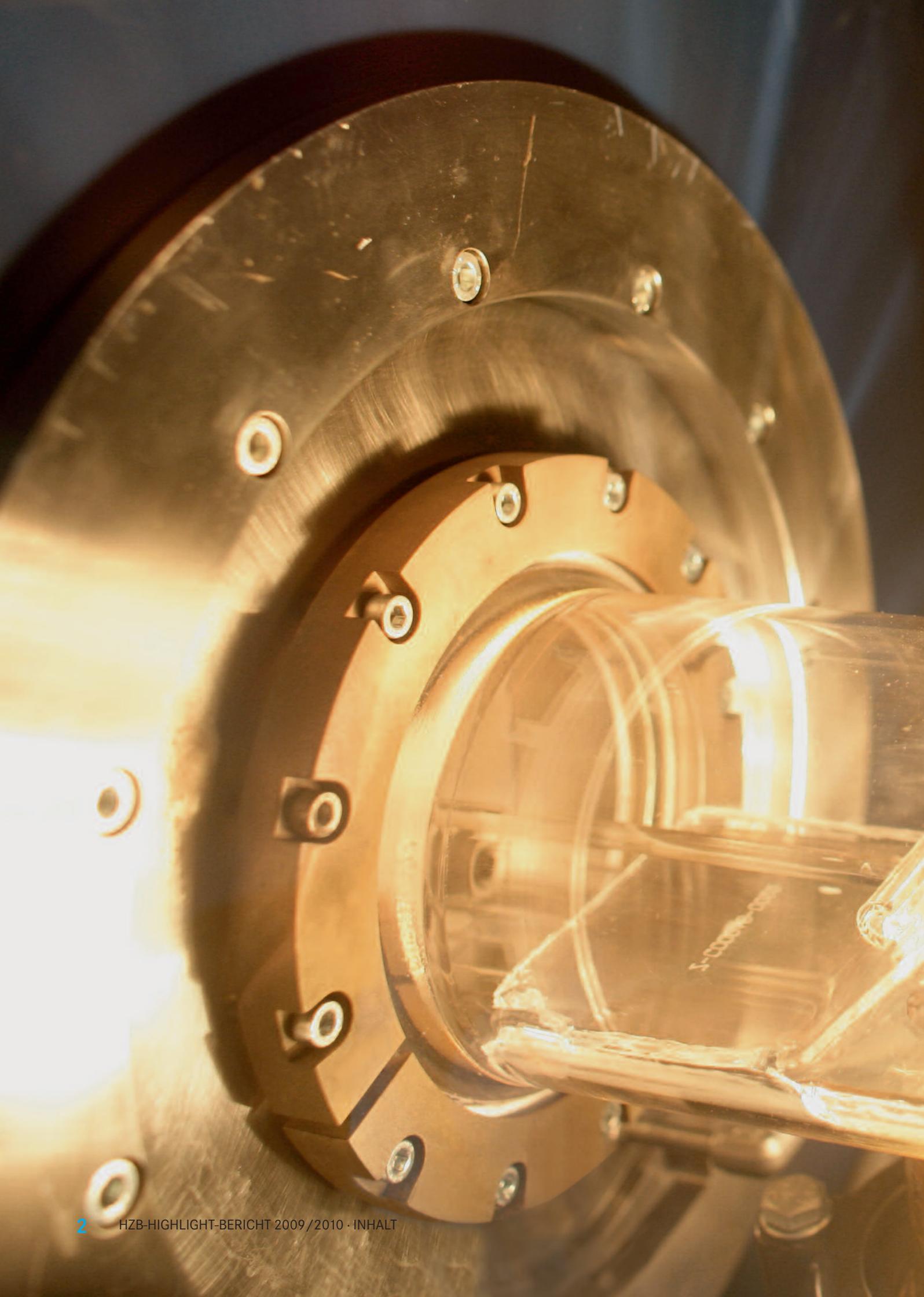


ENERGIE BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN



HIGHLIGHTS 2009/2010

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





INHALT

Vorwort	04	Zahlen und Fakten aus dem HZB	42
Das HZB in Kürze	06	Kooperationen	44
Highlights aus den Nutzerexperimenten	08	Neues Bioreflektometer eingeweiht	45
Arbeiten am Tank der Zukunft	10	Hand in Hand zum Superspeicher	46
Wie man Sterne ins Labor bringt	12	MX-Labor – zwei Beamlines für fünf Partner	48
Maßarbeit im Nanobereich	13	Mit MAXYMUS neue Einsichten gewinnen	49
Ein Duo für die Biowelt	14	Augentumorthherapie mit der Charité Berlin	50
Experimente am Helium-Dimer	16	Gemeinsame Forschergruppen am HZB	51
Solarzellen – Schwindsucht in der Dünnschicht	17	Zukunftsprojekte	52
Dem Rätsel der Qumran-Rollen auf der Spur	18	Vorstoß in neue Tesla-Dimensionen	53
Bewegliche Elektronen in Graphen	20	Grünes Licht für BERLinPro	54
Zelluläre Qualitätskontrolle entschlüsselt	21	Neuer Vorbeschleuniger für BESSY II	56
Supraleiter – Flussschläuche im Visier	22	Umbau des Reaktors BER II	57
Datensicherung per Spinsteuerung	24	PVcomB erfolgreich gestartet	58
Wie molekulare Schalter in SAMs kommen	25	Vermischtes	60
Highlights aus der eigenen Forschung	26	Das „Jahr der Energie“ am HZB	60
Frischer Wind für die Solarzellen-Fertigung	28	Nachwuchsförderung	61
Scharfblick durch die Terahertz-Lupe	30	Auszeichnungen und Berufungen	62
Über Eisentetraeder zur Supraleitung	32	Neu am HZB	64
Magnetische Monopole untersucht	34	Veranstaltungen	65
Daten speichern in Femtosekundenschnelle	36	Anhang	66
Mit der dritten Dimension sieht man besser	37	Organigramm des HZB	66
Der Goldene Schnitt in der Quantenwelt	38	Lageplan, Impressum	67
Mit Tempo 288 durchs LiXEdrom	40		

DIE FUSION TRÄGT ERSTE FRÜCHTE

Vor mehr als zwei Jahren, am 28. Januar 2009, haben wir die Gründung des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie (HZB) im Berliner Tempodrom gefeiert. Das vom Zentrum gewählte Motto „Energie bündeln – Visionen realisieren“ leitet seitdem unser Handeln. Mit grundlegenden Forschungsarbeiten zur Struktur und Dynamik komplexer Materialien sorgen wir dafür, dass es umgesetzt wird. Am HZB erarbeiten wir die materialwissenschaftlichen Grundlagen für ein breites Feld von Anwendungen von der Energieumwandlung über chemische Technologien und Informationstechnologie bis hin zu Fragestellungen aus Kunst- und Kulturwissenschaften.

Dafür betreibt das HZB mit der Neutronenquelle BER II und der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II attraktive Experimentiermöglichkeiten, die externen Nutzern aus dem In- und Ausland und der HZB-eigenen Forschung zur Verfügung stehen. Wir sorgen mit unserem Nutzerdienst dafür, dass unsere externen Nutzer eine umfassende wissenschaftliche Betreuung erhalten. Die neu aufgebaute Nutzerplattform stellt den optimalen Einsatz aller Instrumente und Einrichtungen sicher, was zu exzellenten wissenschaftlichen Ergebnissen geführt hat.

Das HZB ist einer der wenigen Plätze auf der Welt, an denen Neutronen- und Synchrotronstrahlen für komplementäre Untersuchungen in der Material- und Strukturforchung koordiniert angeboten werden. Davon profitiert die HZB-eigene Forschung ebenso sehr wie externe Nutzer. Wichtig ist uns deshalb, dass das enorme Potenzial genutzt wird, das beide Quellen zusammen bieten. Mit beiden Strahlungsquellen gemeinsam und dem Zusammenführen der oft komplementären Informationen können schwierige Fragestellungen insbesondere der Material- und Energieforschung besser beantwortet und neue Wissenschafts-



Die Geschäftsführung des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie (v.l.n.r.): Prof. Dr. Dr.h.c. Wolfgang Eberhardt, Prof. Dr. Anke-Rita Kaysser-Pyzalla(Sprecherin) und Dr. Ulrich Breuer

gebiete erschlossen werden. Wir werden also künftig die externen Nutzer von Synchrotronstrahlung und Neutronenstreuung nicht nur umfassend beraten und wissenschaftlich unterstützen, sondern sie gezielt dazu ermutigen, die Komplementarität beider Sonden in vollem Umfang auszunutzen.

Mit unserer Solarenergieforschung stellen wir uns einer anderen wichtigen Aufgabe: wir legen den Grundstein für die Entwicklung effektiver Dünnschicht-Solarzellen der nächsten und übernächsten Generation. Das reicht von der Grundlagenforschung bis zur Entwicklung von Prototypen für konkrete Anwendungen und Bauelemente. Auch hier sind die Arbeitsmöglichkeiten an der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II sowie an der Neutronenquelle BER II hervorragende Voraussetzungen, den Zusammenhang von Strukturen und Eigenschaften besser zu verstehen. Das „Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik“ (PVcomB), das von HZB, TU Berlin und weiteren Partnern aus dem Bereich Universitäten und

Hochschulen getragen wird, steht für einen zügigen und effizienten Wissens- und Technologietransfer zwischen Forschung und industrieller Anwendung. Seit dem 1. Dezember 2009 wird es im Rahmen des Programms „Spitzenforschung und Innovationen in den neuen Ländern“ gefördert.

Nachdem das HZB im Rahmen der programmorientierten Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft mit seinen Programmvorstellungen für die zweite Förderperiode 2010 bis 2014 in den Programmen Photonen, Neutronen, Ionen (PNI) und Erneuerbare Energien (EE) hervorragend abgeschnitten hatte, hat der Helmholtz-Senat auch die separat zu begutachtenden großen Ausbauprojekte bewilligt. So wurde zunächst der Neubau des Flugzeitspektrometers NEAT freigegeben, zum Jahresende 2010 hat der Helmholtz-Senat entschieden, auch das Projekt BERLinPro in Angriff zu nehmen. Bei dem Projekt handelt es sich um eine Machbarkeitsstudie für eine neue, innovative Beschleunigertechnologie, die am Standort Adlershof entwickelt wird. Der Aufbau dieses Beschleunigers bietet hervorragende Möglichkeiten, um das am HZB vorhandene Know-how in der Beschleunigertechnologie in Zusammenarbeit mit universitären Partnern, insbesondere der HU Berlin, weiter auszubauen.

Die reale Umsetzung der 2009 erklärten Fusion des ehemaligen Hahn-Meitner-Instituts mit BESSY bestimmte natürlich in vieler Hinsicht die Arbeit am HZB in den vergangenen beiden Jahren. Es war eine große Herausforderung,

neue Strukturen zu etablieren, sie mit Leben zu füllen, den Betrieb der Großgeräte zu gewährleisten, die Forschung voranzutreiben und gleichzeitig mit FU Berlin, HU Berlin, TU Berlin, der Universität Potsdam sowie weiteren deutschen Universitäten mehrere Berufungsverfahren mit der Gewinnung hervorragender Wissenschaftler erfolgreich abzuschließen.

Durch die Fusion ist das HZB gut für die Zukunft gerüstet. Wir haben wichtige Grundlagen geschaffen, um unsere ehrgeizigen Ziele zu erreichen. Uns ist bewusst, dass wir dafür auch ein besonderes Augenmerk auf die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses richten müssen. Gleichzeitig wollen wir uns noch stärker in das wissenschaftliche Umfeld insbesondere in Berlin und Brandenburg integrieren. Die gemeinsamen Forschergruppen, die wir zusammen mit den Universitäten ins Leben gerufen haben, sind dafür ein deutliches Signal ebenso wie die gemeinsamen Professuren.

Die letzten beiden Jahre waren für alle Mitarbeiter des Hauses stark bestimmt vom Übergang zu den Strukturen und Abläufen des neuen Zentrums und den damit verbundenen Schwierigkeiten und Belastungen. Die Geschäftsführung ist sehr dankbar, dass die wissenschaftliche Leistung dennoch auf dem hervorragenden Niveau gehalten werden konnte und auch in dieser Zeit des Übergangs eine ganze Reihe von viel beachteten Ergebnissen erzielt werden konnten. Davon mögen Sie sich in dem vorliegenden HZB-Highlight-Bericht 2009/2010 überzeugen.



Prof. Dr. A. Kaysser-Pyzalla



Prof. Dr. Dr.h.c. W. Eberhardt



Dr. U. Breuer

DAS HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN AUF EINEN BLICK

Seit der Gründung des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie (HZB) im Januar 2009 werden hier **Neutronen** sowie **Synchrotronstrahlung** koordiniert aus einer Hand angeboten. Zentrale Forschungsthemen des HZB sind Magnetismus, funktionale Materialien und Materialien für die Forschung an Solarzellen und solaren Brennstoffen.

