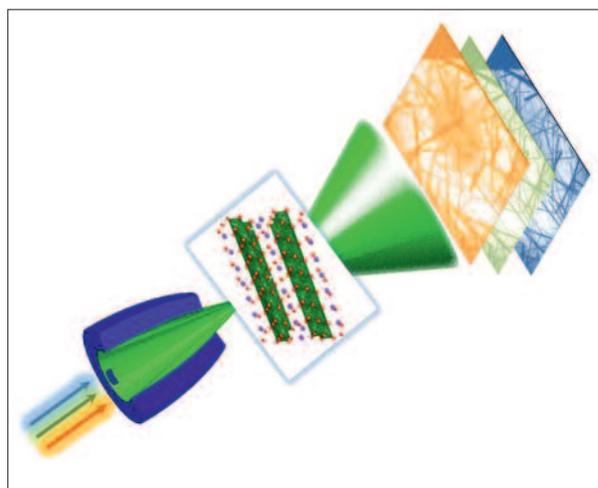
Nanopartikel sind begehrte Helfer, wenn es darum geht, Solarzellen, Lithium-Ionen-Batterien oder Prozesse zur Gewinnung von Wasserstoff effizienter zu gestalten. Was sie so attraktiv macht, ist, dass sie extrem klein sind. Dadurch haben sie eine – im Verhältnis zum Volumen – sehr große Oberfläche, an der chemische Reaktionen stattfinden können. Das erhöht deren Effizienz. Je kleiner die Teilchen, desto schwieriger ist es aber auch, sie im Detail zu untersuchen. Für Forscher ist es immer noch eine Herausforderung, Kenntnisse über die geometrischen und elektronischen Eigenschaften der Nanopartikel zu gewinnen. Das ist jedoch unerlässlich, will man sie für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert herstellen.

Dr. Peter Guttman und seine Kollegen vom HZB haben ein neuartiges Mikroskopieverfahren entwickelt, das viele Nanopartikel gleichzeitig und trotzdem individuell vermessen kann. Es kombiniert die hohe räumliche Auflösung der Röntgenmikroskopie mit NEXAFS, der sogenannten Röntgen-Nahkanten-Absorptions-Spektroskopie, und nutzt die brillante Röntgenstrahlung von BESSY II, um die Proben zu durchleuchten. Dabei wird die Photonenenergie der Röntgenstrahlen in kleinen Schritten verändert. Ein hochauflösendes Objektiv bildet die durchstrahlte Probe auf eine Röntgenkamera ab. Hierzu nutzen die Forscher sogenannte Zonenplatten, die mit einem eigens angeschafften hochpräzisen Elektronenstrahlschreiber am HZB hergestellt werden. Zurzeit entwickeln sie die Objektive weiter, um die Ortsauflösung von derzeit 25 auf 10 Nanometer zu verbessern.

Schnellerer Bildaufbau möglich

„Das Besondere an unserem neuen Mikroskop ist eine Kapillaroptik, durch die das bereits monochromatisierte Röntgenlicht auf die Probe gestrahlt wird“, erläutert Guttman. Sie wurde zusammen mit einer Firma in den USA entwickelt.

„Gegenüber bisher eingesetzten Zonenplatten-Kondensoren ist ihr Vorteil, dass das Röntgenlicht unabhängig von seiner Energie immer gleich gut auf die Probe fokussiert wird“, betont Guttman. Mit dem neuartigen Mikroskop ist es möglich, Probenbereiche von 20 mal 20 Mikrometern mit sehr vielen Nanopartikeln auf einmal abzubilden und das entspre-



Schematische Darstellung der Titanoxid-Stäbchen, die mit Röntgenlicht verschiedener Photonenenergien durch einen Kapillar-Kondensator beleuchtet werden. Ein hochauflösendes Objektiv bildet dann diese Objekte ab.

chende Energiespektrum der Röntgenstrahlung schnell durchzufahren. Auf Basis der gewonnenen Daten kann dann jedes Partikel einzeln analysiert werden. Auf diese Weise erhalten die Forscher sowohl individuelle als auch statistisch aussagekräftige Informationen über die Größen und elektronischen Eigenschaften der Nanopartikel und ihre Verteilung. „Im Gegensatz zur Raster-Röntgenmikroskopie, deren Bildaufbau sequentiell Bildpunkt für Bildpunkt geschieht und die sehr zeitintensiv ist, sind wir 100 Mal schneller bei gleichzeitig verbesserter spektraler Auflösung“, resümiert Guttman. Die Leistungsfähigkeit der neuen Technik konnten die Helmholtz-Forscher bereits in diversen Projekten demonstrieren. So untersuchten sie gemeinsam mit Kollegen aus Belgien, Frankreich und Slowenien speziell aufgebaute Nano-Stäbchen aus Titandioxid. Diese sollen in der Halbleiterindustrie zur Verkleinerung von Elektronikbauteilen eingesetzt werden. „Da die Röntgenmikroskopie auch geeignet ist, Zellen zu durchleuchten, bietet sie darüber hinaus ideale Voraussetzungen, um die Umweltgefährdung durch Nanopartikel zu untersuchen“, meint Guttman. *ud*

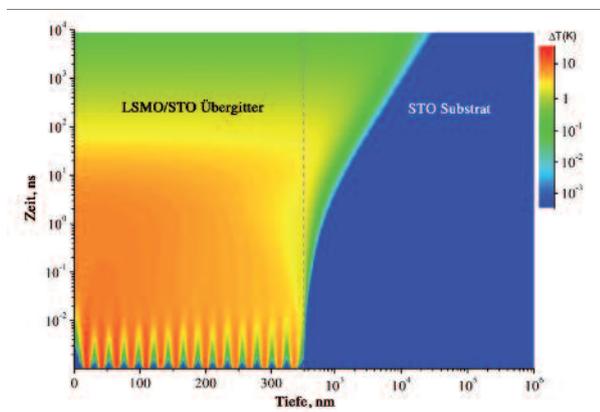
Nature Photonics 6, 25–29, 2012 (DOI: 10.1038/nphoton.2011.268):
Nanoscale spectroscopy with polarized X-rays by NEXAFS-TXM, P. Guttman et al.

WÄRME WANDERT BLITZSCHNELL

In Nanometer dünnen Schichten eines ferromagnetischen Materials verteilt sich die Wärme bei gleicher **Wärmeleitfähigkeit** erheblich schneller als in einem großen Volumen des Materials. Diese für die Nanoelektronik wichtige Erkenntnis wiesen Forscher an BESSY II nach.

Der Name der Nanostruktur klingt abschreckend, doch Physikerherzen lässt das Stoffgemisch namens $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{SrTiO}_3$ höher schlagen. Wenige Nanometer dünne Schichten davon gelten als heiße Kandidaten für die Fertigung leistungsfähiger Komponenten einer künftigen Nanoelektronik – elektronische Elemente, die weitaus kleiner und damit schneller sind als die heutigen Prozessoren und Speicherchips. Die begehrte Materialkombination mit dem Kürzel LSMO/STO ist für diese Bauteile so geeignet, weil LSMO ferromagnetisch und metallisch und STO ein sehr guter Isolator ist.

Um diesen Werkstoff für Anwendungen zu optimieren, müssen seine Eigenschaften exakt bekannt sein. So gibt es eine physikalische Grenze für die Größe, unterhalb derer daraus hergestellte Bauteile ihr elektrisches Verhalten drastisch ändern – weil Quanteneffekte dominieren oder sich die dünnen Schichten durch Strom zu stark erwärmen. Wo dieses Limit bei LSMO/STO liegt, hat eine Gruppe von Forschern um Prof. Matias Bargheer, Physikprofessor am HZB und am Institut für Physik und Astronomie der Universität Potsdam, an BESSY II untersucht. Die Forscher wiesen nach, dass der wundersame Werkstoff zumindest beim Wärmetransport auch dann keine ungewöhnlichen Eigenschaften zeigt, wenn er in dünnen Schichten von rund 10 Nanometer Stärke aufgetragen wird.



Das Konturdiagramm zeigt den errechneten Temperaturanstieg der untersuchten LSMO/STO-Schicht in Abhängigkeit von Zeit und Tiefe des Materials.

Wärmeverteilung beobachtet

Dazu bestrahlten die Wissenschaftler eine Nanostruktur, die in einem sogenannten Übergitter aus 15 abwechselnd übereinander liegenden Schichten von LSMO und STO auf ein Substrat aufgebracht worden war, mit infrarotem Laserlicht. Dieses traf in kurzen, schnellen Blitzen auf die Substanz, die sich dadurch für eine Milliardstel Sekunde um rund sechs Grad Celsius erwärmte. Jeweils etwas zeitverzögert beleuchteten sie die Probe mit ultrakurzen Pulsen hochenergetischer Röntgenstrahlung von BESSY II, deren Abfolge exakt auf die Laserblitze abgestimmt war. Ein Detektor fing das Röntgenlicht auf, das an den Atomen des LSMO/STO-Kristallgitters gebeugt wurde. Änderungen des Beugungsbilds ließen sich so mit einer hohen zeitlichen Auflösung messen. Die Änderungen kamen durch eine Variation des mittleren Abstands der Gitteratome zustande, die empfindlich von der Temperatur abhing. „Auf diese Weise erreichten wir eine extrem hohe Präzision bei der Temperaturmessung von einem hundertstel Grad Celsius“, sagt Bargheer – und das zeitaufgelöst auf einer Skala zwischen 100 Piko- und 4 Mikrosekunden. So konnten die Forscher verfolgen, wie sich die Wärme in dem Übergitter verteilte und in das Substrat vordrang.

„Die Resultate der Messungen zeigen, dass die Wärme sehr schnell abgeführt wird“, berichtet Bargheer: Innerhalb von 100 Pikosekunden (Billionstel Sekunden) hatten sich die Temperaturen der beiden Materialien in der Nanoschicht angeglichen. „Das stimmt exzellent mit Simulationen des Wärmetransports in einer großvolumigen Probe der Substanz überein“, sagt der Physiker. „Das heißt: Der Mechanismus der Wärmeleitung in der Nanoschicht unterscheidet sich nicht wesentlich von der Wärmediffusion im makroskopischen Material“ – eine wichtige Erkenntnis für die Herstellung künftiger nanoelektronischer Speicherelemente aus $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{SrTiO}_3$. rb

New Journal of Physics 13 (2011) 093032 (doi:10.1088/1367-2630/13/9/093032): Nanoscale heat transport studied by high-resolution time-resolved x-ray diffraction, R. Shayduk et al.

GOLDPARTIKEL IN DER EIERSCHALE

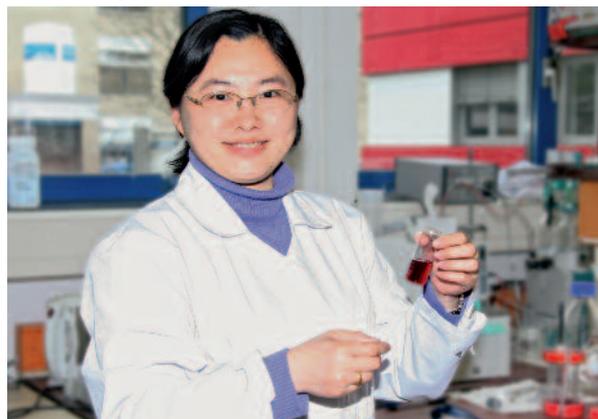
Nachwuchsforscherin Dr. Yan Lu hat am HZB ein **thermosensitives Mikrogel** entwickelt, mit dem sich die katalytische Aktivität von Nanopartikeln aus Gold steuern lässt.

Man nehme Nanopartikel aus Gold, umhülle sie mit einer Schicht aus Siliziumdioxid, und lasse hierauf eine Schale aus PNIPA (Poly(N-isopropyl-acrylamid)) wachsen. Anschließend ätze man die siliziumhaltige Zwischenschicht weg. Was übrig bleibt, nennen die Forscher eine Dotter-Schale-Struktur: Der Nanopartikel als Dotter, die Schale aus Polymeren, die ein dichtes Netzwerk bildet. Damit ist die Schale zwar nicht so stabil wie die eines Eis – aber das soll sie auch gar nicht sein. Im Gegenteil: Sie soll andere Moleküle zum Nanopartikel durchlassen, sodass er seine Wirkung als Katalysator entfalten kann. Damit die Oberfläche des Partikels dafür frei ist, gibt es – um im Bild zu bleiben – auch kein Eiweiß.

Der ganze Aufwand lohnt sich, denn er löst ein Problem, das metallische Nanopartikel in der Praxis haben: Sie neigen dazu, sich unkontrolliert zusammenzulagern. Die Schale schützt sie davor. Doch sie kann noch mehr: Wenn sie aus einem geeigneten Polymernetzwerk aufgebaut ist, lässt sich ihre Durchlässigkeit durch äußere Einflüsse steuern, zum Beispiel durch die Temperatur. Damit kann indirekt auch die katalytische Aktivität der Nanopartikel beeinflusst werden. Die Nachwuchswissenschaftlerin Yan Lu und ihre Kollegen am Institut für Weiche Materie und Funktionale Materialien von Professor Matthias Ballauff am HZB haben solche organisch-anorganischen Hybridnanopartikel mit Dotter-Schale-Struktur hergestellt. Um den Einfluss der Schale auf die katalytische Aktivität zu untersuchen, betrachtete Lu als Modellreaktion die Reduktion von 4-Nitrophenol (4-NP) und Nitrobenzol (NB) durch Natrium-Borhydrid (NaBH_4) zu 4-Aminophenol (4-AP) beziehungsweise Aminobenzol (AB). Beide Ausgangsmoleküle haben eine ähnliche Struktur, allerdings handelt es sich bei 4-NP um ein hydrophiles, das heißt wasserfreundliches Molekül, während NB einen eher hydrophoben Charakter hat.