Das Helmholtz-Zentrum Berlin ist eines von nunmehr 17 Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft, der größten Wissenschaftsorganisation Deutschlands. Rund 1100 Mitarbeiter – davon etwa 800 in Berlin-Wannsee und 300 in Berlin-Adlershof – betreiben mit zwei wissenschaftlichen Großgeräten physikalische Grundlagenforschung. Dabei arbeitet das HZB eng mit den Universitäten und Fachhochschulen in der Region Berlin-Brandenburg zusammen. So werden sämtliche Institute am HZB von gemeinsam mit Universitäten berufenen Professorinnen oder Professoren geleitet. Neben diesen Instituten gibt es in jedem Forschungsbereich Abteilungen und/oder Nachwuchsgruppen. Außerdem wurden gemeinsame Forschergruppen aufgebaut, die von Universitätsangehörigen geführt werden. Zudem kooperiert das HZB überregional mit rund 400 Partnern in deutschen und internationalen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Das betrifft auch den Bereich der Solarenergieforschung, in dem das HZB seit über 20 Jahren Spitzenforschung betreibt.

Großgeräte für die Forschung

Für Forschungsarbeiten zur Struktur und Funktion der Materie betreibt das HZB zwei wissenschaftliche Großgeräte: die Neutronenquelle BER II für Experimente mit Neutronen und den Elektronenspeicherring BESSY II, der hochbrillante Synchrotronstrahlung vom Terahertz- bis in den Röntgenbereich erzeugt. Beide Anlagen dienen der Erforschung der Materie und verfügen über hoch speziali-

sierte Probenumgebungen. Das heißt, hier lassen sich Experimente unter anspruchsvollsten Bedingungen durchführen – unter Einwirkung starker Magnetfelder, bei tiefen Temperaturen sowie extrem hohen Drücken. Die Weiterentwicklung dieser einzigartigen Instrumente gehört zu den wesentlichen Aufgaben des Zentrums. Mit seinem Nutzerservice ermöglicht das HZB jährlich rund 2000 externen Wissenschaftlern aus aller Welt den Zugang zu den zum Teil einzigartigen Messmethoden. Erklärtes Ziel ist es, die komplementäre Nutzung von Neutronen und Photonen zu fördern, denn mit beiden gemeinsam erhält man ein sehr detailliertes Bild der Materie.

Neben den beiden Großgeräten betreibt das HZB zwei weitere Anlagen für externe Institutionen: Für die Charité Berlin wird am Standort Wannsee ein Beschleuniger vorgehalten, mit dem Protonenstrahlen für die seit Jahren mit Erfolg durchgeführte Augentumorthherapie erzeugt werden. Die Protonentherapie von Tumoren im menschlichen Auge wurde am HZB entwickelt und wird mittlerweile in Verantwortung und auf Kosten der Charité Berlin durchgeführt. Im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) unterhält das HZB am Standort Adlershof die Metrology Light Source (MLS), einen optimierten Speicherring, den die PTB als Synchrotronstrahlungsquelle für Metrologie und entsprechende Anwendungen für Forschung und Industrie nutzt. Als weiteren externen Auftrag hat das HZB für das Land Berlin die Aufgabe einer Landessammelstelle zur Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle übernommen.



Wilhelm-Conrad-Röntgen Campus in Berlin-Adlershof: Blick auf die Außenfassade der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II.

Materialien für Morgen

Wie hängen die technischen Eigenschaften eines Materials und seine mikroskopische Struktur zusammen? Die Material- und Strukturfor­schung voranzutreiben, ist die zentrale Aufgabe der Wissenschaftler am HZB. In ihren Forschungsprojekten beschäftigen sie sich mit atomaren und magnetischen Strukturen fester Körper und deren Funktionsweisen auf atomarer Skala. Struktur-Eigen­schaftsbeziehungen von Materialien stehen dabei im Blickpunkt, ebenso die innere Dynamik und Phasenumwandlungen in kondensierter Materie. Themenfelder sind vor allem diejenigen Gebiete, die die Methoden- und Instrumenten-Entwicklung voranbringen, zum Beispiel Themen aus der Materialforschung und Analytik. Die komplementäre Nutzung von Photonen und Neutronen für Forschungszwecke ist außer am HZB an nur wenigen anderen Wissenschaftsstandorten auf der Welt möglich. Herausragende Forschungsergebnisse werden am HZB unter anderem in den Forschungsfeldern Magnetismus und Supraleitung erarbeitet.

Forschung für neue Solarzellen

Der Bereich Solarenergie in allen seinen Facetten ist ein weiterer Forschungsschwerpunkt am HZB. Hier erforschen Wissenschaftler die Solarzellen der nächsten und über­nächsten Generation – mit neuen Materialklassen und innovativem Zellaufbau. Langfristige Ziele sind effiziente und wettbewerbsfähige Dünnschicht-Solarzellen und Multispektralzellen. Auf dem Gebiet der Dünnschicht-Solarzellen ist das HZB die größte institutionelle Einheit in Deutschland, wobei nicht nur neue Materialien entwickelt, sondern Hand in Hand auch innovative Technologien zur Herstellung der Solarzellen erprobt werden. Dünnschicht-Technologien werden vor allem am Kompetenzzentrum Photovoltaik (PVcomB), das vom HZB mitbegründet wurde, bis zu einer Stufe entwickelt, an die die Industrieforschung anknüpfen kann. Photovoltaik und Großgeräte in einem Zentrum – in dieser einzigartigen Konstellation können viele Fragestellungen aus der Solarforschung mit neuen Möglichkeiten untersucht werden, zum Beispiel Vorgänge an den Grenzflächen oder Bewegungsvorgänge von Ladungsträgern. Mit diesen neuen Forschungsansätzen wird das HZB in Zukunft nicht nur die eigene Solarforschung weiter voranbringen, sondern auch neue Nutzer aus dem Bereich Photovoltaik gewinnen.



Lise-Meitner-Campus in Berlin-Wannsee: Die Außenfassade des neuen Technikums für den Hochfeldmagneten.

Die Institute, Arbeits- und Nachwuchsgruppen am Helmholtz-Zentrum Berlin

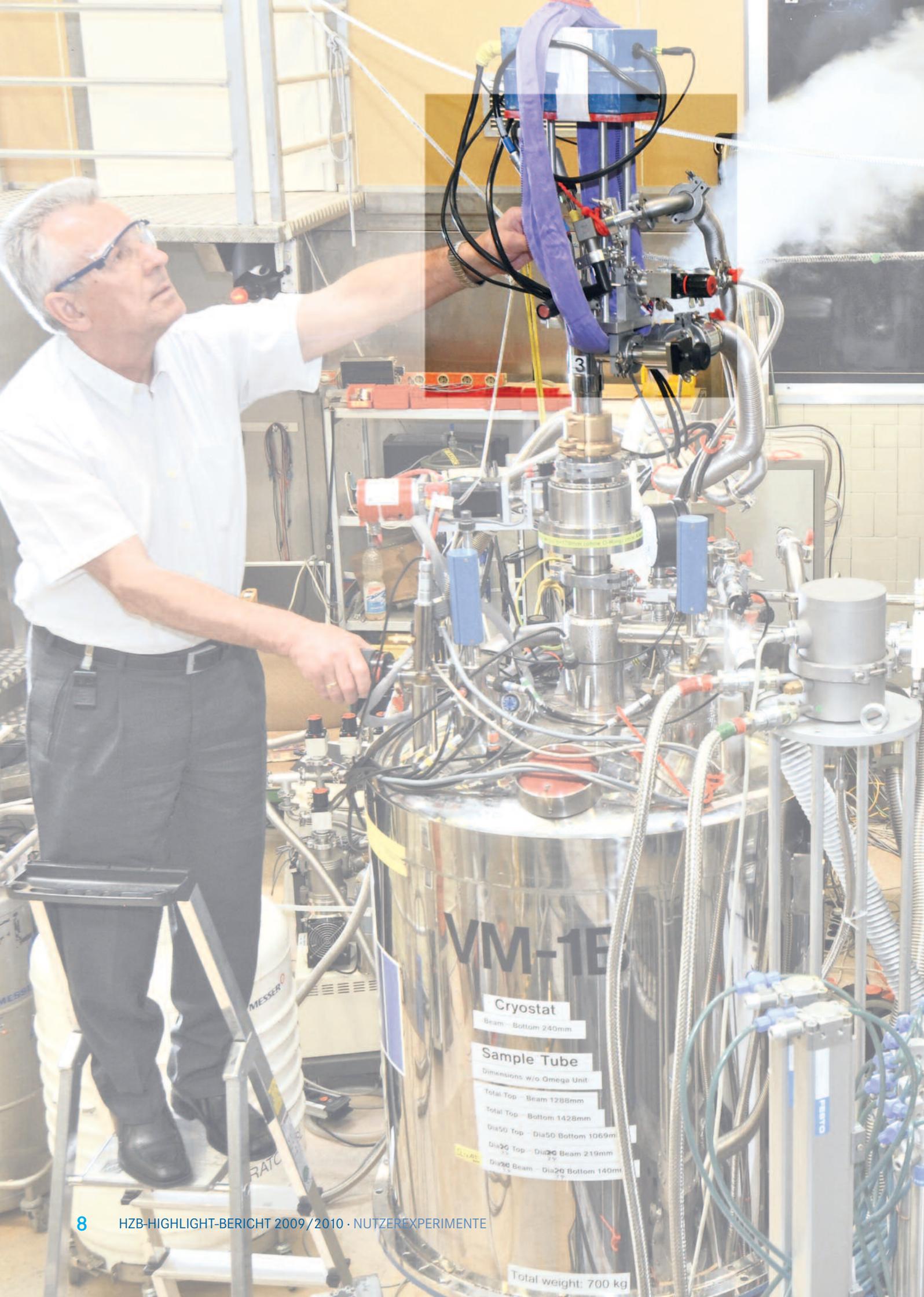
Institut	Leiter
Silizium Photovoltaik (E-11)	Prof. Dr. B. Rech
Heterogene Materialsysteme (E-12)	Prof. Dr. M. Lux-Steiner
Technologie (E-13)	Prof. Dr. H.W. Schock
Ladungsträgerdynamik (E-14)	Prof. Dr. C. Pettenkofer*
Materialien für Photovoltaik (E-15)	Dr. R. Eichberger*
Solare Brennstoffe und Energiespeicher­materialien (E-16)	Dr. S. Fiechter*
Methoden und Instrumente der Neutronen­streuung (G-11)	Dr. K. Habicht
Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung (G-12)	Prof. Dr. A. Föhlisch
Beschleunigerphysik (G-13)	Prof. Dr. A. Jankowiak
SRF - Wissenschaft und Technologie (G-14)	Prof. Dr. J. Knobloch
Nanometeroptik und Technologie (G-15)	Prof. Dr. A. Erko*
Komplexe Magnetische Materialien (M-11)	Prof. Dr. A. Tennant
Angewandte Materialforschung (F-11)	Prof. Dr. J. Banhart
Weiche Materie und Funktionale Materialien (F-12)	Prof. Dr. M. Ballauff

Arbeitsgruppe	Leiter
Undulatoren (G-A3)	Dr. J. Bahrtdt
Magnetisierungsdynamik (M-A1)	Prof. Dr. A. Tennant*

Nachwuchsgruppe	Leiter
Grenzflächendesign (E-N1)	Dr. M. Bär
ERL-Design Simulationen (G-N1)	Dr. A. Matveenko
Magnetismus und Supraleitung (M-N1)	Prof. Dr. B. Lake
Funktionale Materialien in Flüssigkeiten (F-N1)	Dr. E. F. Aziz Bekhit

* kommissarische Leitung

Anmerkung: Eine Übersicht über die gemeinsamen Forschergruppen finden Sie auf Seite 51, eine Übersicht über die Nutzerplattform im Organigramm auf Seite 66.



VM-1E

Cryostat

Beam - Bottom 240mm

Sample Tube

Dimensions w/o Omega Unit

Total Top - Beam 1288mm

Total Top - Bottom 1428mm

Dia50 Top - Dia50 Bottom 1069mm

Dia20 Top - Dia20 Beam 219mm

Dia20 Beam - Dia20 Bottom 140mm

Total weight: 700 kg

HIGHLIGHTS AUS DEN NUTZEREXPERIMENTEN

Am Forschungsreaktor BER II in Berlin-Wannsee und am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof finden die Forschenden zum Teil einzigartige Experimentiermöglichkeiten.

Die Mitarbeiter des Helmholtz-Zentrums Berlin, die die Instrumente und Beamlines betreuen, tun alles, um die Messplätze immer an die Bedürfnisse der aktuellen Fragestellungen anzupassen. Die erstklassige Nutzerbetreuung ist ein zentrales Anliegen am HZB. Für Wissenschaftler aus aller Welt ist Berlin deshalb eine Top-Adresse, um Experimente zu den unterschiedlichsten Fragestellungen durchzuführen.