Die Temperatur bestimmt die Durchlässigkeit

Die Nitroverbindungen wurden jeweils mit NaBH_4 und den Nanopartikeln in eine wässrige Lösung gebracht, deren Temperatur variiert wurde. Dabei beobachteten die Forscher mithilfe von UV-Spektroskopie, wie effektiv die Reduktions-



Die Nachwuchswissenschaftlerin Dr. Yan Lu hat untersucht, wie man das katalytische Verhalten von Goldnanopartikeln gezielt beeinflussen kann.

reaktion ablief. Lu und ihre Kollegen stellten fest, dass bei niedrigen Temperaturen die Reduktion von 4-NP begünstigt wird, während bei höheren Temperaturen bevorzugt die Reduktion von NB abläuft – ein Verhalten, das für pure Goldnanopartikel nicht beobachtet wird.

Wie ist das zu erklären? Mit steigender Temperatur verdichtet sich zwar das Netzwerk der PNIPA-Schale, doch das allein reicht als Ursache nicht aus, denn die Moleküle sind in etwa gleich groß. „Entscheidend ist, dass PNIPA bei der sogenannten unteren kritischen Lösungstemperatur von einem hydrophilen in einen mehr hydrophoben Zustand übergeht“, erläutert Lu. Wenn PNIPA hydrophil ist, lässt es auch hydrophile Moleküle wie 4-NP besser passieren, wenn es hydrophob ist, sperrt es diese dagegen eher aus und lässt bevorzugt hydrophobes NB durch.

Dieser Effekt wurde noch verstärkt, wenn beide Moleküle gemeinsam in der Lösung vorhanden waren. „Mit einem einzigen Katalysator lässt sich so die Selektivität bei der Reaktion einer Molekülmischung sehr gut steuern“, resümiert Lu. „Dotter-Schale-Strukturen bieten also viele Möglichkeiten, um die katalytische Aktivität von metallischen Nanopartikeln für bestimmte Anwendungen gezielt einzustellen.“

ud

Angew. Chem. Int. Ed., 51: 2229–2233, (DOI: 10.1002/anie.201106515): Thermosensitive Au-PNIPA Yolk-Shell Nanoparticles with Tunable Selectivity for Catalysis, S. Wu, J. Dzubiella, J. Kaiser, M. Drechsler, X. Guo, M. Ballauff & Y. Lu

SOLARZELLEN IM FOKUS DER GROSSGERÄTE

Wie Kupferatome durch Schichten wandern oder Kristalldefekte den **Wirkungsgrad von Solarzellen** beeinflussen – HZB-Forscher haben die Ursachen dieser für die Solarindustrie wichtigen Prozesse herausgefunden.

Die Ausstattung mit Geräten für die Materialforschung am Helmholtz-Zentrum Berlin dürfte weltweit wohl einzigartig sein. Zahlreiche Instrumente stehen den Wissenschaftlern für unterschiedlichste Experimente zur Verfügung. Zum Beispiel für die Grundlagenforschung zur Photovoltaik: Die Forscher arbeiten daran, neue Materialien für effiziente Solarzellen zu entwickeln oder einfache und kostengünstige Fertigungsverfahren zu schaffen. Das ist auch das Ziel von Dr. Roland Mainz, Wissenschaftler am Institut für Technologie, der vor allem die Herstellung der Absorber-Schicht in Dünnschicht-Solarzellen effizienter machen will. Diese lichtempfindliche, wenige Mikrometer dünne Schicht dient dazu, die Energie des Sonnenlichts in elektrischen Strom zu verwandeln.

„Um die Effizienz solcher dünnen Filme und die Zuverlässigkeit der Herstellungsprozesse weiter zu verbessern, ist es wichtig, genau zu wissen, welche Reaktionen dabei ablaufen“, sagt Mainz. Der Physiker hat als Absorber-Material vor allem sogenannte Chalkopyrite im Fokus – Verbindungshalbleiter aus Kupfer, Indium und Gallium sowie Schwefel und Selen.

Damit lassen sich besonders hohe Wirkungsgrade erreichen. Um die Zellen herzustellen, werden die Substanzen meist in einem aufwendigen Prozess aus der Gasphase auf einem Substrat abgeschieden. Eine alternative, kostengünstigere Methode besteht darin, Kupfer, Indium und Gallium zunächst als einzelne Schichten aufzutragen und den so entstandenen Materialstapel in einer Atmosphäre aus Schwefel oder Selen zu erhitzen. Die Atome der Substanzen diffundieren dann zwischen den Schichten, die sich durch „Phasenumwandlungen“ verändern – bis die gewünschte Absorber-Schicht entsteht. „Wie sich die Verteilung der verschiedenen chemischen Elemente in diesen Prozessen zeitlich verändert, war bislang weitgehend unbekannt“, sagt Mainz. Denn es gab keine Möglichkeit, sie direkt zu beobachten. Doch der Physiker konnte diese Barriere nun überwinden. Er fand einen Weg, um die Änderungen der Elementverteilung in den Schichten „live“ zu verfolgen. Dabei hilft Röntgenlicht aus dem Elektronenspeicherring BESSY II, dessen Energie sich nahtlos variieren lässt. Der Trick dabei: Der Forscher kombinierte die Beugung der Röntgenstrahlung mit der Fluoreszenz in dem Materialfilm, den er dazu mit Röntgenlicht unterschiedlicher Energie bestrahlte. Mainz entwickelte eine Methode, um aus den bei den kombinierten Messungen gewonnenen Resultaten das Entstehen verschiedener Materialphasen sowie Änderungen in der Verteilung der chemischen Elemente zu rekonstruieren. Auf diese Weise konnte er Details bei der Ausformung der Licht absorbierenden Schicht beleuchten, deren Kenntnis als Ansatzpunkt für Verbesserungen von Dünnschicht-Solarzellen dienen. So diffundieren überschüssige Kupfer-Atome rasch durch die anderen Schichten, um schließlich an deren Oberfläche mit Schwefel oder Selen zu reagieren. „Die Diffusion des Kupfers scheint die Charakteristik der Schicht zu verbessern“, sagt Roland Mainz. Dabei können jedoch auch unerwünschte Hohlräume in der Schicht entstehen. Ziel ist es, den Herstellungsprozess so anzupassen, dass sich diese Erkenntnisse optimal nutzen lassen.

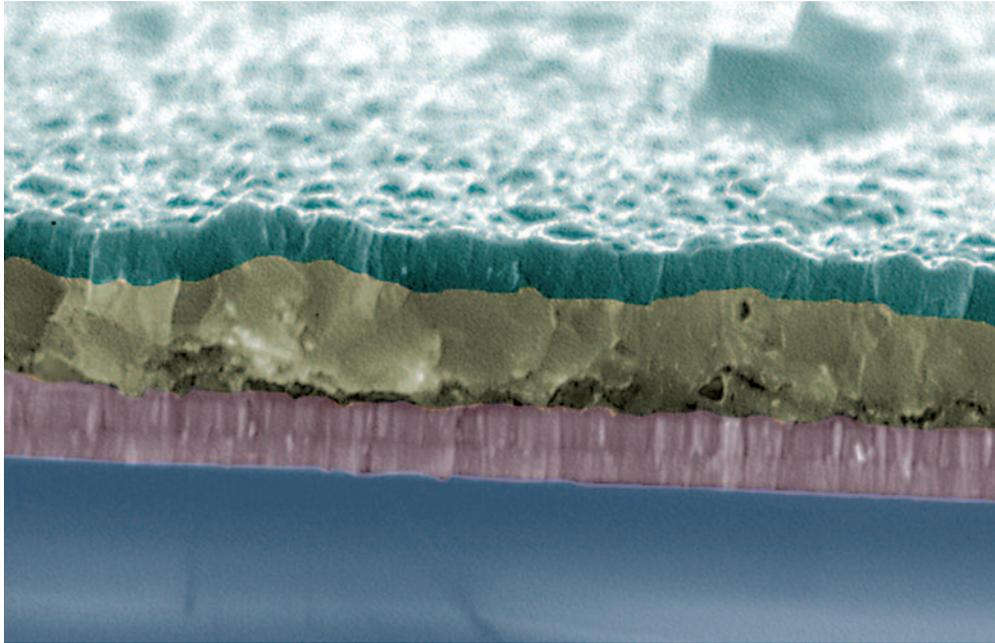


Am HZB werden die Prozesse untersucht, die innerhalb von Solarzellen ablaufen.

Der Forscher kombinierte die Beugung der Röntgenstrahlung mit der Fluoreszenz in dem Materialfilm, den er dazu mit Röntgenlicht unterschiedlicher Energie bestrahlte. Mainz entwickelte eine Methode, um aus den bei den kombinierten Messungen gewonnenen Resultaten das Entstehen verschiedener Materialphasen sowie Änderungen in der Verteilung der chemischen Elemente zu rekonstruieren. Auf diese Weise konnte er Details bei der Ausformung der Licht absorbierenden Schicht beleuchten, deren Kenntnis als Ansatzpunkt für Verbesserungen von Dünnschicht-Solarzellen dienen. So diffundieren überschüssige Kupfer-Atome rasch durch die anderen Schichten, um schließlich an deren Oberfläche mit Schwefel oder Selen zu reagieren. „Die Diffusion des Kupfers scheint die Charakteristik der Schicht zu verbessern“, sagt Roland Mainz. Dabei können jedoch auch unerwünschte Hohlräume in der Schicht entstehen. Ziel ist es, den Herstellungsprozess so anzupassen, dass sich diese Erkenntnisse optimal nutzen lassen.

Punktdefekten auf der Spur

Auch bei Prof. Susan Schorr, Leiterin der Abteilung Kristallographie, stehen Chalkopyrite für die Fertigung von Dünnschicht-Solarzellen im Zentrum der Forschung. „Wir befassen uns vor allem mit den strukturellen Merkmalen dieser Verbindungen“, sagt Schorr – insbesondere Punktdefekte: winzige Störungen im kristallinen Aufbau des Werkstoffs, die zum Beispiel durch fehlende Atome oder Fehlbesetzungen hervorgerufen werden. „Diese haben einen großen Einfluss



Die Schichtstrukturen einer CIS-Solarzelle – aufgenommen im Raster-Elektronen-Mikroskop. Die Forschergruppe um Prof. Susan Schorr hat bei der Untersuchung der strukturellen Merkmale dieser Verbindung mithilfe der Neutronenbeugung herausgefunden, dass sogenannte Punktdefekte die Wirkung einer Solarzelle kaum beeinträchtigen.

auf die Eigenschaften und den Wirkungsgrad einer Solarzelle“, sagt die Kristallographin. Doch detaillierte Analysen der Konzentration von Punktdefekten in Chalkopyriten gab es bislang nicht. „Wir haben die Defekte nun zum ersten Mal in einer systematischen Studie untersucht“, berichtet Schorr. Dabei half die vielfältige Ausstattung des HZB. Im Speziellen spielte dabei das die Synchrotronquelle ergänzende zweite hochmoderne wissenschaftliche Großgerät des HZB – die Neutronenquelle – die entscheidende Rolle. Susan Schorr setzte auf die Beugung von Neutronen an kristallinen Proben. „Nur diese Methode ermöglicht es, Art und Verteilung von Punktdefekten zu bestimmen“, sagt sie. Für die Neutronenexperimente an kupferhaltigen Verbindungshalbleitern werden im Labor Pulverproben hergestellt. Das hat den Vorteil, dass sich die chemische Zusammensetzung einer Probe sehr gezielt einstellen lässt.

Die Ergebnisse der Neutronenbeugung offenbarten, dass in dem untersuchten Material eine hohe Konzentration von Kupfer-Fehlstellen vorhanden war – Plätzen im Kristallgitter, wo ein Kupfer-Atom sitzen müsste, das jedoch fehlt. „Dass Solarzellen mit einem so fehlerhaften Material trotzdem gut funktionieren, erscheint verwunderlich“, meint Schorr. „Doch theoretische Überlegungen zeigen, dass diese Art von Punktdefekten die elektronischen Eigenschaften einer Dünnschichtzelle kaum beeinträchtigen.“ Mithilfe der Neutronenbeugung ließ sich dieser für die Fertigung der Zellen beruhigende Befund erstmals im Experiment bestätigen.

Überraschung bei den Elektronenbändern

Dass das physikalische Verständnis der Werkstoffe für die Photovoltaik trotzdem noch eine große Herausforderung für die Wissenschaftler ist, belegen die Resultate von Prof. Marcus Bär. Der Leiter der HZB-Nachwuchsgruppe Grenzflächen-

design stieß bei der Untersuchung einer Verbindung aus Kupfer, Zink, Zinn und Schwefel ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$) auf Diskrepanzen zwischen Experiment und Theorie. „Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis dieses Materialsystems, das aus besonders häufig vorkommenden Elementen besteht und damit eine zusätzliche Kostensenkung verspricht, haben in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung durchgemacht und erreichen heute bereits Wirkungsgrade über zehn Prozent“, sagt Bär. Mit viel Mühe gelang es innerhalb des Bereichs Solarenergieforschung, ungewöhnlich phasenreine Proben aus diesem Stoff herzustellen.

Um dessen elektronischen Eigenschaften zu analysieren, rückten ihm die Nachwuchsforscher mit Röntgenstrahlen zu Leibe. Aus dem Absorptionsverlauf von relativ energiearmem „weichem“ Röntgenlicht und der resultierenden Fluoreszenzemission lässt sich die sogenannte Bandstruktur nachzeichnen – die Energieverteilung der Elektronen in dem Halbleitermaterial. „Wir fanden dabei Übereinstimmungen mit berechneten Diagrammen der Bandstruktur“, berichtet Marcus Bär. „Doch teilweise stimmen unsere Messresultate nicht mit den Modellrechnungen überein.“ Diese überraschende Erkenntnis spielt den Ball wieder zu den Theoretikern: Sie können ihre Berechnungen nun auf Basis der experimentellen Ergebnisse anpassen und verfeinern. rb

Appl. Phys. Lett. 98, 091906 (2011); (DOI: 10.1063/1.3559621):

Comprehensive insights into point defect and defect cluster formation in CuInSe_2 , C. Stephan, S. Schorr, M. Tovar & H.-W. Schock

Journal of Materials Research (2012), (DOI: 10.1557/jmr.2012.59): $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ thin-film solar cell absorbers illuminated by soft x-rays, M. Bär, B.-A. Schubert, B. Marsen, R.G. Wilks, M. Blum, S. Krause, S. Pookpanratana, Y. Zhang, T. Unold, W. Yang, L. Weinhardt, C. Heske & H.-W. Schock

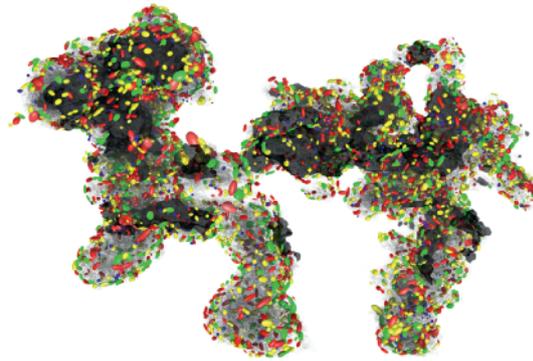
DIE FORM BESTIMMT DIE FUNKTION

Mit dreidimensional dargestellten **Katalysatornanopartikeln** können Brennstoffzellen optimiert werden.