An der BESSY-Beamline „ μ Spot“ wurden zum Beispiel neuartige Mess-Methoden entwickelt und direkt an Syntheseprozesse gekoppelt. Damit ist es möglich, den Wachstumsmechanismen von Nanopartikeln auf die Spur zu kommen und diese sogar zu steuern.

Schwarze Löcher gehören mit Sicherheit zu den faszinierendsten Phänomenen im Weltall. Forscher des Heidel-

berger Max-Planck-Instituts für Kernphysik haben bei Experimenten mit hoch ionisiertem Eisen versucht, die Bedingungen am Rande Schwarzer Löcher realistisch nachzustellen. Eine besondere Faszination geht auch von den Schriftrollen aus, die 1947 in der Nähe von Qumran am Toten Meer gefunden wurden. Eine israelische Wissenschaftlerin arbeitet seit Jahren mit anderen Forschern am HZB daran, das Geheimnis der Entstehungsgeschichte der Rollen durch Röntgenfluoreszenzanalyse, Infrarotspektroskopie und Mikroskopie zu entschlüsseln und die vielen tausend Fragmente einander zuzuordnen. Polnischen Molekularbiologen ist es gelungen, erstmals einen Molekülkomplex dreidimensional darzustellen, der eine wichtige Rolle bei der Zellteilung spielt. Das könnte langfristig den Weg für die Entwicklung neuer Therapien gegen Erbkrankheiten ebnen.

Dies sind nur einige Beispiele von zahlreichen Nutzerexperimenten am HZB, die wir auf den folgenden Seiten näher vorstellen.

ARBEITEN AM TANK DER ZUKUNFT

Der Wissenschaftler **Dr. Arndt Remhof** forscht am HZB nach neuen Feststoffen zur Speicherung von Wasserstoff. Damit soll die aufwändige Verflüssigung des Gases für mobile Lösungen ersetzt werden.

Wasserstoff wird in Zukunft eine große Rolle als Energieträger spielen“, ist Arndt Remhof überzeugt. Der weltweite Energiebedarf steigt, fossile Energieträger sind endlich, erneuerbare Energien auf dem Vormarsch – aber nicht allzeit verfügbar. Da kann Wasserstoff als Energieträger zur Speicherung dienen. Mithilfe regenerativer Energie aus Wasser erzeugt, wäre er sowohl geeignet, durch Verbrennung Wärme zu liefern, als auch – per Brennstoffzelle – Strom, zum Beispiel für Elektroautos. „Besonders attraktiv ist Wasserstoff aufgrund seines hohen Energiegehalts. Pro Kilogramm enthält er dreimal soviel Energie wie Benzin“, erläutert Remhof. Der deutsche Physiker untersucht an der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt EMPA in Dübendorf bei Zürich die Speicherung von Wasserstoff. Wasserstoff ist ein Gas und besitzt daher ein großes Volumen – eine besondere Herausforderung bei der Speicherung, insbesondere für mobile Anwendungen. Um große Mengen in kleinen Tanks unterzubringen, kann man Wasserstoff entweder unter Druck komprimieren, bei sehr tiefen Temperaturen verflüssigen, oder in chemische Verbindungen zum Beispiel

in feste Stoffe einbauen. „Letzteres ermöglicht eine besonders kompakte Speicherung“, sagt Remhof. Auf der Suche nach einem geeigneten Speicherfeststoff erweisen sich sogenannte Leichtmetallhydride als besonders vielversprechende Materialien, zum Beispiel Lithium-Bor-Hydrid (LiBH_4), eine Verbindung aus Lithium, Bor und Wasserstoff. Verglichen mit anderen Materialien hat sie eine sehr hohe Speicherkapazität für Wasserstoff. Und sie ist sehr leicht, denn sie besteht aus drei der vier leichtesten Elemente des Periodensystems. Das ist für mobile Anwendungen, zum Beispiel in Autos, sehr wichtig. Die Forscher um Remhof arbeiten an Verfahren, diese Substanz möglichst einfach herzustellen. Sie wollen verstehen, welche chemischen Reaktionen dafür erforderlich sind, welche Bindungen die Elemente eingehen und wie sie den Einbau des Wasserstoffs optimieren können. Darüber hinaus interessieren sie sich für die chemischen Prozesse während der Abgabe des Wasserstoffs. Das muss bei einem praxistauglichen Speicher schnell und möglichst vollständig passieren und nahezu beliebig oft wiederholbar sein. Allerdings darf man sich einen solchen Festkörperspeicher nicht so einfach vorstellen wie einen Schwamm, aus dem unter mechanischem Druck die Flüssigkeit herausgepresst werden kann. Beim Festkörperspeicher laufen komplexe chemische Prozesse ab, die den Wasserstoff binden und wieder frei geben.

Lithium-Bor-Hydrid unter Neutronenbeschuss

„Um all das zu untersuchen, eignen sich die Neutronenstrahlen am Forschungsreaktor BER II in hervorragender Weise“, sagt Remhof. Neutronen sind besonders sensibel für die Untersuchung von leichten Elementen und können Materialien gut durchdringen, zum Beispiel die Wände des Spezialofens, in dem die Forscher das Lithium-Bor-Hydrid unter Temperatur- und Druckerhöhung herstellen. Der Neutronenstrahl tritt dann mit den Atomen des Speichermaterials in Wechselwirkung, tritt wieder aus und wird mit einem Detektor analysiert. Mithilfe der sogenannten Neutronenbeugung können die Forscher Schlüsse über den chemischen Aufbau des Materials ziehen. So lässt sich



Wasserstoff könnte – eine Erzeugung aus regenerativen Energiequellen wie Wind- oder Solarenergie vorausgesetzt – der Energieträger der Zukunft für mobile Lösungen werden.



Tanken wir in Zukunft Wasserstoff? Wissenschaftler wie Arndt Remhof arbeiten an Lösungen, wie Wasserstoff besser gespeichert und für eine umweltfreundlichere Mobilität genutzt werden kann.

beispielsweise nachweisen, wann sich tatsächlich Lithium-Bor-Hydrid gebildet hat oder ob es Zwischenprodukte wie LiB gibt.

Der einfachste Ansatz zur Herstellung von LiBH_4 ist die direkte Synthese aus den einzelnen Elementen. Lithium und Bor werden als Feststoff bereitgestellt, Wasserstoff als Gas in den Ofen eingeleitet. Für diese Methode werden allerdings hohe Temperaturen von 700 Grad Celsius und Wasserstoffdrücke von 150 bar benötigt. Deshalb entwickelten Remhof und seine Kollegen einen alternativen Ansatz, den sie an BER II überprüfen konnten: Aus einer anderen chemischen Reaktion stellten sie zunächst eine Verbindung von Bor und Wasserstoff bereit, zum Beispiel B_2H_6 , bestehend aus zwei Bor- und sechs Wasserstoffatomen. Das wurde dann mit der Lithium-Wasserstoff-Verbindung LiH zur Reaktion gebracht. Auf diese Weise formierte sich LiBH_4 bereits bei einer Temperatur von 100 Grad Celsius und einem Druck von 20 bar.

Allerdings wandelten sich zunächst nur 50 Prozent der eingesetzten Ausgangsmaterialien auch tatsächlich in das gewünschte Endprodukt um. Den Grund hierfür entdeckten die Forscher mithilfe der Elektronenmikroskopie. Der Feststoff bestand aus Körnern mit einem Durchmesser von zehn Mikrometern. Im Querschnitt zeigte sich, dass nur an der Oberfläche der Körner tatsächlich LiBH_4 entstanden war. Es wirkte dort quasi als Schutzschicht und verhinderte das weitere Eindringen von B_2H_6 in den LiH-Kern der Partikel und damit deren vollständige Reaktion. Mittlerweile konnten die Forscher die Ausbeute erheblich steigern, indem sie das Material während der Reaktion mithilfe von Kugeln zu feinerem Pulver zermahlen. Das bricht die Oberfläche immer wieder auf und gibt den Kern zur weiteren Reaktion frei.

Um den Weg des Wasserstoffs im Material zu verfolgen, nutzten die Forscher eine alternative Messmethode, die sogenannte Neutronenspektroskopie. Das Ergebnis: Der Wasserstoff bewegt sich nicht in Form einzelner Atome oder H_2 -Moleküle, sondern wiederum gebunden an Bor, als negativ geladenes $[\text{BH}_4]^-$ -Ion. Erst an der Oberfläche der Körner werden drei der vier Wasserstoffatome freigesetzt.

„Vergleicht man dabei die Rate der Wasserstoffabgabe mit der Beweglichkeit des $[\text{BH}_4]^-$ -Ions, kommt man zu dem Schluss, dass der limitierende Faktor die an der Oberfläche stattfindende Ablösung der Wasserstoffatome vom Bor ist“, resümiert Remhof. Wie das genau abläuft und wie es sich beschleunigen ließe, müssen die Forscher noch untersuchen.



Dieses Versuchsmodell wurde bereits 2005 im Rahmen der „Langen Nacht der Wissenschaften“ am HZB ausgestellt.

Tank austauschen statt Tanken

Weil der Prozess der Wasserstoffaufnahme technisch komplexer ist als der der Abgabe, stellt sich Remhof die automobilen Praxis mit Wasserstofftanks auf Basis solcher Festkörper einmal so vor: Es gibt leicht austauschbare Tanks, die – wenn sie leer sind – nicht im klassischen Sinne aufgetankt, sondern gegen volle ausgetauscht werden. Die leeren müssen in einer externen Anlage aufgearbeitet und mit Wasserstoff gefüllt werden. Eine solche Praxis allerdings, so betont der Physiker, erfordert noch wesentliche Entwicklungsschritte. „Unsere Untersuchungen sind noch sehr grundlegend und befassen sich mit fundamentalen Fragen, deren Klärung Voraussetzung für eine Markteinführung sind.“ Zum Beispiel, ob es einen Katalysator gibt, mit dem sich das Binden und das Lösen des Wasserstoffs noch beschleunigen lassen.

ud

WIE MAN STERNE INS LABOR BRINGT

Ein Forscherteam um **Dr. José Crespo Lopez-Urrutia** vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg hat erstmals Plasma, wie es um Schwarze Löcher im Weltall entsteht, im Labor erzeugt.

Schwarze Löcher sind gefräßig. Sie saugen alle Materie ein, die ihrem so genannten Ereignishorizont zu nahe kommt. Auch das Licht, das die Materie aussendet, bleibt im Schwarzen Loch gefangen. Über die Prozesse im Inneren Schwarzer Löcher dringt daher keine Information nach außen. Astronomen sind aber auf sichtbares Licht und sonstige elektromagnetische Strahlung angewiesen, um etwas über die Materie im Weltraum, über Schwarze Löcher und ferne Galaxien, deren Zusammensetzung, ihre Bewegung und Geschwindigkeit lernen zu können. Und zwar aus der Intensität der Lichtwellenlängen und ihrer Verschiebung gegeneinander. Deshalb interessieren sie sich besonders für das Licht, das von Materie ausgesendet wird, bevor sie vom Ereignishorizont verschluckt wird.

Die Materie bewegt sich auf einer Spiralbahn auf das Schwarze Loch zu. Dabei wird sie immer weiter verdichtet. Es kommt zu Stößen, Atome verlieren Elektronen, sie werden also ionisiert, und die Temperatur steigt in den Bereich von Millionen Grad. Dieser Materiezustand heißt Plasma. Kurz bevor sie den Ereignishorizont überschreitet, sendet die Materie ein letztes Mal Licht aus, und zwar Röntgenlicht. Es ist ebenfalls in der Lage, Materie zu ionisieren, und zwar solche, die noch in einiger Entfernung vom Schwarzen Loch kreist und daher seine Elektronen noch nicht durch Stöße verliert. Diese Röntgenstrahlung erzeugt ein verhältnismäßig „kaltes“ Plasma.

Dopplereffekt im Weltall

Dr. José Crespo und seinem Team ist es erstmals gelungen, ein solches kaltes Plasma im Labor zu erzeugen. Dazu haben sie eine spezielle Ionenfalle konstruiert, in der Eisenatome durch Beschuss mit einem Elektronenstrahl einen Faden aus Ionen bilden. Mit vier Tonnen Ausrüstung kamen die Forscher an die Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II, um die weitere Ionisierung des Plasmas durch Röntgenstrahlung zu untersuchen. Dazu überlagerten sie den dünnen Plasmastrahl in Längsrichtung mit dem sehr dünnen Röntgenstrahl. Sie variierten die Wellenlänge des Röntgenlichtes und beobachteten dabei die Effizienz der Ionisation. So fanden sie heraus, welche Röntgenwellenlängen zu den im Weltraum beobachteten Effekten führen. „Wir profitieren bei unseren Experimenten



Schwarze Löcher – ehe Materie darin verschwindet, sendet sie Licht aus.

von dem sehr feinen Röntgenstrahl, den BESSY II liefern kann, und von dem sehr breiten Spektrum an Wellenlängen, die sich sehr exakt einstellen lassen“, sagt Crespo. Den Forschern gelang es damit, die Eigenschaften des Plasmas im Ruhezustand zu bestimmen. Auf ihrer Spiralbahn im Weltraum dagegen rast die Materie mit großer Geschwindigkeit. Dadurch wird die ausgesandte Lichtwellenlänge überlagert und verzerrt. Diesen sogenannten Dopplereffekt kennt man von einem vorbei rasenden Krankenwagen mit Martinshorn, dessen Heulen beim Näherkommen höher und beim Wegfahren tiefer klingt als der eigentliche Ton. Erst wenn die Wellenlänge im Ruhezustand bekannt ist, kann man aus der gemessenen Verschiebung die Geschwindigkeit des Fahrzeugs bestimmen – oder die der Licht aussendenden Materie. „Es gab zwar bereits eine Reihe von Berechnungen zu dieser Problematik, doch erst unsere Referenzmessungen sind zuverlässig und genau genug, um den Astronomen die sichere Interpretation ihrer Daten aus dem All zu ermöglichen“, betont Crespo. Seine Untersuchungen am Plasma sind aber nicht nur für Astronomen interessant. Auch in Fusionsreaktoren spielt das genaue Verständnis von Plasmen eine entscheidende Rolle. ud

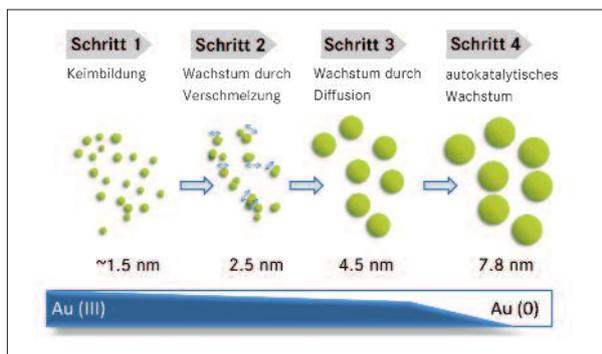
Phys. Rev. Lett. 105, 183001 (2010): Resonant and Near-Threshold Photoionization Cross Sections of Fe¹⁴⁺, J. R. Crespo López-Urrutia et al.

MASSARBEIT IM NANOBEREICH

Ein Team von Wissenschaftlern um den Doktoranden **Jörg Polte**, **Dr. Franziska Emmerling** und **Dr. Ralph Krähnert** konnte am HZB erstmals das Wachstum von Nanopartikeln gezielt steuern.

Nanopartikel bestehen aus wenigen bis einigen Tausend Atomen oder Molekülen. Sie gehören wegen ihrer einzigartigen Eigenschaften zu den am intensivsten untersuchten Materialien im Bereich der Nanotechnologie. Allerdings: Wie sie wachsen liegt noch weitgehend im Dunkeln – obwohl entsprechende Synthesen seit über 150 Jahren bekannt sind. Die Erforschung solcher fundamentaler Fragen war die Motivation des Physikers Jörg Polte für seine Doktorarbeit in der Arbeitsgruppe Röntgenstrukturanalytik von Dr. Franziska Emmerling an der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) in Berlin. Zusammen mit dem Team von Dr. Ralph Krähnert, Nachwuchsgruppenleiter an der TU Berlin, wurden diese Untersuchungen in den letzten drei Jahren verfolgt. Für Krähnert ist vor allem die Anwendung der Edelmetall-Nanoteilchen in der Katalyse von Interesse. Dort kann ihre Größe die Adsorption von Reaktionspartnern am Katalysator und somit das gesamte katalytische Verhalten beeinflussen.

Die Wachstumsprozesse der Nanopartikel sind wenig verstanden, weil keine verlässlichen experimentellen Daten vorliegen. „Nur wenn man die Mechanismen der Entstehung von Nanopartikeln versteht, kann man ihre Größe kontrollieren – und dadurch gezielt Teilchen herstellen, die sich optimal für bestimmte Anwendungen eignen“, sagt Ralph Krähnert. Die Berliner Wissenschaftler entwickelten daher experimentelle Methoden, mit denen sich die Prozesse bei der Synthese von Nanopartikeln zeitaufgelöst und „live“ beobachten lassen.



Am HZB wurde der vierstufige Prozess des Nanopartikelwachstums analysiert.

Dazu nutzten sie auch etablierte Messverfahren am HZB, die sie erstmals miteinander kombinierten. Beispielhaft dafür ist die Kopplung von Small Angle X-Ray Scattering (SAXS) und X-Ray Absorption Near Edge Structure (XANES) an BESSY II. Während sich mit SAXS Größenwachstum und Konzentration der Partikel verfolgen lassen, kann mit XANES gleichzeitig die Kinetik der zugrunde liegenden chemischen Reduktion eines Metallsalzes untersucht werden. „Hierbei konnte ich auf zahlreiche methodische Vorarbeiten der Arbeitsgruppe um Franziska Emmerling zurückgreifen“, sagt Jörg Polte.

Atomlagengenaue Steuerung

Den Forschern von BAM und TU Berlin gelang es, den Mechanismus einer der bekanntesten Goldnanopartikel-Synthesen herauszuarbeiten: der Turkevich-Methode. Dabei wird bei Temperaturen über 60 Grad Celsius in wässriger Lösung eine goldhaltige Verbindung mit Natriumcitrat reduziert. Die Forscher enthüllten ein Wachstum in vier Teilschritten: Zu Beginn der Reaktion wird nur ein geringer Teil der Goldverbindung reduziert und bildet weniger als ein Nanometer kleine Goldcluster. Diese verschmelzen danach zu Partikeln mit drei bis vier Nanometer Radius. Dieser Schritt legt bereits die endgültige Partikelzahl und Größenverteilung fest. Die folgende Phase kennzeichnet ein langsames Wachsen der Teilchen, dessen Tempo durch die Reduktion der Goldverbindung begrenzt wird. Erst am Schluss der Synthese beschleunigt sich der Prozess und die Partikel erlangen durch vollständige Umsetzung der Goldverbindung ihr endgültiges Format.

In Folgeexperimenten am HZB wurde die experimentelle Umsetzung optimiert – durch SAXS-Messungen an einem freien Flüssigkeitsstrahl. Die Daten bestätigten den Mechanismus und zeigten, dass die vier Wachstumsschritte mit vier Phasen der chemischen Reduktion korrelieren. „Mit den neuen Erkenntnissen können wir das Wachstum von Nanoteilchen nun fast atomlagengenau steuern“, freut sich Franziska Emmerling – ein großer Schritt hin zu einer „Maßanfertigung“ von Partikeln mit gewünschten Eigenschaften. *rb*

J. Am. Chem. Soc., 132 (4), 1296–1301 (2010): Mechanism of Gold Nanoparticle Formation..., J. Polte, F. Emmerling, R. Krähnert et al.

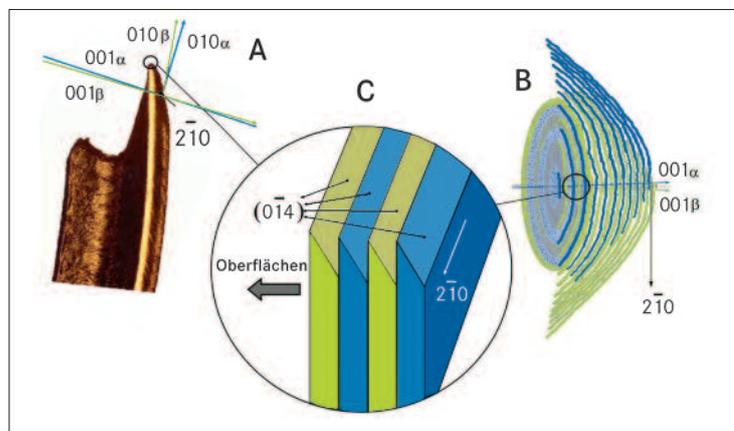
EIN DUO FÜR DIE BIOWELT

Prof. Oskar Paris und **Dr. Maxim Erko** verwenden die Strahlungsquellen des HZB, um mehr über Phänomene aus der Natur zu erfahren. Etwa warum Seeigelzähne scharf bleiben und wo das Dichteminimum von gefrorenem Wasser liegt.

Paracentrotus lividus ist ein faszinierendes Geschöpf. Der Seeigel ernährt sich von Plankton, das er von Steinen abschabt. Eigentlich müssten seine Zähne dabei stumpf werden, denn hier bearbeitet ein Material dasselbe: Sowohl der Stein als auch die Zähne bestehen aus mineralischem Calcit. Doch das Gegenteil passiert, die Zähne schärfen sich selbst. Wie sie das machen und wie das möglicherweise auf technische Produkte wie Bohrer oder Meißel übertragen werden kann, wollten Forscher um Oskar Paris herausfinden. Paris, heute Professor am Institut für Physik der Montanuniversität Leoben in Österreich, war damals noch an der von Peter Fratzl geleiteten Abteilung Biomaterialien am Max-Planck Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam/Golm tätig und arbeitete an dieser Fragestellung eng mit Kollegen vom israelischen Weizmann Institut zusammen.

Wie Seeigelzähne scharf bleiben

Zur Untersuchung solch biologischer Strukturen auf der Nanometerskala hatten die Forscher des MPI in Golm, des Helmholtz-Zentrums Berlin und der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) für den Betrieb am Elektronen-



Erst unter dem hochauflösenden Röntgenstrahl von BESSY II gibt der Seeigelzahn (A) sein Geheimnis preis: Er besteht aus gegeneinander versetzten Kristallschichten (C), die sich an der Spitze (B) überlappen. Dadurch bleibt sie trotz des Abriebs immer scharf.

speicherring BESSY II ein Mikrofokus-Strahlrohr entwickelt, das einen besonders feinen Röntgenstrahl liefert. Hiermit können kristalline Strukturen vermessen und die chemische Zusammensetzung der untersuchten Bereiche analysiert werden. „Der feine Röntgenstrahl ermöglicht es, auch ein differenziertes Bild von nur einigen Mikrometer großen Kristalliten zu bekommen. Das ist besonders hilfreich, um

hierarchische Strukturen in Materialien aufzuklären, die in der Biologie eine wichtige Rolle spielen“, meint Paris.

Hierarchische Materialien zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf unterschiedlichen Größenskalen strukturiert sind, zum Beispiel auf der Mikrometer- und auf der Nanometerskala. Dadurch wird es möglich, dass diese Materialien sehr verschiedene, oft widersprüchliche Eigenschaften in sich vereinen. So müssen die Zähne des Seeigels gleichzeitig sehr hart sein,

BESSERE ERGEBNISSE MIT BEIDEN STRAHLUNGSQUELLEN

Die Neutronenstreuung erweist sich als eine ideale Ergänzung zur Mikrostrukturanalyse via Röntgenstrahlung, vor allem wenn es um biologische oder natürliche Materialien geht. Während die Röntgenstrahlung sowohl örtlich als auch zeitlich sehr hoch aufgelöste Informationen über die Struktur von Materialien liefern kann, bieten Neutronen den Vorteil, besonders sensitiv für leichte Elemente wie Wasserstoff zu sein, die oft in der Natur vorkommen.

So sind beide Methoden in Kombination sehr gut geeignet, den ungewöhnlichen Eigenschaften des Wassers nachzuspüren. Verglichen mit den meisten anderen Stoffen nimmt zum Beispiel die Dichte von Wasser nicht mit sinkender Temperatur kontinuierlich zu, sondern sie erreicht bei vier Grad Celsius ein Maximum. Ein weiteres Abkühlen führt also zu einer Ausdehnung. Wenn Wasser schließlich bei Null Grad Celsius gefriert, dehnt es sich noch weiter aus.

um den Stein bearbeiten zu können, dürfen dabei aber nicht spröde sein, wie das bei technischen Keramiken üblicherweise der Fall ist.