Wie ein Pudel, der in bunten Bonbons gebadet hat, sieht die Darstellung aus, die Roman Grothausmann mithilfe der Elektronentomografie und einem Verarbeitungsalgorithmus erstellt hat. Zu sehen ist eine Kohlenstoffoberfläche, die mit Nanopartikeln gespickt ist. Die Darstellung liefert einzigartige Erkenntnisse über die dreidimensionale Struktur der Partikel, die ein Computerprogramm bunt eingefärbt hat. Hierfür hat Grothausmann gemeinsam mit Kollegen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) die Methode der Elektronentomografie weiterentwickelt. Die Ruthenium-Partikel, die der Physiker vom Institut für Angewandte Materialforschung unter die Lupe genommen hat, erfreuen sich im Institut Solare Brennstoffe seit Jahren vielfältiger Forschungsaktivitäten. Als Katalysatoren spielen sie in vielen chemischen Prozessen eine wichtige Rolle, sei es in der industriellen Produktion, für schadstoffarme Autos oder bei der umweltfreundlichen Energieumwandlung in Brennstoffzellen. Um diese Prozesse effizienter zu gestalten, müssen die Partikel optimiert werden. „Besonders wichtig sind Kenntnisse über die Oberfläche der Teilchen, denn hier finden die entscheidenden chemischen Reaktionen statt“, erläutert Grothausmann. Im Rahmen seiner Doktorarbeit hat er zusammen mit seinen Kollegen Ruthenium-Teilchen untersucht, die künftig in Brennstoffzellen das teure Platin ersetzen und der Technologie einen neuen Schub versetzen könnten. Als Ruthenium-Chlorid-Lösung werden sie auf verschiedene Trägermaterialien aus Kohlenstoff aufgebracht. Die Untersuchungen finden in einem Elektronenmikroskop statt, das mit einem Probenhalter ausgestattet ist, der die Probe um 140 Grad kippen kann. Bilder aus verschiedenen Perspektiven werden mit einem Rekonstruktionsalgorithmus, den Forscher um Axel Lange an der BAM entwickelt haben, zu einem dreidimensionalen Gesamtbild verrechnet.

Erkenntnisse aus der Partikelform

Roman Grothausmann und seine an solaren Brennstoffen forschenden Kollegen interessieren sich für Form und Oberfläche der Partikel sowie für ihre Position auf dem Träger-



Die per Elektronentomographie erfassten Katalysatornanopartikel (farbig) haften an einem Trägermaterial (grau). Für diese dreidimensionale Darstellung wurden die Daten mit neuen Verarbeitungsalgorithmen bearbeitet.

material. Denn all das beeinflusst ihre Effizienz als Katalysator. Zur Auswertung werden die Teilchen in vier verschiedene Form-Klassen eingeteilt und eingefärbt: blau für Kugeln, grün für Smarties, rot für Zigarren und gelb für alle anderen. Weil nur die frei zugängliche Oberfläche der Partikel zu den gewünschten Reaktionen beitragen kann, wird diese gesondert vermessen. Damit die Brennstoffzelle möglichst effizient elektrische Energie liefern kann, ist aber nicht nur eine große Reaktionsfläche der Partikel nötig, sondern auch ein ausreichend großer Kontaktbereich zum Trägermaterial. Nur so können die erzeugten Ladungsträger als nutzbarer Strom gut abgeführt werden. Um herauszufinden, ob es im Wettstreit dieser beiden Erfordernisse eine optimale Größe der Kontaktfläche gibt, analysiert Grothausmann deshalb auch, wie die Teilchen auf der Oberfläche liegen.

Durch die dreidimensionale Darstellung bilden die Forscher viele Partikel auf einmal ab, so dass signifikante statistische Aussagen möglich sind. Zum Beispiel über die Größenverteilung der Partikel und bevorzugte Formen. Letzteres beeinflusst ebenfalls die katalytische Aktivität der Teilchen, denn der dafür entscheidende atomare Aufbau der Oberfläche ändert sich mit ihrer Form. Obwohl das Auflösungsvermögen der Methode nicht ausreicht, um die Oberflächen der Partikel atomar genau zu untersuchen, lassen sich bereits aus ihrer Form entsprechende Rückschlüsse ziehen. ud

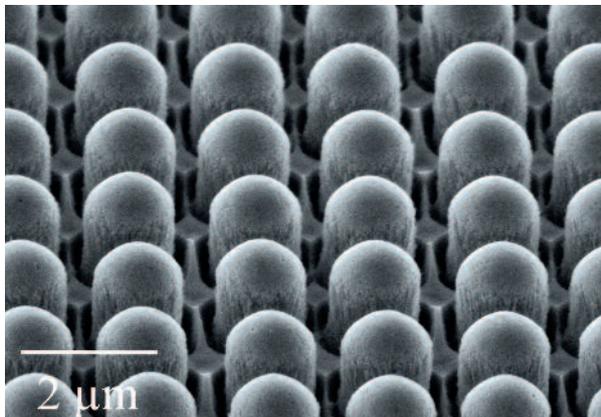
J. Am. Chem. Soc., 2011, 133 (45), pp 18161–18171 (DOI: 10.1021/ja2032508): Quantitative Structural Assessment of Heterogeneous Catalysts by Electron Tomography, R. Grothausmann, G. Zehl, I. Manke, S. Fiechter, P. Bogdanoff, I. Dorbandt, A. Kupsch, A. Lange, M. Hentschel, G. Schumacher, J. Banhart

MIT SILIZIUM-HÄUBCHEN AUF LICHTFANG

Neuartige Solarzellen mit **dreidimensionalen Nanostrukturen** aus Silizium vereinen die Vorteile verschiedener Zelltypen. Forscher am HZB schufen die Grundlagen für ihre Herstellung.

Auf dem Photovoltaik-Markt dominieren Solarzellen aus kristallinem Silizium. Sie bestechen durch eine relativ hohe Ausbeute bei der Erzeugung von Strom aus Sonnenlicht – die Effizienz industriell gefertigter Zellen erreicht rund 16 Prozent. Doch sie sind relativ dick, der Materialbedarf für ihre Herstellung ist hoch und das Zusammenschalten einzelner Zellen zu großen Modulen ist aufwendig. Dünnschicht-Solarzellen, bei denen ein wenige Hundert Nanometer dünner Film aus einem halbleitenden Werkstoff großflächig etwa auf eine Glasplatte aufgetragen wird, lassen sich dagegen kostengünstiger fertigen und einfacher zu Modulen kombinieren. Dafür ist ihr Wirkungsgrad geringer.

Dr. Tobias Sontheimer, Physiker am Institut für Silizium-Photovoltaik des HZB, gelang es nun, eine Brücke zwischen beiden Technologien zu schlagen und die Vorteile von kristallinen und Dünnschicht-Solarzellen zu vereinen: Er entwickelte ein Verfahren, um regelmäßig angeordnete winzige Silizium-Kristalle einfach und schnell als dünne Schicht auf ein Substrat aufzubringen. „Bisher schied man dünne Schichten aus Silizium meist mittels chemischer Gasphasendeposition ab“, sagt Sontheimer – ein komplexer Prozess, der mehrere Stunden in Anspruch nimmt. Der Berliner Forscher nutzte dagegen einen Elektronenstrahl, um das Halbleiter-Material aus einer Schmelze zu verdampfen und auf eine Glasplatte aufzu-



Mikroskopische Ansicht von Silizium-Häubchen auf einer Dünnschicht-Solarzelle. Der Abstand der Hauben beträgt knapp zwei Tausendstelmmillimeter.

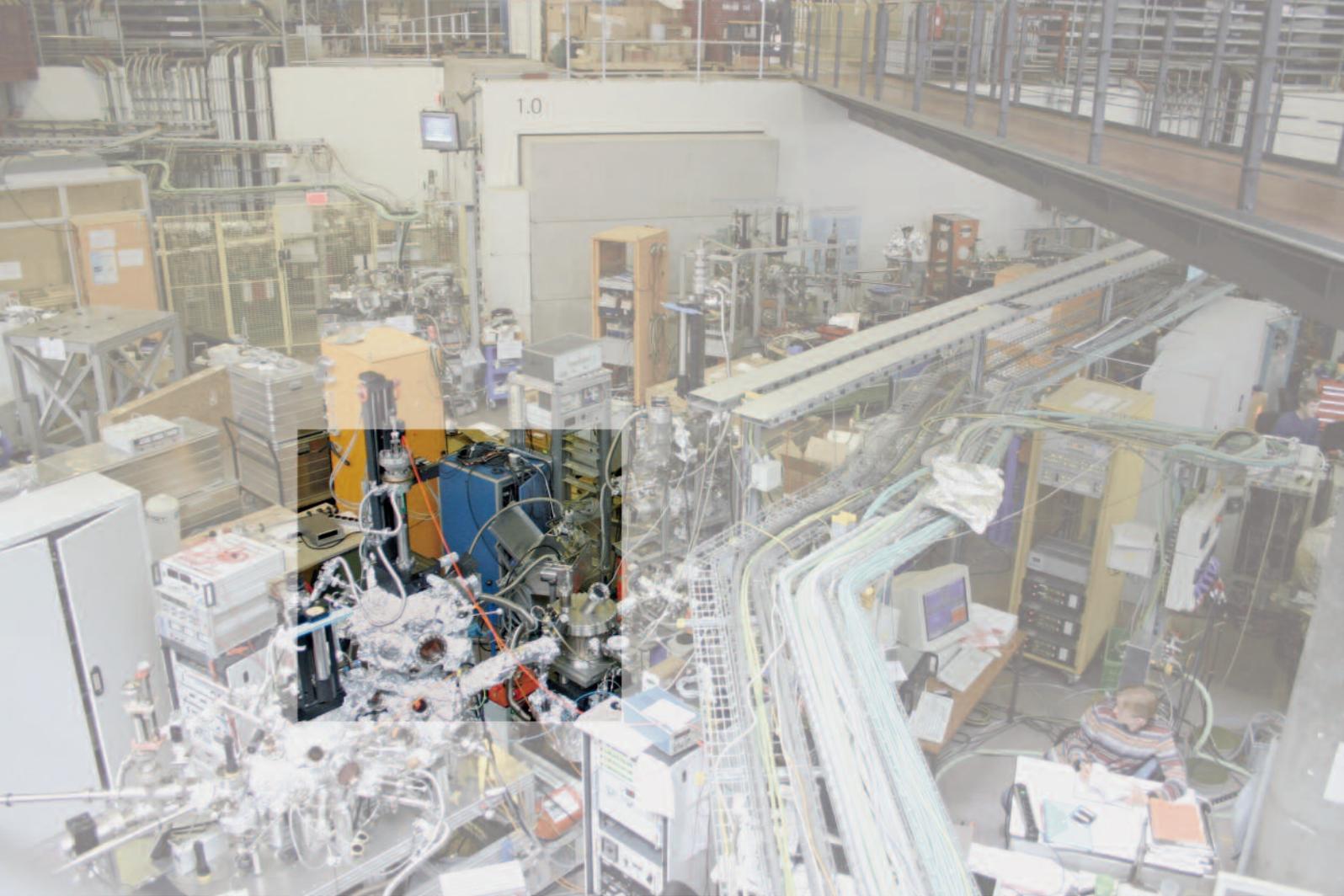
tragen. „Damit dauert die Herstellung einer dünnen Silizium-Schicht weniger als eine Minute“, sagt er. Das Verfahren hat Sontheimer zusammen mit Forscherkollegen am HZB für die Herstellung von Solarzellen nutzbar gemacht. Die kristalline Schicht ist qualitativ gleichwertig zu einer mit der herkömmlichen Technik hergestellten Silizium-Schicht – die Voraussetzung für eine effiziente Energiewandlung in der Solarzelle.

Periodisch angeordnete Silizium-Kristalle

„Um eine hohe Effizienz sicherzustellen, muss zudem viel Licht in der Zelle absorbiert werden“, erklärt Tobias Sontheimer. Dafür sorgt eine entsprechende Strukturierung des Siliziums. Bislang ließ sich das nur durch Aufrauen der Oberfläche erreichen, eine ungenaue und schwer kontrollierbare Methode. Sontheimer dagegen konnte in Zusammenarbeit mit der Schott AG in Mainz gezielt eine periodische Anordnung von identisch geformten Silizium-Kristallen erzeugen. Dazu übertrug ein Stempel, der zuvor mit einer Nanometerfeinen Struktur versehen worden war, diese 3D-Struktur auf die Oberfläche des gläsernen Substrats. „Im nächsten Schritt erfolgte die Beschichtung mit Silizium“, sagt Sontheimer. Je nachdem, wie dieses dabei auf die Unterlage auftraf, entstanden geordnete (kristalline) oder ungeordnete (amorphe) Bereiche, von denen die amorphen anschließend weggeätzt wurden. Übrig blieb ein „Wald“ von filigranen Kuppen aus kristallinem Silizium: „Lichtfänger“, in denen Sonnenlicht förmlich eingesperrt wird.