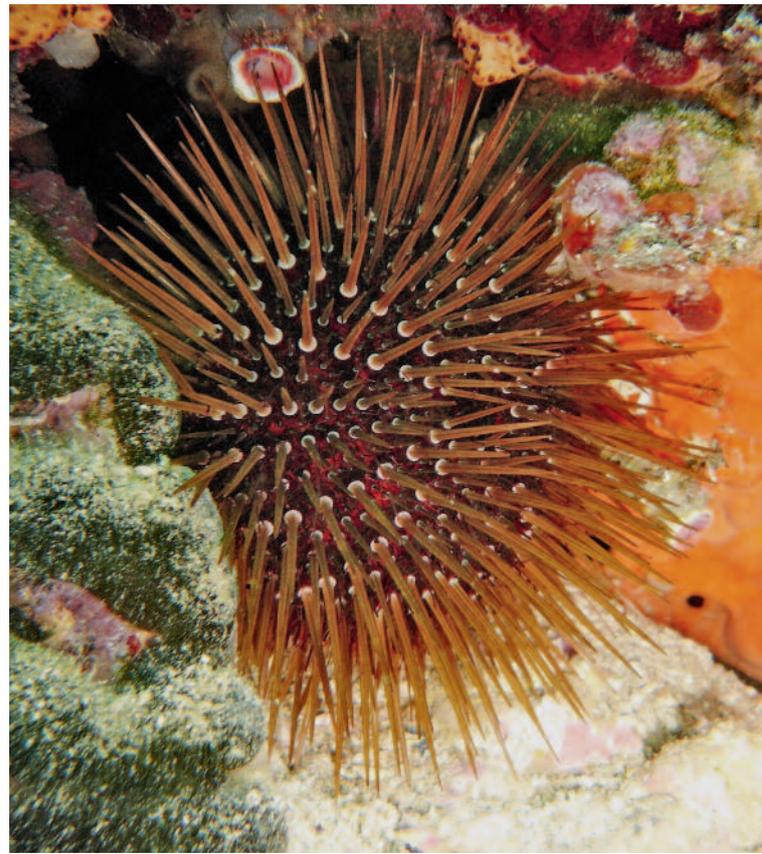
In der Tat fand das Forscherteam heraus, dass der Zahn nicht aus einem einzigen Kristall, sondern aus einer Vielzahl dünner Schichten besteht, wobei sich in benachbarten Schichten jeweils zwei leicht gegeneinander verkippte Calcit-Kristalle abwechseln. Zur Analyse wurde die Spitze der Seeigelzähne mit dem Mikro-Röntgenstrahl abgerastert, es entstanden Beugungsbilder von verschiedenen sehr eng benachbarten Bereichen des Zahns. „Diese Messungen kann man nur mit Synchrotronstrahlung hoher Brillanz durchführen, wie sie zum Beispiel BESSY II liefert. Nur so sind auch bei den sehr kleinen Strahldurchmessern ausreichend große Effekte zu messen, um die gewünschten Informationen zu bekommen“, sagt Paris.

Die Schichtstruktur in den Zähnen sei für die Selbstschärfung von entscheidender Bedeutung, betont Paris. Scharf wird der Zahn nämlich durch eine frische Bruchkante. Selbstschärfung bedeutet also, dass der Kristall beim Benutzen der Zähne häufig bricht, und zwar – wie jeder Kristall – entlang bevorzugter Kristallebenen. Bestünde der Zahn aus einem einzigen Kristall, so würde er als Ganzes brechen und bald wäre vom Zahn nichts mehr übrig. Beim schichtartigen Aufbau durch zwei gegeneinander verkippte Kristalle kann sich ein Riss jedoch nicht beliebig weit ausbreiten. Er wird an der Grenze gestoppt und bleibt so vergleichsweise kurz, denn er trifft im benachbarten Kristall nicht mehr auf die bevorzugte Bruchebene. Dadurch entsteht eine sägezahnartige Struktur, eine Art „Reibe“, so dass der Zahn ohne großen Materialverlust immer wieder scharf wird.

Auf der Suche nach dem Dichteminimum von Wasser

In der Arbeitsgruppe von Prof. Oskar Paris an der Montanuniversität Leoben widmet sich Dr. Maxim Erko der Natur und Struktur von Wasser unter extremen Bedingungen: eingesperrt in winzig kleine Räume. So klein, dass nur ein paar Wassermoleküle nebeneinander Platz haben. Das ist keine Spielerei, sondern Modellsystem für die Natur: Auch in Pflanzen gibt es Wasserleitungen winzigen Durchmessers, und Gesteine bilden Nanometer kleine Poren aus. Um zu verstehen, wie solche Systeme auf eisige Wintertemperaturen reagieren, und warum sie durch wachsende Eiskristalle nicht permanent zerstört werden, untersuchte Erko das Frierverhalten in seinen Modellsystemen. „Klar ist, dass das kleine Volumen den normalen Friermechanismus des Wassers unterdrückt“, sagt Erko. Zwar hatten amerikanische Forscher eingesperrtes Wasser mittels Neutronenstreuung untersucht und ihre Ergebnisse so interpretiert, dass das noch immer flüssige Wasser bei etwa minus 50 Grad Celsius ein Dichteminimum besitzt. Erko: „Doch was dabei genau passiert, weiß man noch nicht.“

Erko nutzte nun mit Unterstützung der Berliner Kollegen



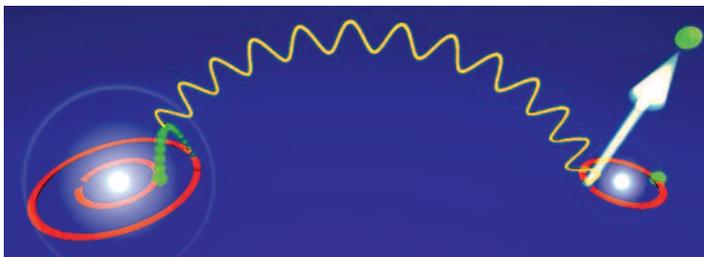
Der Seeigel (*Paracentrotus lividus*) hat nicht nur ein außergewöhnliches Aussehen, sondern ist durch die Schichtstruktur seiner Zähne aus mineralischem Calcit auch ein interessantes Forschungsobjekt. Die Zähne schärfen sich beim Reiben entlang der Steine, von denen der Seeigel Plankton frisst, von selbst.

Dr. Thomas Hauß an der Neutronenquelle BER II und Dr. Armin Hoell an BESSY II die Kombination aus Neutronen- und Röntgenstreuung am HZB, um mehr zu erfahren. Dafür untersuchte er Wasser in zylindrischen Nanogefäßen aus amorphem Siliziumdioxid mit einem Innendurchmesser von nur zwei Nanometern. Erkos Neutronenmessungen bestätigten zwar die Daten der amerikanischen Forscher. „Doch wenn der beobachtete Effekt durch ein Dichteminimum des Wassers zu erklären wäre, müssten unsere Röntgendaten ganz anders ausfallen, als wir es gemessen haben“, sagt der Physiker. Um die Effekte beider Messungen schlüssig zu interpretieren, schlägt er ein anderes Modell vor: „Die starke Wechselwirkung der Wassermoleküle mit der hydrophilen, also wasseranziehenden Porenwand führt dazu, dass diese über den Durchmesser nicht gleichmäßig verteilt sind. Wir haben es also nicht mit einer homogenen Dichte zu tun – wenn man bei so wenigen Molekülen überhaupt von Dichte sprechen kann.“ Genaueres kann Erko noch nicht sagen. Dank der Kombination aus Röntgen- und Neutronenmessung scheint aber klar zu sein: Das von den Kollegen postulierte Dichteminimum existiert wahrscheinlich gar nicht. ud

ZWEI AUF EINEN STREICH

Prof. Reinhard Dörner und sein Team vom Institut für Kernphysik der Universität Frankfurt am Main haben am HZB erstmals Helium-Dimer experimentell untersucht.

Das aus zwei Helium-Atomen bestehende Helium-Dimer ist ein bizarres Molekül, das durch extrem schwache Kräfte zusammengehalten wird. Kein anderes Molekül ist so fragil. Die schwache Bindung lässt seinen Bausteinen viel Freiraum: Die beiden Helium-Kerne sind Dutzende Atomdurchmesser voneinander entfernt. „Dazwischen ist praktisch nichts“, sagt Prof. Reinhard Dörner, der Arbeitsgruppenleiter am Institut für Kernphysik der Universität Frankfurt am Main. Dennoch sind gewichtige quantenmechanische Kräfte am Werk. Sie sorgen, gemessen an der immensen Distanz der Helium-Kerne, für eine relativ starke Kopplung zwischen den Elektronen des Dimers. Das macht es in der Theorie zu einem idealen Modellsystem, um Quantenprozesse zu studieren, die etwa bei



In einem aus zwei Atomen bestehenden Helium-Dimer wird eines der beiden Atome (links) durch ein Photon angeregt. Dadurch entsteht ein neues Photon, dessen Energie (gelbe Linie) auf das zweite Atom (rechts) übertragen wird. Dort schlägt sie ein Elektron (grün) heraus.

komplexen chemischen Bindungen und in Supraleitern eine Rolle spielen.

Einem Team um Prof. Reinhard Dörner und seinem Kollegen Dr. Till Jahnke gelang es zum ersten Mal in der Praxis, einen Helium-Dimer experimentell zu untersuchen – mit einem verblüffendem Ergebnis: „Wir konnten mit einem einzigen Photon beide Atome des Dimers ionisieren, also jedem Atom ein Elektron entreißen“, berichtet Jahnke. Das ist, als würde ein Jäger mit einer einzigen Gewehrkugel zwei meterweit voneinander entfernt stehende Tiere erlegen – ein Beleg für die starke Kopplung zwischen den Elektronen des Riesenmoleküls. Die Wissenschaftler nutzten für ihre Versuche bei wenigen Grad über dem absoluten Nullpunkt

Helium-Dimere, die sie mit Photonen aus der Synchrotron-Strahlungsquelle BESSY II beschossen und in einem COLTRIMS-Spektrometer untersuchten. Auf diese Weise konnten sie die kinetische Energie der Elektronen aus einer Probe von Helium-Dimeren messen und daraus die physikalischen Prozesse rekonstruieren.

Neukalkulation von Strahlenschäden erforderlich

Damit dieses Kunststück gelingt, muss ein großer Teil der Photonen-Energie blitzschnell zwischen den beiden Atomen übertragen werden. Dabei spielen zwei unterschiedliche Prozesse eine Rolle: Entweder trifft das aus dem ersten Helium-Atom herausgelöste Elektron mit Wucht auf das zweite Atom und schlägt dort ein weiteres Elektron heraus. Oder

das Photon hinterlässt das zuerst getroffene Atom in einem energetisch angeregten Zustand. Die überschüssige Energie wird kurz darauf in Gestalt eines neuen Photons frei, das auch das Partneratom ionisieren kann.

Vor allem dieser Mechanismus der Energieübertragung – die Physiker sprechen vom interatomaren Coulomb-Zerfall – könnte auch weit über die Quantenwelt hinaus von Bedeutung sein: „Dieselbe Art von Wechselwirkung existiert zwischen Wassermolekülen“, sagt Till Jahnke. Auch dort bewirkt die Ionisierung eines Wassermoleküls – etwa durch Röntgen- oder radioaktive Strahlung – mitunter die

Emission eines Elektrons bei einem benachbarten Molekül. So erzeugte langsame Elektronen können in biologischem Gewebe zu Defekten am Erbmolekül DNA führen. „Sie tragen damit maßgeblich zu Strahlenschäden bei“, erklärt Dörner. Doch bislang wird die Wirkung des interatomaren Coulomb-Zerfalls bei der Berechnung von Strahlenrisiken nicht berücksichtigt. Gut möglich, dass der Effekt, den Dörner und sein Team bei weiteren Messungen am HZB eindeutig nachweisen konnten, daher eine Neukalkulation der Gefahr von Strahlenschäden erforderlich macht. *rb*

Phys. Rev. Lett. 104, 153401 (2010): Single Photon Double Ionization of the Helium Dimer, T. Havermeier, T. Jahnke, R. Dörner et al.

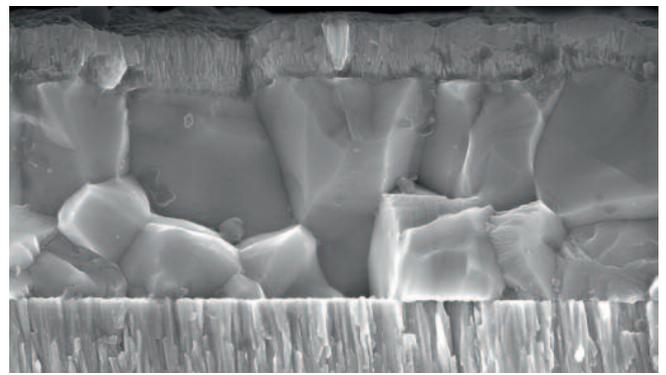
SCHWINDSUCHT IN DER DÜNNSCHICHT

Ein Forscherteam um **Dr. Iver Laueremann** und **Dr. Harry Mönig** gewann neue Erkenntnisse über Prozesse, die in der Oberfläche von Dünnschichtsolarzellen ablaufen.