Das Verfahren ermöglicht es, Größe und Abstand der Silizium-Häubchen kontrolliert zu variieren – über einen weiten Bereich von wenigen Nanometern bis zu Mikrometern – und so auf die Absorption bestimmter Wellenlängen des Lichts einzustellen. Dadurch schuf der HZB-Forscher die Voraussetzung für das Design neuartiger dreidimensional strukturierter Dünnschicht-Solarzellen mit einem hohen Wirkungsgrad. Die ersten Zellen dieser Art will Tobias Sontheimer demnächst herstellen. rb

Energy Procedia 10 (2011) 61 – 65 (doi:10.1016/j.egypro.2011.10.153): Polycrystalline silicon thin films by high-rate electron-beam evaporation for photovoltaic applications, C. Becker et al.



KOOPERATIONEN

Das Helmholtz-Zentrum Berlin arbeitet eng mit zahlreichen deutschen und internationalen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen zusammen. Im Mittelpunkt stehen dabei Grundlagenforschung, Wissenstransfer und die gemeinsame Nutzung von Geräten und Methoden. Der Austausch von Wissen ist beispielsweise das Ziel der transatlantischen Kooperation in der Solarforschung, die das HZB mit zwei weiteren deutschen Forschungseinrichtungen sowie dem amerikanischen National Renewable Energy Laboratory (NREL) eingegangen ist. Die Partner wollen die wissenschaftlichen Grundlagen für die Versorgung mit erneuerbaren Energien ausweiten.

Forscherinnen und Forschern des HZB gelang in Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen der schwedischen Uni-

versität Lund ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einem stabilen Freie Elektronen Laser (FEL). Das von ihnen in bisher unerreichter Qualität erzeugte Synchrotronlicht eröffnet Wissenschaftlern neue Möglichkeiten in der Struktur- und Materialforschung.

Die Eigenschaften komplexer Materialien, die für verschiedenste Anwendungsbereiche gezielt nutzbar gemacht werden können, werden durch Faktoren wie Ladung, räumliche Anordnung und Spin bestimmt, die sich wechselseitig beeinflussen. Die weitere Erforschung der Wirkprinzipien solcher Materialien ist das Ziel des neuen Virtuellen Instituts „Dynamic Pathways in Multidimensional Landscapes“ am HZB, an dem Kolleginnen und Kollegen des Helmholtz-Zentrums DESY und weitere Partner beteiligt sind. Mehr zu den Kooperationen des HZB lesen Sie auf den folgenden Seiten.

SCHNELLERE MARKTREIFE FÜR INNOVATIONEN

Das HZB und zwei weitere Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft sowie die amerikanische NREL arbeiten in der **Solarenergieforschung** künftig zusammen.

Das Helmholtz-Zentrum Berlin, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Forschungszentrum Jülich (FZJ) sind in der Solarenergieforschung die drei führenden Forschungszentren in der Helmholtz-Gemeinschaft. Am HZB und am FZJ werden vor allem neue Dünnschichtmaterialien für Solarzellen untersucht. Das DLR ist eines der weltweit führenden Institute bei der Entwicklung von solarthermischen Kraftwerken. Zudem arbeiten DLR-Forscher an der Entwicklung neuartiger Speicher für solarthermische Kraftwerke, die die Tageshitze bis in die Nachtstunden halten, um kontinuierlich rund um die Uhr Strom zu erzeugen. Die drei Institute haben im Juni 2011 die Zusammenarbeit mit dem National Renewable Energy Laboratory (NREL) in der Solarenergieforschung vereinbart. NREL ist das größte amerikanische Forschungsinstitut für erneuerbare Energien und arbeitet im Auftrag des amerikanischen Energieministeriums. Das Institut verfügt über jahrelange Erfahrung bei der Entwicklung von solarthermischen Kraftwerken.

Potential der Solarenergie ausschöpfen

Mit der Kooperation, die in der amerikanischen Botschaft in Berlin unterzeichnet wurde, möchten die beteiligten Partner Forschungslücken schließen und die Technologieentwicklung beschleunigen. „Mit dieser Vereinbarung kommen zwei leistungsstarke Organisationen zusammen, die durch gemeinsame Forschungsprojekte noch raschere Fortschritte auf den Gebieten der Photovoltaik und der Solarthermie erreichen können“, hob Professor Jürgen Mlynek, Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, hervor. „Diese Vereinbarung verspricht Materialien und Technologien zu entwickeln, die die Grundlage für Solarzellen und solare Brennstoffe der Zukunft bilden“, ergänzte NREL-Direktor Dr. Dan Arvizu.

Studien zeigen die riesigen Potentiale der Solarenergie. So erreicht die Wüsten der Erde in sechs Stunden mehr Son-



Transatlantische Kooperation unterzeichnet: (v.l.n.r.): Prof. Dr. Bernd Rech, Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla, Dr. Ulrich Breuer (alle HZB), Dr. Dan Arvizu (NREL), Prof. Dr. Robert Pitz-Paal (DLR), Thomas Rachel, Prof. Dr. Harald Bolt (FZJ), Prof. Dr. Jürgen Mlynek, Greg Delawie und Prof. Dr. Uwe Rau.

nenenergie als die gesamte Menschheit in einem Jahr verbraucht. Damit Sonnenenergie kostengünstig in Elektrizität umgewandelt werden kann, müssen Solarzellen und solarthermische Kraftwerke effizienter arbeiten und preiswerter in der Herstellung werden.

Sonnenlicht in Energieträger umwandeln

Wissenschaftler der beteiligten Forschungszentren verbessern zum einen die Technologien, die schon heute im Einsatz sind. Gleichzeitig verfolgen sie neue Ansätze. So entwickeln sie zum Beispiel die solare Direktverdampfung für solarthermische Kraftwerke zur Marktreife. Bei diesem Solarkraftwerkstyp wird durch gebündelte Sonnenstrahlen der Wasserdampf, der später einen Stromgenerator antreibt, direkt erzeugt. In der Photovoltaik arbeiten HZB-Forscher an Ansätzen mit nanostrukturierten Dünnschichtmaterialien und neuartigen Modularchitekturen. „Die Kooperation wird einen wichtigen Beitrag leisten, die Herausforderungen bei der Entwicklung neuer, noch leistungsfähigerer Solarzellen zu meistern“, betont die Wissenschaftliche Geschäftsführerin des HZB, Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla: „Wir werden uns dabei auf die Forschung an neuen Materialien für die Photovoltaik und die Konzeptentwicklung zur direkten Umwandlung von Sonnenlicht in chemische Energieträger konzentrieren.“

cn

GEMEINSAME FORSCHUNG WIRD VERLÄNGERT

Das **Deutsch-Russische Labor** am Elektronenspeicherring BESSY II feierte 2011 sein zehnjähriges Jubiläum.

Kooperationen in der Wissenschaft werden zwischen Deutschland und Russland seit Jahren auf höchster politischer Ebene gefördert. Grundlage dafür ist die „Gemeinsame Erklärung über die Deutsch-Russische Strategische Partnerschaft in Bildung, Forschung und Innovation“, deren Ziel der Ausbau der Zusammenarbeit in einem breiten Spektrum von Forschungsgebieten ist. Jüngstes Beispiel der Kooperation war das „Deutsch-Russische Jahr der Bildung, Wissenschaft und Innovation 2011/2012“, in dem von Juli 2011 bis Juni 2012 zahlreiche Veranstaltungen in beiden Ländern stattfanden. Auch für die Helmholtz-Gemeinschaft ist Russland ein wichtiger Partner, der unter anderem den Aufbau des internationalen Beschleunigerzentrums FAIR am GSI Helmholtz-Zentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt unterstützt.

Weiterer Ausbau geplant

Ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Kooperation ist zudem das Deutsch-Russische Labor am Elektronenspeicherring BESSY II des HZB, das im Juni 2011 mit einem Workshop in Berlin bereits sein zehnjähriges Bestehen feiern konnte. Im Rahmen der in dieser Form einzigartigen Kooperation zwischen deutschen und russischen Wissenschaft-

lern arbeiten das HZB, die Freie Universität Berlin, die Technische Universität Dresden, die Staatliche Universität St. Petersburg, das Ioffe Institute in St. Petersburg sowie das Kurchatov Institut und das Shubnikov Institut für Kristallographie in Moskau auf dem Gebiet der Instrument- und Methodenentwicklung an der Synchrotronstrahlungsquelle zusammen.

Im Zentrum des Deutsch-Russischen Labors steht ein Strahlrohr für weiche Röntgenstrahlung, mit der die atomare Struktur von Materie erforscht werden kann. „Versuche mit Synchrotron-Strahlung spielen in der Grundlagenforschung eine sehr große Rolle“, sagt Eckart Rühl, Professor für Physikalische Chemie an der Freien Universität Berlin und Vorsitzender des Lenkungsausschusses des Russisch-Deutschen Labors. Weil die Nachfrage der Forscher, die Materialproben mithilfe des Strahlrohrs im Labor untersuchen möchten, die freie Messzeit übersteigt, sollen die Forschungskapazitäten künftig ausgebaut werden. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung stellt Fördermittel bereit, mit denen die experimentellen Ressourcen aufgestockt werden können. Geplant ist der Bau eines sogenannten Undulator-Strahlrohrs, mit dem das Russisch-Deutsche Labor in den nächsten zwei Jahren zu einem weltweit führenden Messplatz für winkel- und spinaufgelöste Photoelektronenspektroskopie ausgebaut werden soll. Ziel ist die Untersuchung von magnetischen Materialien mit Dimensionen im Nanometerbereich.

Zahlreiche Erfolge

Das Russisch-Deutsche Labor kann nach zehn Jahren auf eine Vielzahl wissenschaftlicher Erfolge zurückblicken: Mehr als 250 Publikationen in renommierten Fachmagazinen gingen bisher aus Forschungsarbeiten am Labor hervor. 48 Diplom-, 14 Doktorarbeiten und zwei Habilitationen basieren zu großen Teilen auf Ergebnissen, die hier erarbeitet wurden. Unterstützt werden die Forschungen im Deutsch-Russischen Labor vom Internationalen Exzellenzzentrum für Natur-



V.l.n.r.: Prof. Dr. Andrei G. Zabrodskii (Ioffe Institute), Prof. Dr. Clemens Laubschat (TU Dresden), Prof. Dr. Sergey Tunik (Universität St. Petersburg), Prof. Dr. Anke Kayser-Pyzalla (HZB) und Prof. Dr. Peter-André Alt (Freie Universität Berlin) unterzeichneten die Vertragsverlängerung für das Deutsch-Russische Labor.

wissenschaften, das die Staatliche Universität St. Petersburg und die Freie Universität Berlin 2010 gegründet haben. Dieses sogenannte German-Russian Interdisciplinary Science Center (G-RISC) hat seinen Sitz in St. Petersburg und wird vom Deutschen Akademischen Austauschdienst aus Mitteln des Auswärtigen Amtes finanziert. G-RISC stellt einen Wissenschaftler, der als Angestellter der Freien Universität Berlin die Nutzer des Deutsch-Russischen Labors bei BESSY II bei den Messungen betreut.

Damit auch weiterhin gemeinsam geforscht werden kann, verlängerten die am Deutsch-Russischen Labor beteiligten Partner am Rande des Workshops den Vertrag bis Ende 2013. Sobald das vom Bundesforschungsministerium geförderte neue Strahlrohr am Undulator U 125/2 bei BESSY II in Betrieb geht, was für Mitte 2013 geplant ist, muss ein neuer Vertrag abgeschlossen werden. Dieser Vertrag wird am HZB bereits vorbereitet und soll noch 2012 mit den beteiligten Partnern verhandelt werden. *cn*

AUF DEM WEG ZUM STABILEN FREIE-ELEKTRONEN-LASER

Wissenschaftler von HZB und der Synchrotronstrahlungsquelle MAX-lab kooperieren, um **Synchrotronlicht** in bislang unerreichter Qualität erzeugen zu können.

Forscher wie Dr. Johannes Bahrdt vom HZB streben nach der Verbesserung des Synchrotronlichts, um der Wissenschaft das Tor zu noch genaueren Einblicken in die Materie aufzustoßen. Die Entwicklung von stabilisierten Freie-Elektronen-Lasern (seeded FEL) gilt als ein wichtiger Schritt auf dem Weg dorthin, weil diese eine hohe Lichtintensität bei kurzen Wellenlängen mit der Reinheit des Spektrums und der zeitlichen Kohärenz des Lichtpaketes verbinden können. Diese Kombination war bislang nur bei längeren Wellenlängen (infrarot bis UV) verfügbar. In Kooperation mit den Kollegen der schwedischen Universität Lund hat Bahrdt zusammen mit weiteren Wissenschaftlern des HZB an der Synchrotronstrahlungsquelle MAX-lab in Lund ein bislang einmaliges Experiment durchgeführt: Den Forschern gelang es, kohärente Lichtpulse im extremen vakuum-ultravioletten Spektralbereich von 66 Nanometern zu generieren, die nur 200 Femtosekunden lang sind und die eine variable Polarisierung aufweisen. Sie übertragen auf diese Weise die Stabilität und Gleichmäßigkeit eines kommerziellen Lasers langer Wellenlänge auf einen Lichtimpuls in einem für die Wissenschaft wichtigen Spektralbereich, wo es Lichtquellen gleicher Qualität bisher nicht gibt. „Damit haben wir einen wichtigen Schritt auf dem Weg zu einem stabilen Freie-Elektronen-Laser vollzogen“, sagt Dr. Johannes Bahrdt, Leiter der HZB-Abteilung „Undulatoren“.

Für das Experiment, das im Rahmen des EuroFEL Design Project aufgebaut wurde, hat die Undulatorenabteilung des HZB das komplette Undulatorsystem entwickelt – also die



Dr. Johannes Bahrdt leitet die Abteilung Undulatoren am HZB.

aneinandergereihten Dipolmagnete, mit deren Hilfe die Synchrotronstrahlung erzeugt wird –, es nach Schweden transportiert und dort installiert. Außerdem stellte sie die Glasfasersysteme zur Elektronenstrahldiagnostik bereit. Zur Maximierung der kohärenten Strahlung müssen die Elektronenpakete (Bunche) in Flugrichtung komprimiert werden. Das Institut für Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung des HZB hat eine Terahertz-Detektion zur Optimierung der Bunchkompression im Injections-Linac beigesteuert. Die Kollegen aus Schweden richteten am MAX-lab den Vorbeschleuniger sowie zwei neue Lasersysteme ein, mit denen die Elektronen erzeugt beziehungsweise moduliert wurden. Weiter haben sie zum Nachweis der transversalen Kohärenz und der reduzierten Energiebandbreite der kohärenten Strahlung die notwendige Photonendiagnostik aufgebaut.