Dünnschichtsolarzellen versprechen die Kosten für die Nutzung der Solarenergie deutlich zu senken. Als Material für die Absorber-Schicht, in der die Umwandlung des Sonnenlichts in elektrische Energie stattfindet, dienen oft Chalkopyrite: chemische Verbindungen aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Die halbleitenden Stoffe mit der chemischen Formel $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$, kurz CIGSe, zeichnen sich durch eine besonders gute Absorption des Sonnenlichts aus. Allerdings: „Über ihre genauen chemischen und strukturellen Eigenschaften wird noch intensiv diskutiert“, sagt Dr. Iver Laueremann, Wissenschaftler am Institut für Heterogene Materialsysteme des HZB. Das theoretische Verständnis der Dünnschichtsolarzellen hinkt den Fortschritten bei ihrer Herstellung und Anwendung weiter hinterher. Neue Entwicklungen basieren meist auf empirischem Wissen – zum Beispiel, dass sich vor allem Verbindungen eignen, die – gemessen an der Formelzusammensetzung – relativ wenig Kupfer enthalten. „Man kann den Kupfergehalt innerhalb gewisser Grenzen einstellen“, erklärt Laueremann. „Dabei ergeben sich die besten Solarzellen bei Chalkopyrit-Absorbern mit geringem Kupferanteil.“

Neue Erklärungen erforderlich

Zahlreiche Messungen haben gezeigt, dass der Kupfergehalt an der Oberfläche der Zellen noch weit geringer ist, als er nach der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials sein müsste – ein Effekt, der entscheidend ist für die Leistungsfähigkeit der Dünnschichtzelle. Verlässliche experimentelle Daten gab es aber bislang kaum dazu. Doch Resultate aus der Doktorarbeit von Harry Mönig am HZB bringen nun Licht ins Dunkel. Dazu nutzten die Forscher die Methode der Hochenergie-Photoelektronen-Spektroskopie, bei der das Material mit energiereichen Photonen aus Röntgenlicht beschossen wird. Diese lösen Elektronen aus dem Werkstoff heraus, die aufgefangen und analysiert werden. „Das eignet sich exzellent für empfindliche Messungen an Oberflächen“, schwärmt Iver Laueremann. Dank der harten Röntgenstrahlung aus dem Speicherring BESSY II konnte sein Team erstmals bis zu 24 Nanometer tief in eine Chalkopyrit-Schicht hineinblicken.



Raster-Elektronen-Mikroskop-Aufnahme der Schichtstrukturen einer CIGSe-Solarzelle.

Das Ergebnis waren Messkurven, die die Emission von Elektronen aus dem CIGSe widerspiegeln. „Um daraus die Tiefenverteilung des Kupfers zu ermitteln, musste Harry Mönig die Messungen durch Modellrechnungen ergänzen“, sagt Laueremann. Theorie und Experiment ließen sich dabei nur durch die Annahme einer dünnen Oberflächenschicht, die komplett an Kupfer verarmt ist, in Einklang bringen. „Der Schwund der Metallatome in dieser Schicht, die sich nur über wenige Atomlagen erstreckt, wird vermutlich durch eine mikroskopische Umstrukturierung der Oberfläche bewirkt“, erklärt Harry Mönig. „Das führt zu einem energetisch günstigeren Zustand des Materials.“ Dieser Befund wirft das bislang bevorzugte Konzept zur Erklärung der Kupferverarmung über den Haufen, das den Effekt auf Kristalldefekte zurückführte, die deutlich tiefer in das Material hineinreichen und damit eine verborgene Grenzfläche bilden. Kontroverse Diskussionen unter den Forscherkollegen blieben nicht aus. Kein Wunder: „Mit den neuen Erkenntnissen müssen wir das Verständnis von Aufbau und Funktionsweise der Dünnschichtsolarzellen von Grund auf neu entwickeln“, sagt Laueremann. Er bereitet schon jetzt weitere Experimente vor, die eine Lösung des Rätsels bringen sollen. rb

Acta Materialia 57, (2009), 3645-3651: Surface Cu depletion of $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ films, H. Mönig, H.-W. Schock, M.C. Lux-Steiner, I. Laueremann et al.

DEM RÄTSEL DER QUMRAN-ROLLEN AUF DER SPUR

Die israelische Wissenschaftlerin **Dr. Ira Rabin** untersucht seit langem die teils nur als Fragmente erhaltenen 2000 Jahre alten Schriftrollen vom Toten Meer. Dazu nutzt ihr Team auch die Messeinrichtungen von BESSY II.

Beduinen fanden 1947 in Höhlen nahe der Ruinensiedlung Khirbet Qumran am Nordwestufer des Toten Meeres sieben Schriftrollen. Als in den folgenden Jahren in etlichen Höhlen der Umgebung weitere Überreste von insgesamt rund 900 Schriftstücken gefunden wurden und erste Schätzungen ergaben, dass sie etwa 2000 Jahre alt waren, wurde offenbar: Es handelt sich um eines der bedeutendsten Kulturgüter der Menschheit. Die vorwiegend mit Rußtuschen auf zu Pergament verarbeiteten Tierhäuten geschriebenen Texte waren in Hebräisch, aber auch in Aramäisch und Griechisch verfasst. Es handelt sich um Urtexte des Alten Testaments und Kommentare zu biblischen Schriften aus der Zeit zwischen dem dritten vorchristlichen Jahrhundert und dem Jahr 68 unserer Zeitrechnung. An der Untersuchung und Datierung waren bereits in den 1950er-Jahren Naturwissenschaftler beteiligt. Noch immer aber bergen die Rollen eine Reihe von Geheimnissen. Wo wurden sie geschrieben? In welcher Höhle hat man sie gefunden? Darüber hat niemand Buch geführt, zumal etliche Funde aus Raubgrabungen stammen. Sind Entstehungs- und Fundort identisch? Daraus hoffen die Forscher auch etwas über die Umstände zu erfahren, unter denen die Rollen gelagert wurden. War es eine Bibliothek, hat man sie bei einer Bedrohung versteckt?



Bei der Untersuchung eines Schriftrollen-Fragments an der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II werden Pergament und Tusche analysiert.

Ein Puzzle aus über 18.000 Teilen

Nur die wenigsten Rollen waren als meterlanges Ganzes erhalten, die meisten sind in Fragmente zerfallen – ein ungeheures Puzzle aus über 18.000 Teilen. An seiner systematischen Auflösung arbeitet seit vielen Jahren die Chemikerin Ira Rabin. Mit großem Engagement leitet sie das „Dead Sea Scrolls“-Projekt, an dem viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt beteiligt sind. Heute arbeitet Rabin an der Bundesanstalt für Materialprüfung BAM in Berlin. Für ihre Untersuchungen kooperiert sie eng mit Forschern am Helmholtz-Zentrum Berlin, wo sie die Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II für Messungen mit Röntgenlicht nutzt. Damit können die wertvollen Fragmente untersucht werden, ohne Schaden zu nehmen.

Weil die beteiligten Wissenschaftler nur ein Bruchteil aller Stücke vermessen können, hat das Projekt zum Ziel, ein Portfolio an geeigneten Methoden zusammenzustellen, mit denen die vielen Tausend Fragmente im Laufe der nächsten Jahre und Jahrzehnte systematisch charakterisiert werden können. „Dafür ist die fantastisch brillante Strahlung von BESSY II hervorragend geeignet“, betont Rabin. „Wir können die Messungen hier in höchster Qualität durchführen und so feststellen, wie man die Fragmente am besten untersucht und welche Ergebnisse uns die einzelnen Methoden liefern können.“ Mit diesem Wissen reichen später bei einer massenhaften Untersuchung die normalen Laborstandards aus.

Chemische Fingerabdrücke analysieren

Die Forscher verfolgen dabei eine Reihe von Zielen gleichzeitig: Einerseits wollen sie in Pergament und Tusche ortstypische chemische Fingerabdrücke entdecken, wie die regionaltypische Konzentration bestimmter Elemente im Wasser, mit dem das Pergament hergestellt und die Tusche angerührt wurde. Andererseits wollen sie die Spuren entschlüsseln, die der Gebrauch der Schriftstücke und die jeweiligen Aufbewahrungsarten und -orte – in Tongefäßen, in Stoff gewickelt, auf dem Boden, der je nach Höhle anders sein kann – in den vergangenen 2000 Jahren auf dem Pergament hinterlassen haben.



In den Höhlen in der Nähe von Qumran am Toten Meer wurden seit 1947 zahlreiche Schriftrollen gefunden, die der Wissenschaft bis heute Rätsel aufgeben.

Dafür nutzen die Forscher um Rabin zum einen die sogenannte Röntgenfluoreszenz. Damit bestimmen sie diverse chemische Elemente und ihre Konzentration. Dank einer speziellen 3-D-Röntgentechnik, die von Birgit Kanngießer an der TU Berlin entwickelt wurde, gelingt es sogar, ein Tiefenprofil der Elemente zu erstellen. So können die Elemente verschiedenen Schichten und damit Behandlungs- oder Lagerungsspuren zugeordnet werden. Die Vibrationsspektroskopie eignet sich für eine genauere Analyse der chemischen Verbindungen. So lassen sich beispielsweise verschiedene organische Substanzen unterscheiden, mit denen die Rollen behandelt wurden. Sie enthalten Kohlenstoff, der auf jeweils unterschiedliche Art an andere Atome gebunden ist.

Aufwendige Rekonstruktion der Restaurierung

Auf besonderes Interesse stößt seit jeher die sogenannte Tempelrolle, die auch als 6. Buch Mose bezeichnet wird. Sie unterscheidet sich schon durch ihr äußeres Erscheinungsbild von den anderen Rollen, denn sie ist nicht bräunlich, sondern weiß. Die Herkunft dieser Farbe war lange Zeit ein Rätsel, hatte man doch geglaubt, alle Pergamente mit biblischem Inhalt müssten nach einer im Talmud beschriebenen Methode gegerbt werden. „Unsere Analysen haben aber gezeigt, dass die Tempelrolle mit Alaun, einem Beizmittel für Leder und Textilien, vorbehandelt und dann mit einer Gipspaste und Kollagen überzogen wurde“, sagt Rabin. Auch die Herkunft der Tempelrolle konnte geklärt werden, und zwar aufgrund charakteristischer Nitratspuren. Unter allen Höhlen weist nur eine diesen chemischen Fingerabdruck auf, denn in ihr wohnen Fledermäuse, deren Ausscheidungen Nitrat enthalten.

Einen Hinweis darauf, wo die Schriftstücke verfasst wurden, ermöglicht die Analyse der Tusche. Hier richten die Forscher ihr Augenmerk vor allem auf die ungewöhnliche Präsenz von Chlor und Brom und das Verhältnis dieser beiden Elemente zueinander. Es liefert einen Anhaltspunkt für den Ursprung des Wassers, mit dem die Tusche angerührt wurde. Denn dessen Chlor/Brom-Verhältnis variiert in der Region auf signifikante Art und Weise. Die Idee der Forscher ist es, künftig die Tuschen aller Fragmente zu analysieren und sie auf diese Weise zu kartieren. „Das wird eine langwierige Aufgabe werden, aber wir zeigen jetzt, dass und wie es geht“, sagt Rabin.

Die Suche nach den Ursprüngen der Qumran-Rollen wird nicht nur durch ihren natürlichen Verfall erschwert. Auch verschiedenste Behandlungen zum Konservieren und Restaurieren haben den Zustand der Schriftstücke zum Teil drastisch verändert. Ira Rabin bezeichnet das Vorgehen als „schlimmste Folterungen“, denn oft wurde es weder sachgerecht durchgeführt noch ausreichend dokumentiert. Daher müssen die Wissenschaftler nun auch versuchen, die Restaurierungsgeschichte zu rekonstruieren. „Das ist wichtig, um in Zukunft eine möglichst dauerhafte und angemessene Konservierung und Aufbewahrung zu gewährleisten“, betont Rabin.

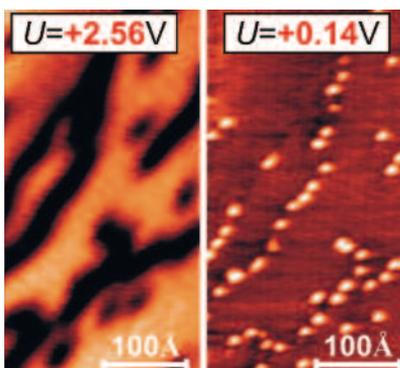
Manche Befunde, auch die der Naturwissenschaft, sind umstritten. Letztlich wird man den Qumranrollen nur in Kombination mehrerer Methoden und in enger Zusammenarbeit mit den Archäologen und Historikern ihre Geheimnisse entlocken können. Es ist ein Weg der kleinen Schritte und der kleinen Erfolge, zu dem noch einige Wissenschaftlergenerationen ihren Beitrag leisten werden. *ud*

GRAPHEN – BEWEGLICHE ELEKTRONEN IN HONIGWABENSTRUKTUR

Zwei Forschergruppen arbeiten am HZB an der Entwicklung eines Prozesses, mit dem **Graphen als Bauelement** für die Industrie im großen Maßstab günstig hergestellt werden kann.

Graphen, eine einzelne Lage aus Kohlenstoffatomen mit der markanten Honigwabenstruktur, beflügelt die Phantasie der Physiker, seit dem es 2004 erstmals gelang, sie zu präparieren. Der Grund: Die Elektronen in Graphen besitzen eine sehr hohe Beweglichkeit. Das macht es zu einem heißen Kandidaten für neue, kleinere und schnellere elektronische Bauelemente, die die aktuelle Siliziumtechnologie ablösen könnten. Deshalb forschen Wissenschaftler weltweit an einem kostengünstigen Prozess für die industrielle Fertigung von Graphen. „Sie sollen den Kohlenstoff gut kontrolliert, möglichst großflächig und in perfekter Struktur auf Unterlagen aufbringen, die selbst gleich in die Anwendung integriert werden können“, beschreibt Dr. Thomas Seyller, Leiter des Lehrstuhls für Technische Physik an der Uni Erlangen, die Herausforderung.

Der Physiker setzt beispielsweise auf Siliziumkarbid (SiC), ein Halbleiterkristall aus Silizium- und Kohlenstoffatomen. Darauf lässt sich Graphen relativ einfach herstellen, in dem der SiC-Kristall nach einer bestimmten Prozedur erhitzt wird. Siliziumatome verdampfen von der Oberfläche. Zurückbleibende Kohlenstoffatome bilden dort eine oder mehrere Lagen Graphen. Allerdings besitzt diese Schicht aufgrund der relativ starken Wechselwirkung des Graphens mit der SiC-Unterlage noch nicht optimale Eigenschaften. Das stellte Seyller bei der Untersuchung der Grenzfläche fest, wofür er unter anderem die sogenannte Photoelektronenspektroskopie nutzte.



Mikroskopische Aufnahmen einer Graphenschicht auf Nickel-Substrat. Auf dem Bild links sieht man nur dunkle Streifen. Erst bei gezielter Einstellung des Photoelektronenspektroskops werden die unter der Graphenschicht aufgetragenen Fullerene, also C_{60} -Moleküle, als Ursache für das Streifenmuster sichtbar.

Bei dieser Methode werden die Elektronen des Materials durch Lichteinfall aus der Probe herausgeschlagen und analysiert. „Mit unseren Messungen an BESSY II konnten wir die elektronische Struktur verschiedener Materialschichten schnell und sehr genau abbilden. Und dank der Variation der einfallenden Lichtwellenlänge können wir auch regulieren, wie tief wir in die Probe hineinschauen“, erläutert Seyller. Dass man die elektronische Struktur in geeigneter Weise manipulieren kann, konnten die Erlanger Forscher ebenfalls zeigen. Dafür wird die Probe in einer Atmosphäre aus Wasserstoff erhitzt. Wasserstoffatome wandern unter das Graphen und lösen es ab, indem sie sich als Zwischenschicht an die SiC-Unterlage binden. Mit dem Erfolg, dass sich die Beweglichkeit der Ladungsträger im Graphen verdoppelt.

Optimierung der Graphenschichten

Einen ganz ähnlichen Ansatz nutzen Forscher um Dr. Oliver Rader und Dr. Andrei Varykhalov aus der Abteilung Magnetisierungsdynamik am Helmholtz-Zentrum Berlin, um ihre Graphenschichten zu optimieren. Sie gehen dabei allerdings von einer anderen Unterlage aus. Statt eines Halbleiters wie SiC wählen sie metallisches Nickel als Katalysator, und lassen anschließend schwerere Atome unter die Graphenschicht wandern. „So können wir zusätzlich auch die magnetischen Eigenschaften der Elektronen im Graphen ansprechen“, sagt Rader, der das bereits mit einer Gold-Zwischenschicht erfolgreich demonstriert hat. Damit sind Anwendungen im Bereich der Spin-Elektronik und der magnetischen Datenspeicherung denkbar.

Wasserstoff- und Goldatome sind verhältnismäßig klein. Um zu erforschen, ob die Methode auch mit größeren Objekten durchführbar ist, nutzten die HZB-Forscher Fullerene – das sind Moleküle aus 60 Kohlenstoffatomen. Messungen mit Photoelektronenspektroskopie zeigen auch hier den positiven Effekt auf die elektronische Struktur des Graphen.

ud

Advanced Materials (DOI: 10.1002/adma.201000695): Imaging Buried Molecules: Fullerenes under Graphene, A. Varykhalov, W. Gudat, O. Rader

ZELLULÄRE QUALITÄTSKONTROLLE ENTSCHLÜSSELT

Polnische Wissenschaftler um **Dr. Marcin Nowotny** nahmen am HZB ein für die Zellteilung wichtiges Enzym unter die Lupe.

Teilt sich eine Zelle, muss sie vorher ihr gesamtes Erbgut kopieren – ein komplizierter Vorgang, in dem zahlreiche Einzelschritte stattfinden. Vereinfacht gesprochen läuft das Ganze so ab: Zuerst spaltet ein Enzym, die Helikase, den DNA-Doppelstrang auf. Anschließend werden die fehlenden Basen wieder angebaut und so die einfachen Tochterstränge wieder je zu einem Doppelstrang vervollständigt. Um mit der DNA-Synthese beginnen zu können, braucht das zuständige Protein – die Polymerase – allerdings eine Starthilfe. Dieser sogenannte Primer ist ein Stückchen RNA, also eine einfache Kette von Nukleinsäuren. Beim Kopieren bilden der Primer und die DNA ein sogenanntes Hybridmolekül.

Diese Hybridmoleküle sind wichtig: Sie stoßen den Kopiervorgang an der richtigen Stelle an – am Ende des Prozesses dürfen sie aber nicht übrig bleiben. Schon gar nicht darf die Polymerase die RNA versehentlich ins Erbgut einbauen.

„Das muss korrigiert werden“, sagt Marcin Nowotny vom International Institute of Molecular and Cell Biology (IIMCB) in Warschau. Genau für diesen Job gibt es in den Zellen spezielle Enzyme – eines von ihnen, die RNase H2, hat ein Forscherteam unter Führung von Marcin Nowotny jetzt so genau wie noch nie untersucht. „Die RNase H2 sorgt für die Stabilität der genetischen Information“, erklärt der Forscher. Doch bisher war nicht klar, wie die zelluläre Qualitätskontrolle genau abläuft.

Bivalente Metall-Ionen als Katalysator

Nowotny und seine Kollegen haben nun erstmals die räumliche Struktur des Molekülkomplexes aus RNase H2 und einem RNA/DNA-Hybridmolekül bestimmt. Die entscheidenden Messungen dafür machten sie am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin. „Wir wollten sehen, wie der Vorgang auf der molekularen Ebene abläuft“, erklärt Nowotny. Dafür griffen die Wissenschaftler auf die Röntgenkristallographie zurück. Wie die meisten Enzyme lässt sich auch die RNase H2 unter bestimmten Bedingungen dazu bringen, eine Kristallstruktur zu formen. Das durch die Beugung der Röntgenstrahlung am Kristallgitter entstehende Muster wird anschließend untersucht.



Dr. Marcin Nowotny (links) und sein Team vom IIMCB in Warschau.

„Für uns war eine hohe Auflösung besonders wichtig“, erklärt Nowotny. In ihrem Kristall befand sich ein RNase H2-Protein, das genmodifizierte E. coli-Bakterien produziert hatten. Aus den Messungen bei BESSY II konnten die Forscher Beugungsbilder des Kristalls erstellen, aus denen sich mit Hilfe spezieller Softwaretools die Geometrie der untersuchten Moleküle berechnen ließ. Das Team um Marcin Nowotny fand dabei heraus, dass Metall-Ionen entscheidend für den Ablauf der Spaltungsreaktion des DNA/RNA-Hybrids sind. Das Vorhandensein eines einzigen RNA-Moleküls in der DNA reicht aus, um die Spaltung durch RNase H2 zu initiieren. Zunächst hilft dabei ein ganz bestimmter Aminosäurerest, ein Tyrosin, die Verbindungsstelle zwischen RNA und DNA aufzuspüren und zu entwinden. Dann wird sie an die aktive Stelle des Enzyms geführt – um dort gespalten zu werden. Für diesen katalytischen Prozess sind bivalente Metall-Ionen notwendig, im konkreten Fall Mn^{2+} und Mg^{2+} . „Das war vorhergesagt worden, aber wir haben es nun auch klar gesehen“, sagt Nowotny. Praktisch angewendet werden könnten die Erkenntnisse eines Tages zum Beispiel beim Kampf gegen das sogenannte Aicardi-Goutières-Syndrom. Bei dieser Erbkrankheit tritt eine mutierte Version von RNase H2 auf, die RNA/DNA-Hybridmoleküle nur schlecht spalten kann. Bis zu einer Gentherapie dagegen ist der Weg aber noch weit. cs

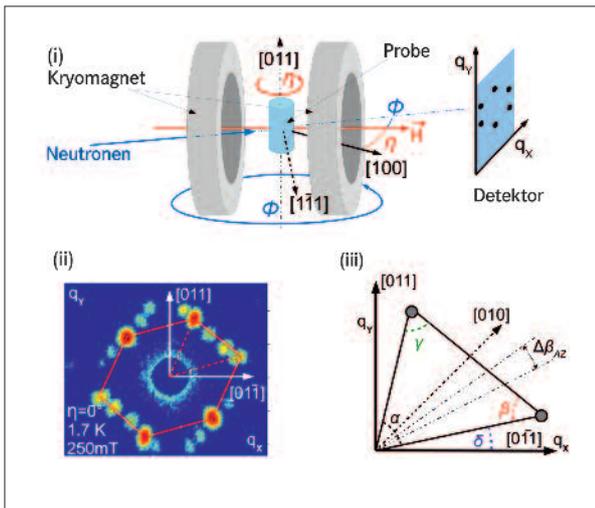
Molecular Cell, Vol. 40, 658–670 (2010): Crystal structures of RNase H2 in complex with nucleic acid reveal the mechanism of RNA-DNA junction recognition and cleavage, Marcin Nowotny et al.

FLUSSSCHLÄUCHE IM VISIER

Ein internationales Forscherteam um **Dr. Sebastian Mühlbauer** hat die Morphologie und Dynamik von Vortex-Gittern aus Niobium untersucht, die beim Übergang des Metalls in den supraleitenden Zustand entstehen.

Als der niederländische Physiker Heike Kamerlingh Onnes 1911 mit flüssigem Helium experimentierte, um den Restwiderstand von hochreinem Quecksilber zu bestimmen, machte er eine überraschende Entdeckung: Unterhalb einer bestimmten Temperatur verlor das Quecksilber komplett seinen elektrischen Widerstand. Die Supraleitung war entdeckt – und weckte die Hoffnung auf nützliche Anwendungen, zum Beispiel zur verlustfreien Übertragung von elektrischem Strom. 100 Jahre danach sind Technologien und Geräte, die dieses physikalische Phänomen nutzen, allerdings immer noch spärlich. Das liegt zum einen an der aufwendigen und teuren Kühlung der Supraleiter sowie an technischen Schwierigkeiten, die teils widerspenstigen Werkstoffe zu verarbeiten. „Zum anderen aber liegt es auch daran, dass die theoretische Basis der Supraleitung – insbesondere der Hochtemperatur-Supraleitung – längst noch nicht hinreichend verstanden ist“, sagt Dr. Sebastian Mühlbauer.

Der Physiker beschäftigt sich am Institut für Festkörperphysik der ETH Zürich mit Magnetismus und Neutronenstreuung. Während seiner Doktorarbeit forschte er an magnetischen Eigenschaften von supraleitenden Materialien. Wichtige Ergebnisse auf diesem Gebiet erzielte er 2009 und 2010 als Leiter eines Wissenschaftlerteams der Technischen Universität München – mithilfe von Neutronenstreu-Experimenten am Helmholtz-Zentrum Berlin. Zum Team gehörten auch zwei Physiker der Universität Birmingham in Großbritannien. Im Visier hatten Mühlbauer und seine Forscherkollegen sogenannte Flussschläuche in Niob. Dieses Metall wird bei Temperaturen unterhalb von etwa 9 Kelvin supraleitend – das ist knapp über dem absoluten Nullpunkt, der bei minus 273 Grad Celsius liegt. Dann zeigt es Eigenschaften, die Physiker als Supraleitung zweiter Art bezeichnen: Anders als Supraleiter erster Art verdrängen diese Stoffe Magnetfelder nicht vollständig aus ihrem Inneren. Stattdessen bilden sich röhrenförmige Bereiche aus, in denen ein Magnetfeld das Material durchdringen kann: die Flussschläuche.