AUF DER SUCHE NACH DEN WIRKPRINZIPIEN FUNKTIONALER MATERIALIEN

Die Helmholtz-Gemeinschaft fördert das neue **Virtuelle Institut** „Dynamic Pathways in Multidimensional Landscapes“ am HZB. Zudem ist das HZB an einem weiteren Virtuellen Institut beteiligt.

Virtuelle Institute sind ein Instrument der Helmholtz-Gemeinschaft, um Kooperationen zwischen Hochschulen und Helmholtz-Zentren zu initiieren und zu festigen. Sie werden von der Helmholtz-Gemeinschaft und den beteiligten Partnern bis zu fünf Jahre lang finanziell gefördert, ehe über die weitere Zusammenarbeit entschieden wird. Ziel ist die Stärkung universitärer Forschung durch die Errichtung sichtbarer Kompetenzzentren und die Vernetzung mit Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft als der größten deutschen Wissenschaftsorganisation. Virtuelle Institute sollen als Kern für künftige größere strategische Forschungsvorhaben dienen und dabei neben einer



Das HZB stellt dem neuen Virtuellen Institut Forschungsmöglichkeiten an seinem Elektronenspeicherring BESSY II zur Verfügung.

Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses auch eine starke internationale Vernetzung ermöglichen.

Neues Virtuelles Institut am HZB

Ende Juni 2011 hat das HZB den Zuschlag der Helmholtz-Gemeinschaft für das Virtuelle Institut „Dynamic Pathways in Multidimensional Landscapes“ erhalten, eines von insgesamt zwölf Virtuellen Helmholtz-Instituten, die 2011 neu gegründet wurden. Die Helmholtz-Gemeinschaft fördert das Institut mit insgesamt 2,29 Mio. Euro. In dem neuen

Virtuellen Institut werden die Helmholtz-Zentren HZB und DESY gemeinsam mit der FU Berlin und der TU Berlin sowie mit nationalen und internationalen Partnern die übergreifenden Prinzipien komplexer Materialien untersuchen. Die Eigenschaften komplexer Materialien werden durch die Wechselwirkungen ihrer inneren Freiheitsgrade Ladung, orbitale Besetzung, Spin und Struktur miteinander und mit ihrer Umgebung bestimmt. Die durch diese Wechselwirkungen erzeugte Funktionalität kann man nutzen und sogar beeinflussen – etwa um Energie zu gewinnen oder Daten zu speichern und zu kommunizieren. Das wissenschaftliche Programm orientiert sich daher an den vier Dimensionen Energie, Zeit, Raum und Impuls und überschreitet bewusst die konventionellen disziplinären Grenzen zwischen Festkörpern, Flüssigkeiten und molekularen Systemen. Instrumentell fußt das Virtuelle Institut auf den beschleunigerbasierten Röntgenquellen von HZB und DESY, der Linac Coherent Light Source in Stanford und den laserbasierten Instrumenten an den Universitäten.

Multifunktionale Biomaterialien für die Medizin

Mit dem Institut „Multifunktionale Biomaterialien für die Medizin“ wurde Ende 2011 ein weiteres Virtuelles Institut der Helmholtz-Gemeinschaft eröffnet, an dem neben dem federführenden Helmholtz-Zentrum Geesthacht in Teltow (HZG) und der FU Berlin auch das HZB einer der Kernpartner ist. Ziel ist es, die Wechselwirkungen zwischen Proteinen und polymeren Biomaterialien zu untersuchen, die bislang noch nicht ausreichend verstanden und kontrollierbar sind. Für moderne Konzepte medizinischer Therapien ist häufig der Einsatz multifunktionaler Biomaterialien erforderlich. Dabei kann es sich etwa um Implantatmaterialien im Körper oder um Träger von Wirkstoffen handeln. Die Wechselwirkungen zwischen körpereigenen Proteinen und diesen Biomaterialien können allerdings grundlegend die Eigenschaften und das Verhalten der Materialien verändern. Mit dem Virtuellen Institut wollen sich die FU Berlin und die beiden Helmholtz-Partner stärker vernetzen und das Forschungsthema künftig zusammen mit weiteren Partnern aus dem In- und Ausland bearbeiten. cn

PVCOMB IST EIN BEGEHRTER PARTNER DER INDUSTRIE

Das PVcomB, eine Initiative von HZB und TU Berlin, wurde 2011 offiziell eingeweiht und hat bereits zahlreiche **Kooperationen** mit der Industrie vereinbart.

www

Das Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik Berlin (PVcomB) hat sich den Wissenstransfer vom Labor in angewandte industrielle Prozesse rund um die Herstellung von Dünnschicht-Photovoltaiktechnologien und -produkten zur Aufgabe gemacht. Die 100-prozentige Tochtereinrichtung des HZB wurde am 30. März 2011 im Beisein des BMBF-Staatssekretärs Dr. Georg Schütte und des Präsidenten der Helmholtz-Gemeinschaft, Prof. Dr. Jürgen Mlynek, offiziell eingeweiht. „Der rasche Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert Investitionen, um die Technologien weiter zu verbessern und ökonomisch konkurrenzfähig zu machen. Die Photovoltaik hat dabei ein großes Potenzial, insbesondere wenn es gelingt, die Fortschritte, die im Labor erzielt werden, in marktfähige Produkte zu übersetzen.

Das PVcomB ist ein Schritt auf diesem Weg“, sagte Prof. Dr. Jürgen Mlynek.

Bei der Veranstaltung in Berlin Adlershof wurde auch der Bau des neuen Zentrums für Photovoltaik (ZPV) durch die Wista Management GmbH, die Betreibergesellschaft des Technologieparks,

mit einem symbolischen Spatenstich begonnen. In unmittelbarer Nähe zum PVcomB, das wesentlich zur Stärkung des Solar-Clusters Adlershof beiträgt, wird das ZPV ab 2013 insgesamt 8.000 Quadratmeter an Produktions-, Labor- und Büroflächen für kleinere und mittlere Firmen der Cleantech-Branche zur Verfügung stellen. In den letzten vier Jahren sind im Technologiepark Adlershof bereits über 1.000 Arbeitsplätze in der Photovoltaik entstanden.

Das 2007 gemeinsam von HZB und TU Berlin gegründete PVcomB hatte seine Arbeit schon vor der Einweihung aufgenommen und konnte Ende 2010 bereits die ersten eigenen Photovoltaik-Module herstellen. Um den Technologietransfer entlang der Wertschöpfungskette der Photovoltaikindustrie



Moderne Fertigungslinie für Solarzellenmodule am PVcomB.

zu verbessern, kooperiert das PVcomB im Rahmen der vom Bundesumweltministerium initiierten Innovationsallianz Photovoltaik seit 2011 mit mehreren Industriepartnern. Mit den Verbundpartnern Inventux, NEXT ENERGY und Hüttinger Elektronik startet das PVcomB ein Forschungsvorhaben, um die Steigerung des Wirkungsgrades in der mikromorphen Technologie auf über zwölf Prozent bei gleichzeitiger Verdopplung der Abscheideraten zu erreichen. Ein weiteres Projekt soll mit Leybold Optics am PVcomB umgesetzt werden.

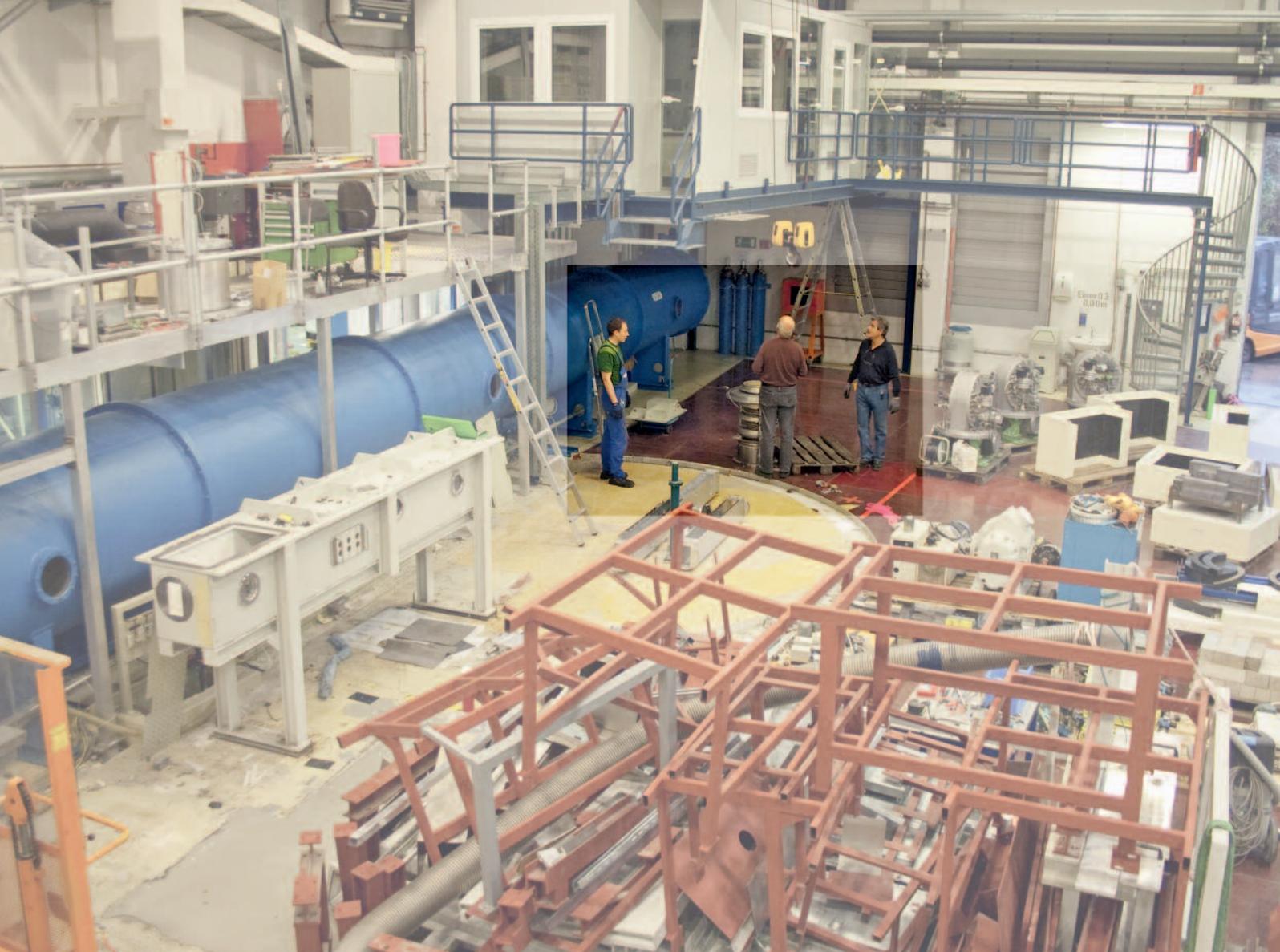
Kooperationsvertrag mit centrotherm photovoltaics

Im Geschäftsbereich Dünnschichtmodul unterzeichnete das PVcomB Mitte April 2011 einen Kooperationsvertrag mit der centrotherm photovoltaics AG, einem weltweit führenden Technologie- und Equipmentanbieter der Photovoltaik-Branche. Zusammen mit dem PVcomB will das Unternehmen die Prozesstechnologie zur Herstellung von Dünnschichtmodulen weiterentwickeln. Prof. Dr. Hans Werner Schock, einer der Initiatoren des PVcomB und Direktor des Instituts für Technologie am HZB, sieht große Chancen bei der Zusammenarbeit: „Einerseits ermöglichen uns die Anlagen der centrotherm photovoltaics AG, Fragen zu Forschung und Entwicklung aus der Industrie auf einer etablierten Plattform zu bearbeiten. Andererseits werden wir auf dieser Basis neue Entwicklungen aus der Grundlagenforschung möglichst schnell auf einer industrierelevanten Linie aufskalieren können.“ Ein weiterer Vorteil der Kooperation liegt in der Verbesserung der Ausbildung von Ingenieuren und Wissenschaftlern an diesen hochtechnologischen Anlagen.

cn



Dr. Rutger Schlatmann (li.), Direktor des PVcomB, begrüßte die Gäste bei der offiziellen Einweihung der Einrichtung.



ZUKUNFTSPROJEKTE

Mit der Neutronenquelle BER II und dem Elektronenspeicherring BESSY II betreibt das Helmholtz-Zentrum Berlin zwei Großgeräte, die von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus aller Welt für ihre Experimente genutzt werden. Der Umbau der Neutronenquelle mit vielfältigen Verbesserungen war notwendig, um auch weiterhin attraktive Forschungsplätze in Berlin-Wannsee anbieten zu können. Gleiches gilt für eine Reihe von wichtigen Zukunftsprojekten, mit denen der Elektronenspeicherring auf den aktuellsten Stand der Wissenschaft gebracht wird. So konnten im Rahmen des Projekts BERLinPro erstmals mit einer supra-leitenden Elektronenquelle (SRF Gun) Photoelektronen

erzeugt und beschleunigt werden. Damit gelang ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Entwicklung eines Energy Recovery Linac, der der Wissenschaft neue Anwendungsbereiche eröffnen soll. Eine Verbesserung der Synchrotronstrahlung ist auch das Ziel des 2011 vom Berliner Senat für Wissenschaft und Forschung bewilligten und von der EU geförderten Technologiezentrums für hocheffiziente optische Präzisionsgitter. Mit dem Großprojekt *EMIL* (Energy Materials In-situ Laboratory Berlin) geht das HZB den Bau eines neuen Röntgen-Strahlrohrs an, das für die Analyse von Materialien für die regenerative Energiegewinnung eingesetzt werden soll. Mehr zu unseren Zukunftsprojekten erfahren Sie auf den nächsten Seiten.

MEILENSTEIN FÜR BERLINPRO

Wissenschaftler am HZB haben mit einer **supraleitenden Elektronenquelle**, der SRF-Gun, die ersten Photoelektronen erzeugt und beschleunigt.

www

Mit seiner Machbarkeitsstudie *BERLinPro* prüft das HZB, ob sich das Prinzip eines Linearbeschleunigers mit Energierückgewinnung grundsätzlich realisieren lässt. Mit ihm könnte die Leistungsfähigkeit von Synchrotronstrahlungsquellen so weit verbessert werden, dass Forscher damit nicht mehr nur hervorragende Momentaufnahmen ihrer Proben machen können, sondern auch die Veränderung der betrachteten Strukturen in Zeitabständen von Millionstel Sekundenbruchteilen verfolgen können.

Im Rahmen von *BERLinPro* nahm die Projektgruppe um Dr. Thorsten Kamps vom Institut für Beschleunigerphysik in

Zusammenarbeit mit dem HZB-Institut für SRF Wissenschaft und Technologie im April 2011 eine wichtige Hürde: Ihnen gelang es, mit einem supraleitenden Hochfrequenz-Photoinjektor aus einer supraleitenden Photokathode einen Elektronenstrahl zu erzeugen und zu beschleunigen. Damit ist ein wichtiger Schritt bei der Realisierung von *BERLinPro* gelungen, denn für den Betrieb eines Linearbeschleunigers mit Energierückgewinnung werden Elektronenquellen mit hoher Brillanz benötigt. An der Planung, dem Aufbau und Betrieb des Projekts waren zudem Experten des Jefferson Accelerator Laboratory (USA), des polnischen Rechenzentrums IPJ Swierk, DESY sowie des Max-Born-Instituts beteiligt. *cn*

PRÄZISERE GITTER FÜR BESSERES LICHT

Das HZB richtet ein Technologiezentrum für hocheffiziente **optische Präzisionsgitter** ein. Mit ihnen soll die Leistungsfähigkeit der Synchrotronstrahlung von BESSY II verbessert werden.

Das Bestrahlen von Proben mit dem kurzwelligen Röntgenlicht von BESSY II ermöglicht einzigartige Einblicke in die Struktur der Materie. Um die untersuchten Proben detailliert auswerten zu können, müssen die Wissenschaftler die Eigenschaften des Lichts, mit dem sie ihre Materialien bestrahlen, genau kennen. Deshalb wird das Röntgenlicht mithilfe von Beugungsgittern in seine einzelnen Wellenlängen aufgefächert. Die für die jeweiligen Untersuchungen benötigten Wellenlängen werden herausgefiltert und auf die Proben gelenkt. Um diese Beugungsgitter herstellen und weiter entwickeln zu können, baut das HZB ein Technologiezentrum für hocheffiziente optische Präzisionsgitter auf. Es wird vom neuen HZB-Institut für Nanometeroptik und Technologie umgesetzt und durch die Arbeitsgruppe von Dr. Bernd Loechel betreut.

Den Grundstein für dieses Projekt legte der Berliner Senat für Wissenschaft und Forschung Anfang 2011 mit der Bewilligung von fünf Millionen Euro aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). „Mit diesen Mitteln wurde unter anderem die bisherige Produktionslinie

für Präzisionsgitter von der Carl Zeiss AG übernommen und in Berlin aufgebaut“, berichtet Loechel. Auf ihr sollen im neuen Technologiezentrum mithilfe einer weiter verbesserten technischen Ausstattung die Beugungsgitter produziert und so weiterentwickelt werden, dass sie eine möglichst hohe Lichtausbeute ermöglichen.

Das gelingt den Forschern mit sogenannten Blaze-Gittern, die ein eingepprägtes Sägezahn-Profil besitzen. Präzise Sägezahnstrukturen im Nanometerbereich herzustellen ist jedoch immer noch eine technologische Herausforderung. Inzwischen wurden mithilfe des am HZB installierten Zeiss-Equipments erste Blaze-Gitter probeweise produziert. Auf Grund der derzeit noch nicht optimierten Umgebungsverhältnisse konnten bislang nur Gitter mit bis zu 2.000 Linien pro Millimeter und einer Länge von fünf Zentimetern hergestellt werden. Die erreichte Qualität der Gitter entspricht damit der von internationalen Anbietern. Ziel des neuen Technologiezentrums ist es, im zweiten Halbjahr 2012 erste einsatzfähige Blaze-Gitter für die Forschung bereit zu stellen. *cn*

EMIL UND DIE FORSCHUNG AN ENERGIEMATERIALIEN

Mit dem **Großprojekt EMIL** (Energy Materials In-situ Laboratory Berlin) schafft das HZB bis 2015 neue Möglichkeiten für die Forschung an Energiematerialien.

www

Es war Kinderbuchautor Erich Kästner, der den Jungenamen Emil 1929 literarisch für Generationen von Lesern mit Berlin verknüpfte. In „Emil und die Detektive“ macht sich der Titelheld in der Stadt an der Spree auf, mithilfe seiner Freunde einen Dieb zu suchen und zu überführen. Mit seinem Forschungsprojekt *EMIL* geht das HZB mit Unterstützung der Max-Planck-Gesellschaft ebenfalls auf die Suche: nach besseren Materialien für die regenerative Energiegewinnung. Im Mittelpunkt des Projekts steht der Aufbau eines neuen Röntgenstrahlrohrs an der Synchrotronquelle BESSY II, mit dem diese Materialien analysiert werden können.

Nachdem zunächst ein externes, vom wissenschaftlichen Beirat eingesetztes Gutachtergremium das Projekt positiv begutachtet hatte, entschied der Aufsichtsrat des HZB im Oktober 2011 die Realisierung von *EMIL*. Damit wird ein weltweit einzigartiges Labor an BESSY II aufgebaut und voraussichtlich ab Anfang 2015 betrieben, in dem mit Röntgenanalytik Materialien für die Photovoltaik und für photokatalytische Prozesse untersucht werden können. Es sollen mehrere Experimentierplätze entstehen, an denen Forscher Zugang zu weicher und harter Röntgenstrahlung haben. „In dem geplanten Labor werden wir besser als

irgendwo sonst auf der Welt Materialherstellung und ultra-präzise Analyse von Schichteigenschaften ohne Unterbrechung des für die Synthese notwendigen Vakuums miteinander verbinden, um noch bessere Dünnschicht-Solarzellen und Energiespeicher zu entwickeln“, sagt Dr. Klaus Lips, der das Projekt am HZB leitet.

Mit Sissy Solarzellen verbessern

Einer der drei Experimentierplätze, die im Rahmen von *EMIL* entstehen, heißt Sissy (Solar Energy Materials In-Situ Spectroscopy at the Synchrotron). Dahinter verbirgt sich ein hochmoderner Analyse-Messplatz für die Solarenergieforschung, der dazu beitragen soll, Dünnschicht-Solarzellen gezielt weiterzuentwickeln. Damit Solarstrom konkurrenzfähig wird, sind Forscher auf der Suche nach neuen Materialkombinationen, mit denen die Solarmodule kostengünstiger und effizienter in Herstellung und Betrieb werden. Solarzellen bestehen aus hauchdünnen Schichten, die eingestrahlte Sonnenenergie in elektrische Ladung umwandeln. Die Grenzflächen zwischen diesen Schichten sind nur einige Atomlagen stark, bestimmen aber die chemisch-elektronischen Eigenschaften der Solarzelle. Um sie untersuchen zu können werden die Solarzellen mit einem spektroskopischen Verfahren, der Röntgenanalytik, untersucht. Die dafür vorhandenen Messplätze sind jedoch oft Monate im Voraus ausgebucht.

Das Solarzellen in-situ-Labor am Synchrotron (Sissy) wird direkt an den Elektronenspeicherring BESSY II angeschlossen und Forschern täglich exklusiven Zugang zur Röntgenanalytik ermöglichen. Zudem müssen die Forscher die Siliziumschichten der Solarzellen im Sissy-Labor nicht mehr vom Labor zum Messplatz transportieren, sondern können sie im sogenannten Clustertool direkt vor Ort präparieren. Im Sissy-Labor können Forscher die Proben „in situ“, also während des Wachstums, untersuchen oder direkt von der Präparations- in die Analyse-Kammer übergeben. Dabei bleibt das für die Analyse wichtige Vakuum erhalten, weil sich die Ober- und Grenzflächen unter Einfluss von Luft verändern. Eine weitere Besonderheit von Sissy besteht darin, dass für die Analyse erstmals „harte“ und „weiche“



Am Elektronenspeicherring BESSY II wird bis 2015 das Labor *EMIL* angebaut. Es wird den Forschern der Solarenergie künftig zusätzliche Messplätze für ihre Proben bieten.

Röntgenstrahlen in einem einzigen Labor zur Verfügung stehen. Über ein ausgeklügeltes System werden die separat erzeugten Strahlen bei Sissy zusammengeführt. „Weiche“ Röntgenstrahlung analysiert genau die Oberflächen. Das energiereichere „harte“ Röntgenlicht liefert dagegen auch Informationen zu tieferen Schichten. So können die Forscher die Grenzflächen umfassend untersuchen. Sissy soll außerdem mit einem Röntgen-Photoelektronen-Mikroskop (X-PEEM) verbunden werden, das erlaubt, die Eigenschaften der Grenzflächen auf einer Nanometerskala abzubilden.

Ein Messplatz für Katalysatoren

Die Forschung an Katalysatoren soll an einem weiteren Messplatz, dem CAT@EMIL, erfolgen. Er wird von der Max-Planck-Gesellschaft finanziert und aufgebaut. Beide Messplätze dienen überwiegend der Eigenforschung, allerdings soll jeweils ein Drittel der Messzeit externen Nutzer von Universitäten und Industrie zur Verfügung gestellt werden.

Der dritte geplante Messplatz im *EMIL*-Projekt (60to6), für den noch die Finanzierung aussteht, wäre hingegen mit bis zu 80 Prozent der Messzeit vor allem für die externen Nutzer gedacht.

Der Aufbau von *EMIL* mit seinen Analysetools Sissy und CAT@EMIL kostet rund 18 Millionen Euro. Das HZB wird 6 Millionen Euro in *EMIL* investieren; die Max-Planck-Gesellschaft beteiligt sich mit weiteren 6,7 Millionen Euro. Das Bundesforschungsministerium fördert den Bau von Sissy mit 5,7 Millionen Euro aus der Innovationsallianz „Photovoltaik“. „Dass wir *EMIL* gemeinsam mit der Max-Planck-Gesellschaft realisieren und für Forscher weltweit beste Analysebedingungen schaffen, wäre ohne die Fusion von Hahn-Meintner-Institut und BESSY im Jahr 2009 nicht denkbar. Beim neuen Großprojekt *EMIL* wird der Gewinn der Fusion für die Forschung besonders sichtbar“, sagt die wissenschaftliche Geschäftsführerin des HZB, Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla. cn

NEUTRONEN UNTER EXTREMEN BEDINGUNGEN

Das HZB baut bis 2013 einen **Hochfeldmagneten** mit einer Feldstärke von zunächst 25 Tesla. Das Neutroneninstrument „Extreme Environment Diffractometer“ (EXED) ist speziell an ihn angepasst.



Die Fertigstellung des weltweit stärksten Hochfeldmagneten (HFM) für Experimente mit Neutronenstreuung wird einmalige Experimentierbedingungen schaffen. Dafür wird der HFM baulich so angepasst, dass die Neutronen ungestörten Zutritt zu den im Inneren des Magneten positionierten Proben haben, die untersucht werden sollen. Im Zentrum des HFM befindet sich ein liegender Doppeltrichter, auf dessen einer Seite der Neutronenstrahl eindringt und an der engsten Stelle auf die Probe fällt. Auf der anderen Seite des Trichters treten die von der Probe abgelenkten Neutronen aus und werden dort von Detektoren gemessen. Diese Anordnung bringt jedoch einen Nachteil mit sich: „Ohne Hochfeldmagnet können die gestreuten Neutronen in alle Richtungen beobachtet werden, aufgrund des Doppeltrichters ist dies nur noch in einem Winkel von 30 Grad möglich“, erläutert der technische Projektleiter Dr. Peter Smeibidl das Problem. Mit dem EXED, einem von etwa 15 Instrumenten an der Neutronenquelle BER II, gleichen die Wissenschaftler diesen Nachteil aus. EXED ermöglicht mit seinem multispektralen Neutronenleiter Experimente mit einer ungewöhnlich großen Bandbreite an verschiedenen Neutronenwellenlängen. Statt wie bislang nur mit einer einzigen Wellenlänge, kann die Probe gleichzeitig mit Neutronen ver-

schiedener Wellenlängen von 0,5 bis 15 Ångström versorgt und die Streuung aufgezeichnet werden. Diese Daten ermöglichen den Wissenschaftlern wichtige Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Probe.



Am Ende des Neutronenleiters (rechts) stehen je zwei Detektoren für die Vorwärts- und Rückwärtsstreuung. Im Zentrum des Instrumentes (Mitte) befindet sich ein Instrumententisch für Testmessungen. Dort wird später das wesentlich größere Magnetsystem stehen. Zusätzlich (nicht im Bild) gibt es verschiedene Choppersysteme im Verlauf des Neutronenleiters sowie Computersysteme zur Steuerung der Choppersysteme und zur Auswertung der Detektordaten.

SCHEINWERFER STATT KERZENLICHT

Die **Europäische Spallationsneutronenquelle (ESS)**, deren Bau ab 2013 im schwedischen Lund geplant ist, wird einzigartige Einblicke in die Materie ermöglichen. Das HZB ist mit zahlreichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an den Planungen beteiligt.

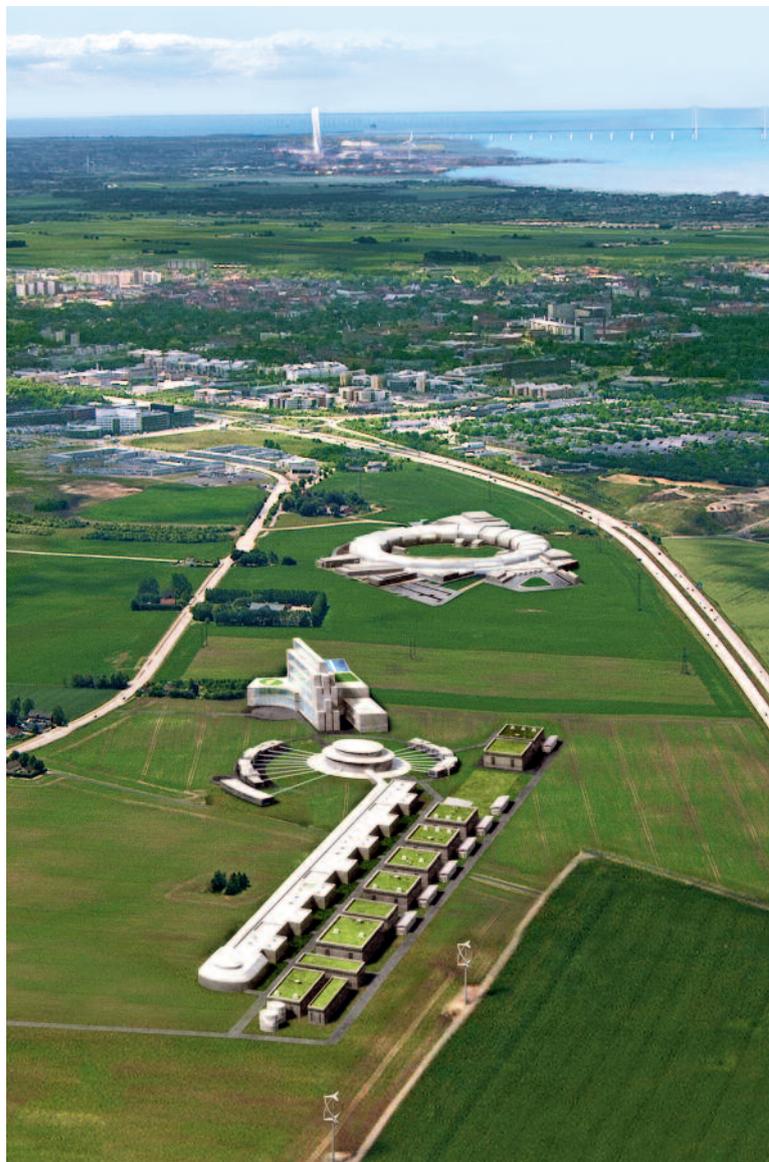
www

Neutronen ermöglichen den Forschern einen einzigartigen Blick ins Innere von Materie und sind aus der Grundlagenforschung nicht wegzudenken. Sie machen Strukturen und Bewegungsvorgänge auf atomaren Längenskalen sichtbar. Je intensiver die Neutronenstrahlen sind, desto mehr Details im Aufbau der Materie vermögen die Messungen sichtbar zu machen. Um in Zukunft noch mehr Neutronen auf die Proben zu richten, haben die Wissenschaftler am HZB kürzlich ein Upgrade der Neutronenquelle BER II und deren Instrumentierung vorgenommen.

Blickt man weiter in die Zukunft, dann werden künftige Neutronenquellen fast ausschließlich auf der Gewinnung von Neutronen durch Spallation, also Abspaltung von Kernfragmenten beruhen. Dafür beschleunigen Wissenschaftler zunächst Protonen, die positiven Teilchen von Atomkernen, fast bis auf Lichtgeschwindigkeit. Die Protonen werden dann auf einen schweren Metallblock aus Wolfram gelenkt. Durch die Kollision mit den hochenergetischen Protonen werden die Atomkerne im Metallblock so angeregt, dass eine Vielzahl von Neutronen „abdampft“. Dieser Effekt erzeugt die meisten wissenschaftlich nutzbaren Neutronen pro Energieeinheit Abwärme. Weil die so erzeugten Neutronen jedoch zu schnell und energiereich sind, um damit forschen zu können, müssen sie abgebremst werden. Das geschieht in sogenannten Moderatoren, die in der Nähe des Metallblocks angeordnet sind und in denen sich Methan oder Wasserstoff befinden.

Europas größte Neutronenquelle

Mit dem Bau der Europäischen Spallationsneutronenquelle (ESS) in Lund, einer kleinen Universitätsstadt in der Nähe der Hafenstadt



Noch ist die Europäische Spallationsneutronenquelle (ESS) nur eine Computersimulation, doch schon jetzt sind Wissenschaftler des HZB an den Planungen zur Konzeption sowie Instrumentierung der Anlage, die im schwedischen Lund gebaut werden soll, beteiligt.

Malmö im Südwesten Schwedens, soll dieses Verfahren im großen Maßstab realisiert werden. An dem Projekt, für das derzeit noch die Planungsphase für die Instrumente und Komponenten läuft, sind 17 europäische Länder beteiligt. Der Baubeginn der ESS ist für 2013 geplant, ab 2019 könnten die ersten Neutronen fließen. 2025 soll die Anlage vollständig in Betrieb sein und Nutzern aus aller Welt offen stehen. Die Gesamtkosten für Planung, Bau und Betrieb der ESS werden auf 1,5 Milliarden Euro geschätzt.

HZB am Aufbau beteiligt

An der ESS werden die Forscher Neutronen in zeitlich gepulsten Neutronenpaketen für ihre Experimente nutzen können. „Während bei den durch Kernspaltung gewonnenen Neutronen der Neutronenfluss kontinuierlich ist, liefert die ESS Neutronen, die als Pakete gebündelt in kurzen Abständen auf die Probe treffen“, erläutert Dr. Klaus Habicht, Leiter der Abteilung Forschung mit Spallationsneutronen am HZB und Projektleiter der Arbeiten des HZB für die Design-Update-Phase der ESS. In jedem Paket – Wissenschaftler sprechen von sogenannten Neutronenpulsen – sind Neutronen mit verschiedenen Geschwindigkeiten vorhanden. Sie werden über Strahlrohre zu den Experimentierstationen mit ihren spezifischen Instrumenten geleitet. Flugzeitexperimente, in denen die Neutronen in individuellen Paketen genutzt werden, profitieren in besonderer Weise von gepulsten Quellen, da die Portionierung in Pakete bereits von der Neutronenquelle vorgenommen wird.

Die ESS liefert zudem besonders lange Neutronenpulse, mit denen weitere Steigerungen der Neutronenintensitäten erzielt werden können, die den Experimenten zugute kommen werden. Um es bildhaft auszudrücken: Haben Forscher bisher im Schein einer Kerze ins Innere von Stoffen geblickt, so werden sie an der ESS Neutronen zur Verfü-

gung haben, die man mit dem hellen Licht eines Scheinwerfers vergleichen könnte. Das ermöglicht Forschern, komplexe Fragen unter anderem in der Physik, der Biologie, der Chemie und der Medizin mit kleinsten Materialmengen zu beantworten. Die optimale Nutzung der langen Pulse wird durch neue Methoden ermöglicht, die maßgeblich am HZB entwickelt wurden. Für die experimentelle Überprüfung neuer Konzepte und von Prototypen kritischer Instrumentenkomponenten hat das HZB eine eigene Testbeamline aufgebaut, die die Pulse an der ESS in ihrer Zeitstruktur und Wiederholfrequenz nachbildet. Diese Möglichkeiten stellt das HZB den Wissenschaftler des Verbundvorhabens und der ESS zur Verfügung.

Inbetriebnahme für 2019 geplant

Bis die ESS im Jahr 2019 in Betrieb genommen werden kann, haben die am Bau beteiligten Forscher am HZB noch einiges zu tun. Sie bringen ihre Expertise als Instrumentenbetreuer aus zwei Jahrzehnten eigener Forschung und Betreuung externer Nutzer an der Neutronenquelle BER II in das Projekt mit ein und wissen daher genau, was die Forscher brauchen. Denn wie ein Neutroneninstrument aufgebaut ist, hängt entscheidend davon ab, welche Fragen Wissenschaftler daran untersuchen wollen. Unter der Leitung von Dr. Klaus Habicht entwickeln die HZB-Mitarbeiter Instrumentkonzepte vor allem zur Untersuchung von Dünnschichtsystemen (Reflektometrie), zur Durchleuchtung von großen Objekten (Tomographie), zu Bewegungsvorgängen von Atomen und Molekülen (Flugzeitspektroskopie) und zum Studium von Materie unter extremen Bedingungen wie zum Beispiel höchsten Magnetfeldern. Eine eigens in der Abteilung Forschung mit Spallationsneutronen eingerichtete Gruppe begleitet die Optimierung der Instrumentkonzepte mit Simulationen mit der speziell dafür am HZB entwickelten Simulationssoftware VITESS. *cn*

HIGH-TECH DETEKTOREN FÜR DIE ESS

Eine der Schlüsseltechnologien für die optimale Nutzung des hohen Neutronenflusses an der neuen Spallationsneutronenquelle sind effiziente Detektorsysteme, die ohne Helium-3 betrieben werden können. Genau daran arbeiten die Mitarbeiter des Detektorlabors im Arbeitspaket „Detektoren“. Für eine Instrumentenklasse (Reflektometer und Imaging) werden Detektoren mit einer Ortsempfindlichkeit von etwa 100 bis 500 µm benötigt, denn in der präzise gemessenen örtlichen Verteilung der Neutronen steckt die für die Wissenschaft benötigte Information. Gleichzeitig müssen die Detektoren in der Lage sein, Zählraten von mehr als 107 Neutronen pro Sekunde zu erfassen und mittels Ausleseelektronik auf Computern speichern zu können. Hierzu entwickelt die von Dr. Thomas Wilpert geleitete Arbeitsgruppe sogenannte

MSGC-Detektoren (Multi-Strip Gas Chamber). Darin werden dünne Schichten von Gadolinium-157, einem Element der seltenen Erden, verwendet. Es fängt die Neutronen mit besonders großer Effizienz ein. Die erzeugten Sekundärelektronen werden an den MSGC-Elektroden verstärkt und mit modernster Chip-Technologie ausgelesen. Die zweidimensionale Ortsinformation wird schließlich in einem sogenannten FPGA (Field Programmable Gate Array) berechnet, einem Bauteil das höchste Flexibilität erlaubt und in keiner modernen Datenerfassung fehlen darf. Die gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich Nachweiseffizienz, Orts- und Zeitauflösung helfen bei der endgültigen Entscheidung, welche Komponenten tatsächlich bei der Europäischen Spallationsneutronenquelle eingesetzt werden sollen.

EHRENVORSITZENDER VON TOYOTA BESUCHTE HZB

DR. SHOICHIRO TOYODA INFORMIERT SICH BEI BESSY II ÜBER DEUTSCH-JAPANISCHES PROJEKT.

Das HZB und das östlich von Tokyo gelegene Cluster Research Laboratory des Toyota Technology Institute (TTI), einer 1981 von Toyota ins Leben gerufenen Technische Universität in Nagoya, arbeiten seit zwei Jahren an gemeinsamen Forschungsthemen. Neben dem HZB und dem TTI sind auch die TU Berlin und die Universität Freiburg daran beteiligt. Das Thema der Wissenschaftler: Wie lassen sich exotische magnetische Phasen durch die Kontrolle von Größe und Zusammensetzung auf atomarer Skala stabilisieren? Die Ergebnisse könnten zu einem besseren Verständnis fundamentaler magnetischer Eigenschaften von Materialien führen, die für die Industrie von großer Bedeutung sind. Dafür haben die Wissenschaftler an BESSY II ein Experiment aufgebaut, bei dem ein supraleitender Magnet des TTI sowie eine am HZB, der TU Berlin und der Universität Freiburg

entwickelte Tieftemperatur-Ionenfalle genutzt werden. Diese Ionenfalle ermöglicht die Untersuchung kleinster Partikel mit einer Größe von nur wenigen Atomen mit dem Röntgenlicht von BESSY II und erlaubt einen detaillierten Einblick in die magnetische Struktur solcher Teilchen. Im Dezember 2010 wurden damit erstmals die Komponenten der Magnetisierung kleinster Eisenpartikel untersucht. Vor diesem Hintergrund hat Dr. Shoichiro Toyoda, ein Sohn des Firmengründers von Toyota und von 1992 bis 1999 selbst Vorsitzender des japanischen Automobilkonzerns, zusammen mit einer Delegation im Oktober 2011 den Elektronenspeicherring BESSY II besucht. Dr. Tobias Lau vom Institut für Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung hatte den Besuch initiiert und vorbereitet und informierte die Gäste zusammen mit seinem japanischen



Dr. Shoichiro Toyoda (li.) bei seinem Besuch am HZB.

Kooperationspartner, Prof. Akira Terasaki vom TTI, über den aktuellen Stand des Forschungsprojektes. Mit seinem Besuch des HZB bestätigte Dr. Toyoda den guten Ruf, den die Forschungen am HZB als Teil der Spitzenforschung Deutschlands weltweit genießen.

BUNDESKANZLERIN EHRT HZB-AUSZUBILDENDE

KATRIN KERRMANN, DIE IM HZB ZUR **MECHATRONIKERIN** AUSGEBILDET WURDE, ERHIELT IHREN AUSBILDUNGSABSCHLUSS AUS DEN HÄNDEN VON ANGELA MERKEL.

Die duale Berufsausbildung genießt nach wie vor hohes Ansehen. Um das zu unterstreichen, kam Bundeskanzlerin Angela Merkel im September 2011 zur Eröffnung des neuen Ausbildungsjahres in das ABB-Ausbildungszentrum in Pankow. Im Rahmen der Feierstunde am 2. September wurde auch die ehemalige HZB-Auszubildende Katrin Kerrmann von der Bundeskanzlerin für ihren vorzeitigen guten Abschluss als Mechatronikerin geehrt. Zumal junge Frauen in technischen Ausbildungsberufen immer noch weit unterdurchschnittlich vertreten sind – im ABB-Ausbildungszentrum beträgt



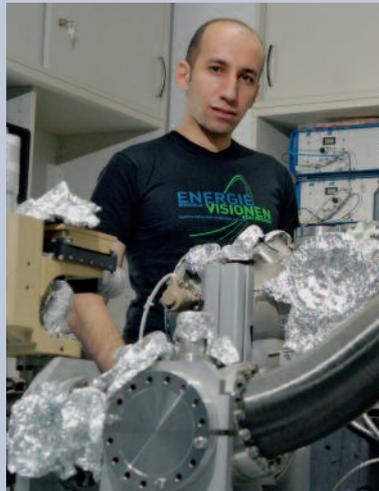
die Frauenquote nur zehn Prozent. „Ich hatte anfangs Bedenken, ob ich es schaffe, mich in dieser Männerdomäne durchzusetzen. Ich bin aber froh, diesen Schritt gewagt zu haben“, sagte Katrin Kerrmann im Rahmen

eines Beitrags der ARD-Tagesschau zu ihren Erfahrungen mit der Ausbildung. Im Rahmen der sogenannten Verbundausbildung, an der das HZB seit 2005 als Partner teilnimmt, werden im ABB-Ausbildungszentrum über 500 Auszubildende aus 120 Betrieben ausgebildet. Das HZB ist dabei mit seinen beiden Ausbildungsgängen Mechatroniker und Elektroniker für Betriebstechnik vertreten, die von Ausbilder Armin Dellermann engagiert betreut werden. „Ihr seid begehrter, als ihr es vielleicht vor zehn oder zwanzig Jahren wart“, machte die Kanzlerin den Auszubildenden Mut für ihre Zukunft.

ERSTER ERC STARTING GRANT FÜR DAS HZB

DER EUROPEAN RESEARCH COUNCIL (ERC) FÖRDERT EIN PROJEKT VON PROF. DR. EMAD FLEAR AZIZ, WISSENSCHAFTLER AM HZB UND DER FU BERLIN, MIT 1,5 MILLIONEN EURO.

Der Europäische Forschungsrat (ERC) möchte mit seinen sogenannten Starting Grants aufstrebende Forscher fördern, die ein Forschungsteam gründen oder unabhängige Forschung in Europa durchführen wollen. Es richtet sich an diejenigen, die nachweislich das Potenzial für die Führung von solchen Forschungsvorhaben mitbringen. Die Auszeichnung erhielt Prof. Dr. Emad Flear Aziz im September 2011. Sie ermöglicht es ihm, in den nächsten fünf Jahren die Untersuchung von funktionalen Materialien voranzubringen. Darüber hinaus fördert die Helmholtz-Gemeinschaft Aziz' Forschung mit weiteren 250.000 Euro.



Sein Forschungsthema lautet „Structure and Dynamics of Porphyrin-Based

Materials in Solutions vs. Interfaces“. Ziel der Forschung ist es, die Technologie von Kurzpuls-Lasern und Röntgenstrahl-Lichtquellen zu kombinieren, um die Dynamik biochemischer Proben in Lösung untersuchen zu können. Ein kurzer Laser-Puls soll dabei chemische oder biologische Reaktionen auslösen. Der kurz darauf folgende Röntgenpuls ermöglicht dann den Einblick in die strukturellen Änderungen auf molekularer und atomarer Ebene, die während dieses Prozesses stattfinden. Für diese Form der Forschung kann Emad Aziz nun ein interdisziplinäres Netzwerk aufbauen, das auch über den Förderzeitraum von fünf Jahren hinaus Bestand haben soll.

WICHTIGE BERUFUNGEN

Prof. Dr. Susan Schorr, Leiterin der Abteilung Kristallographie am HZB, ist im März 2011 auf eine gemeinsame S-Professur von FU Berlin und HZB berufen worden. Sie lehrt an der FU Berlin im Fachbereich Geowissenschaften.

Prof. Dr. Thomas Hannappel, zuvor kommissarischer Leiter der Abteilung „Materialien für die Photovoltaik“ am HZB, erhielt im August 2011 die Stiftungsprofessur „Photovoltaik“ an der Technischen Universität Ilmenau. Mit der Stiftungsprofessur ist die wissenschaftliche Leitung des Solarzentrums im CiS-Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik in Erfurt verbunden.

Prof. Dr. Joachim Dzubilla erhielt einen Ruf auf eine W2-(S)-Professur „Theorie und Simulation von Vielteilchensystemen“ am Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin. Die Berufung steht in Verbindung mit der Leitung einer eigenständigen Arbeitsgruppe am HZB.

Prof. Dr. Alexei Erko hat eine Honorarprofessur an der Freien Universität Berlin angenommen.

Prof. Dr. Marcus Bär hat die Junior-Professur „Photovoltaik“ der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus angenommen.

KURZ GEMELDET

Prof. Dr. Christian-Herbert Fischer und sein Team wurden am 19. Juni 2011 für das von ihnen patentierte Ion Layer Gas Reaction-Verfahren (ILGAR) zu einem der **vier German High Tech Champions 2011** gekürt. Der von der Fraunhofer-Gesellschaft ausgelobte Wettbewerb soll für den Forschungsstandort Deutschland im Ausland werben. Das Preisgeld von 10.000 Euro ermöglichte es Fischer und seinem Team, ihr Verfahren zur Herstellung von Dünnschicht-Solarzellen in Boston interessierten amerikanischen Unternehmen vorzustellen.

Am 24. Juni 2011 erhielt Prof. Dr. Emad Flear Aziz den **Karl-Scheel-Preis 2011** der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Sie würdigte damit „seine herausragenden Arbeiten zur Struktur und Dynamik von funktionalen Materialien in Lösung“. So hat die von Emad Aziz geleitete Forschergruppe auf mikroskopischer Skala herausgefunden, wie gelöste biochemische Stoffe ihre Funktion in ihrer natürlichen Umgebung ausüben.

Organisationsplan des HZB

Stand Juli 2012, Revision 19.07.2012 GB



Betriebsrat
Vorsitzende: E. Lesner

Wissenschaftlich-Technischer Rat
Vorsitzender: Prof. Dr. A. Föhlich

Geschäftsführung
Prof. Dr. A. Kayser-Pyzalla

Wissenschaftlicher Beirat
Vorsitzende: Dr. U. Steigenberger

Gesellschafterversammlung
(Bund und Land Berlin)

Aufsichtsrat
(Vorsitzender: Prof. Dr. J. Treusch)

Th. Frederiking

Kommunikation
(Dr. I. Helms)

Geschäftsführungsbüro
(Dr. B. Weißner)

Strategie und Programme
(Dr. M. Sauerborn)

Justizariat
(R. Richter)

Berufungen und Projekte
(Dr. A. Niemann)

Compliance Management
(C. Pursian)

Radioaktive Abfälle
(R. Schulze)

Objekt-sicherung

Strahlenschutz
(Dr. G. Buchert)

Zentrale Sicherheit
(Dr. B. Schröder-Smeibidl)

Wissenschaftliche GF Prof. Dr. A. Kayser-Pyzalla

Bereich Solarenergieforschung
Sprecher: Prof. Dr. B. Rech E

Silizium-Photovoltaik
(Prof. Dr. B. Rech) E-I1

Heterogene Materialsysteme
(Prof. Dr. M. Lux-Steiner) E-I2

Technologie
(Prof. Dr. H.W. Schock) E-I3

Solare Brennstoffe
(Dr. R. van de Krol) E-I6

Kompetenz-Zentrum Photovoltaik Berlin (PVcomB)
(Dr. R. Schlatmann) E-A1

Grenzflächendesign
(Prof. Dr. M. Bar) E-N1

Molekulare Systeme
(Prof. Dr. N. Koch) E-G1

Energiekatalyse
(Prof. R. Schlögl) E-G2

Bereich Großgeräte
Sprecher: Prof. Dr. A. Föhlich G

Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung
(Prof. Dr. A. Föhlich) G-I2

Beschleunigerphysik
(Prof. Dr. A. Jankowiak) G-I3

SRF – Wissenschaft und Technologie
(Prof. Dr. J. Knobloch) G-I4

Nanometroptik und Technologie
(Prof. Dr. A. Erko*) G-I5

Forschung mit Spallations-neutronen
(Dr. K. Habicht) G-A1

Undulatoren
(Dr. J. Bahrndt) G-A3

ERL-Design Simulationen
(Dr. A. Matveenko) G-N1

Neutronentomographie
(Prof. Dr. W. Treimer) G-G1

Bereich Magnetische Materialien
Sprecher: Prof. Dr. A. Tennant M

Komplexe Magnetische Materialien
(Prof. Dr. A. Tennant) M-H1

Magnetisierungsdynamik
(Prof. Dr. A. Tennant*) M-A1

Quantenphänomene in neuen Materialien
(Prof. Dr. B. Lake) M-A2

Kristallographie
(Prof. Dr. S. Schorr) M-A3

Bereich Funktionale Materialien
Sprecher: Prof. Dr. M. Ballauff F

Angewandte Materialforschung
(Prof. Dr. J. Banhart) F-I1

Weiche Materie und Funktionale Materialien
(Prof. Dr. M. Ballauff) F-I2

Mikrostruktur- und Eigenspannungsanalyse
(Prof. Dr. Ch. Genzel) F-A2

Funktionale Materialien in Flüssigkeiten
(Prof. Dr. E. F. Aziz Bekhit) F-N1

Funktionale Nanomaterialien
(Prof. Dr. S. Eisebitt) F-G2

Ultraschnelle Dynamik
(Prof. Dr. M. Bargheer) F-G4

Nutzerplattform
Sprecher: Prof. Dr. A. Jankowiak NP

Nutzerkoordination
(Dr. Th. Guberlet) NP-A1

Betrieb Reaktor BER II
(Dr. H. Krohn) NP-A2

Betrieb Beschleuniger BESSY II
(Prof. Dr. A. Jankowiak) NP-A3

Betrieb MLS
(K. Bürkman-Gehlein) S-MLS

Experimentnahe Technik 1
(Dr. A. Rupp) NP-H1

Technische Nutzerunterstützung BER II
(Dr. A. Rupp) NP-H11

Probenumgebung
(Dr. K. Kiefer) NP-H12

Konstruktion
(L. Drescher*) NP-H13

Kaufmännische GF
Th. Frederiking

Administration
(U. Ewald) A

Personal und Soziales
(U. Ewald) A-PS

Finanz- und Rechnungswesen
(J. Neumann) A-FR

Einkauf und Materialwirtschaft
(D. Höcker) A-EM

Drittmanagement
(Dr. Y. Tomm) A-DM

Facility Management
(Dr. B. Schröder-Smeibidl) FM

Gebäude- und Anlagentechnik
(U. Grabe) FM-T

Zentrale Informationstechnik
(Dr. B. Schröder-Smeibidl) FM-D

Innere Dienste
(S. Hage) FM-I

Chemikalien und Sonderabfälle
(J. Beckmann) FM-C

Zentralstelle für radioaktive Abfälle des Landes Berlin
(J. Beckmann) S-ZRA

Protonentherapie
(Dr. A. Denker) S-PT



* kommissarische Leitung

Lageplan

Am HZB-Standort Wannsee befindet sich der Lise-Meitner-Campus mit der Forschungsneutronenquelle BER II, am HZB-Standort Adlershof der Wilhelm-Conrad-Röntgen-Campus mit dem Elektromagnetspeicherring BESSY II.



Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

IMPRESSUM

HZB-Highlight-Bericht 2011 des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie GmbH. Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.
Redaktionsschluss: Juli 2012

Herausgeber:

Helmholtz-Zentrum Berlin, Hahn-Meitner-Platz 1, 14109 Berlin,
Telefon: (030) 80 62-420 34

Redaktion:

Dr. Ina Helms (verantwortlich), Hannes Schlender (hs)
ina.helms@helmholtz-berlin.de, Anschrift wie Herausgeber

Verlagsbetreuung:

n.k mediaconcept GbR, Obere Lagerstraße 38b,
82178 Puchheim bei München, Telefon: (089) 89 02 20-10
Geschäftsführer: Klaus Dieter Krön, Christoph Neuschäffer

Redaktionsleitung:

Christoph Neuschäffer (cn), Telefon: (089) 20 20 68 66

Mitarbeiter: Ralf Butscher (rb), Dr. Uta Deffke (ud), Christoph Seidler (cs)

Übersetzung: Peter Gregg, Gill Elaine Schneider

Gestaltung und Layout: Klaus Dieter Krön

Bildredaktion: Christoph Neuschäffer

Bildbearbeitung: Lothar Trutter

Andruck: Trumedia GmbH, Tattenbachstraße 19, 86179 Augsburg

Druck:

Druckerei Thiel Gruppe, Graf-von-Zeppelin-Straße 10a,
14974 Ludwigsfelde
Telefon 03378 5 47 10-0, Telefax 03378 5 47 10-25
info@druck-medien.eu, www.druckerei-thiel-gruppe.de

Fotonachweis: Alle Fotorechte beim HZB, außer:

Seite 7: Infografik: Ela Strickert/HZB, Seite 14: Eckert/Heddergott (TUM), Seite 15: M. Kammerer/Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, Seite 46: ESS AB, Seite 48: ABB AG

Kontakt

Lise-Meitner-Campus

Hahn-Meitner-Platz 1
(ehemals Glienicke Str. 100)
14109 Berlin
Tel.: +49 (0)30 8062 - 0
Fax: +49 (0)30 8062 - 42181
wannsee@helmholtz-berlin.de

Wilhelm-Conrad-Röntgen-Campus

Albert-Einstein-Str. 15
12489 Berlin
Tel.: +49 (0)30 8062 - 0
Fax: +49 (0)30 8062 - 12990
adlershof@helmholtz-berlin.de

Institut für Silizium Photovoltaik

Kekuléstr. 5
12489 Berlin
Tel.: +49 (0)30 8062 - 0
Fax: +49 (0)30 8062 - 41333
E-I1-office@helmholtz-berlin.de

PVcomB

Schwarzschildstr. 3
12489 Berlin
Tel.: +49 (0)30 8062 - 0
Fax: +49 (0)30 8062 - 15677
info@helmholtz-berlin.de