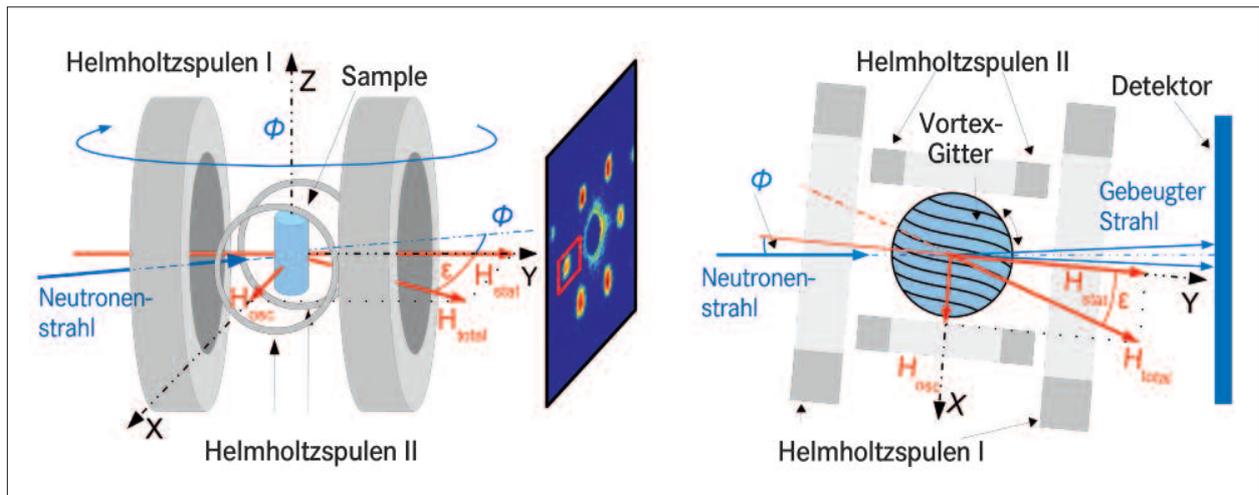


Der schematische Aufbau (Abb. i) für die Messungen der Flussgittersymmetrie von Sebastian Mühlbauer und seinen Kollegen zeigt, dass die Probe in einem Magnetfeld mit Neutronen bestrahlt wird. Unten links (Abb. ii) ist ein typisches Streubild des Flussgitters zu sehen, rechts daneben (Abb. iii) die geometrische Beschreibung der Symmetrie des Flussgitters mit Winkelberechnungen.

Einblick in den Aufbau supraleitender Materialien

„Durch ihre topologischen Eigenschaften – die Wirbelstruktur – haben Flussschläuche teilchenartigen Charakter und ordnen sich in regelmäßiger Form in dem supraleitenden Werkstoff an“, sagt Mühlbauer – „ähnlich wie die Atome in einem Kristallgitter.“ Daher sprechen die Physiker von einem Fluss- oder Vortex-Gitter. „Genauso wie es strukturelle Phasenübergänge und Dynamik in Kristallgittern gibt, lassen sich analoge Effekte auch in Flussgittern beobachten“, erklärt Mühlbauer. „Eine genauere Kenntnis der Struktur solcher Gitter und ihres dynamischen Verhaltens könnte wichtige Hinweise darauf liefern, wie die Supraleitung entsteht – zum Beispiel in den technisch besonders interessanten keramischen oder eisenhaltigen Hochtemperatur-Supraleitern.“

Niob ist ein ideales Modellsystem, um die Eigenschaften des Vortex-Gitters zu untersuchen und so die Basis für weitere Analysen an komplizierteren und unkonventionellen Hochtemperatur-Supraleitern zu legen. Ziel der Messungen am



Um die Dynamik des Flussgitters im Niob-Kristall messen zu können, wurde die Probe (hellblau) während der Bestrahlung mit Neutronen zwei gekreuzten Magnetfeldern (graue Ringe) ausgesetzt. Durch die Veränderung der Orientierung des Magnetfelds änderte sich auch die Intensität der Streuung der Neutronen. Durch diese Messungen erhielten die Wissenschaftler genaue Erkenntnisse über die Anordnung der Flussschläuche im Niob-Kristall bei tiefsten Temperaturen.

Small Angle Neutron Scattering Instrument V4 des HZB war es, die verschiedenen Einflüsse auf die Symmetrie des Vortex-Gitters für ein einfaches System zu entschlüsseln. Die Forscher nutzten Neutronen mit einer Wellenlänge von 1,2 Nanometern, mit denen sie eine Probe von hochreinem kristallinem Niob bestrahlten. Damit gelang es, einen einzigartig detaillierten Blick auf die Flussschläuche zu werfen. Dazu veränderten die Forscher schrittweise die Orientierung des Magnetfelds relativ zur Niob-Kristallrichtung und maßen die Intensität der Neutronen, die unter verschiedenen Winkeln an dem Gitter aus Flussschläuchen gestreut wurden. Als Ergebnis der Experimente bei Temperaturen zwischen 1,5 und 5,5 Kelvin gewannen die Wissenschaftler ein präzises Bild von der Anordnung der Flussschläuche und davon, wie sich diese bei einer Änderung von Temperatur oder Magnetfeld umordnen. „Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die physikalischen Mechanismen ziehen, die sich hinter der Symmetrie von Vortex-Gittern auch in anderen, komplizierter aufgebauten supraleitenden Materialien verbergen“, sagt Mühlbauer.

Einblick in den Aufbau supraleitender Materialien

In einem weiteren Experiment analysierten die Wissenschaftler die Elastizität der Flussschläuche, die nicht starr sind, sondern sich unter dem Einfluss elektromagnetischer Kräfte bewegen können. Dazu generierten sie ein zeitabhängig verkipptes Magnetfeld, das das Vortex-Gitter aus seiner Gleichgewichtslage auslenkte und verzerrte. „Dafür haben wir eigens einen Aufbau entwickelt, mit dem sich die für diese Versuche erforderliche spezielle Anordnung von Magnetfeldern realisieren ließ“, berichtet Sebastian Mühlbauer. Nach dem Abschalten des Magnetfelds kehrte das Flussschlauch-Gitter in seine Ausgangslage zurück, es relaxierte, wie die Physiker sagen. Durch eine Serie von

Messungen bei unterschiedlichen Bedingungen konnten die Forscher aus der Reaktion des Vortex-Gitters dessen Elastizitätsmodul bestimmen – eine charakteristische Größe, die auch für das dynamische Verhalten von kristallinen Festkörpern ausschlaggebend ist.

Wegweisende Messtechnik entwickelt

Für künftige Experimente ist die von Mühlbauer und seinem Team entwickelte Messtechnik vor allem interessant, um das Schmelzen des Flussgitters zu untersuchen – ein Vorgang, der dem Schmelzen eines Atomgitters ähnelt. Außerdem ist die Messmethode geeignet, um das sogenannte Pinning von Flussschläuchen mikroskopisch zu analysieren: Beim Pinning halten Störstellen in dem Material die Flussschläuche fest und hindern sie daran sich zu bewegen. Dieser Effekt erleichtert die technische Nutzung von supraleitenden Werkstoffen: Fließt darin ein Supraström, wirken Kräfte auf die Flussschläuche und ziehen an ihnen. Geraten die Flussschläuche dadurch in Bewegung, geht Energie in Form von Wärme verloren – das begrenzt den Strom, den man etwa durch ein supraleitendes Kabel schicken kann. „Gepinnte“ Flussschläuche bleiben dagegen stabil und lassen mehr Strom durch.

Die neuen Erkenntnisse von Sebastian Mühlbauer und seinen Forscherkollegen zeigen eine experimentelle Methode auf, wie sich die Einflüsse auf die Entstehung von Supraleitern näher untersuchen und vielleicht steuern lassen – und weisen damit einen Weg, der die Supraleitung 100 Jahre nach ihrer Entdeckung ein Stück näher an neue Anwendungen führt.

rb

Phys. Rev. Lett. 102, 136408 (2009): Morphology of the Superconducting Vortex Lattice in Ultrapure Niobium, S. Mühlbauer, C. Pfeleiderer, P. Böni, M. Laver, E. M. Forgan, D. Fort, U. Keiderling & G. Behr

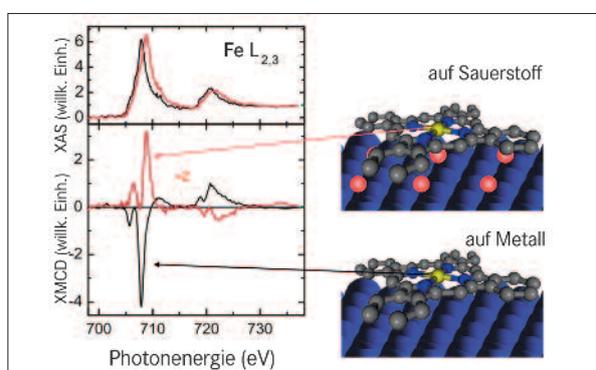
GUTE NACHRICHTEN FÜR DIE COMPUTERINDUSTRIE

Dr. Matthias Bernien von der FU Berlin gelang am HZB mit Sauerstoffatomen die maßgeschneiderte Kopplung von Eisen-Porphyrin auf ferromagnetischem Untergrund.

Seit 1990 zeichnet der Freundeskreis des Helmholtz-Zentrums Berlin e.V. herausragende Dissertationen zum Thema Synchrotronstrahlung mit dem Ernst-Eckhard-Koch-Preis (EEK-Preis) aus. 2010 fiel die Wahl des Komitees auf Dr. Matthias Bernien. Bernien hat am Institut für Experimentalphysik der Freien Universität Berlin Eisen-Metallkomplexe auf Festkörperoberflächen mittels röntgenspektroskopischer Methoden unter Verwendung von Synchrotronstrahlung untersucht. Gemeinsam mit Wissenschaftlern der Freien Universität Berlin, der Universität Duisburg-Essen und einer Theoretikergruppe aus Uppsala konnte Bernien erstmalig eine antiferromagnetische Kopplung zwischen Eisen-Porphyrin-Molekülen und einkristallinen Substraten realisieren. Dies eröffnet den Weg zur gezielten Manipulation und Kontrolle des Spins – also der magnetischen Eigenschaften – paramagnetischer Moleküle. Paramagneten magnetisieren sich nur in einem externen Magnetfeld, sie sind nicht von sich aus magnetisch. Eine Nachricht, die die Informationstechnologie-Branche freuen dürfte, denn Moleküle sind von zunehmender Bedeutung bei der Datenspeicherung. Mit Größen von nur wenigen Nanometern sind Moleküle, wie eben Eisen-Porphyrin-Moleküle, besonders gut für die Einsatzzwecke der IT-Branche geeignet: Umso kleiner der Träger des Bits, desto mehr Informationen lassen sich auf dem Speichermedium unterbringen. Und auch für die Spintronik sind Berniens Ergebnisse hoch interessant. Die Spintronik ist ein relativ neues Feld der Nanoelektronik, die nicht nur die Ladung der Elektronen, sondern den Spin des Elektrons zur Informationsdarstellung und -verarbeitung nutzt. Damit wären zum Beispiel Rechner nicht nur schneller, sondern würden auch weniger Energie benötigen.

Pionierarbeit für die molekulare Spintronik

Bernien ist mit seinen Untersuchungen nun ein wichtiger Schritt in Richtung einer reversiblen und extern kontrollierten Ausrichtung des Spins paramagnetischer Moleküle gelungen: eine maßgeschneiderte magnetische Kopplung von Eisen-Porphyrin-Molekülen zu einkristallinen Kobalt- und Nickelfilmen. Eisen-Porphyrin ist ein organisch-chemischer Farbstoff mit paramagnetischen Eigenschaften. Bernien



Die Röntgenabsorptionsspektren (oben) für Eisen-Porphyrin-Moleküle auf Nickel mit Sauerstoff (rote Linien) sowie für Nickel (schwarze Linien) sind ähnlich, doch die XMCD-Differenzspektren (unten) weisen auseinander und zeigen so die antiferromagnetische Kopplung.

konnte die Kopplung durch Messungen mit elektromagnetischen Wellen, der Synchrotronstrahlung, nachweisen. Seine Messungen mit BESSY II haben gezeigt, dass es durch das Einbringen von Sauerstoffatomen zwischen dem ferromagnetischen Metallfilm und den Eisen-Porphyrin-Molekülen möglich ist, die Richtung der Kopplung von parallel zu antiparallel kontrolliert zu wechseln. Mit Hilfe von theoretischen Berechnungen konnten Bernien und seine Kollegen zeigen, dass die magnetische Wechselwirkung zwischen dem Eisenion und dem Substrat ein Superaustausch ist: eine indirekte Spinkopplung, die über ein vermittelndes Teilchen erfolgt. Die antiparallele Kopplung jedoch konnte nur bei Anwesenheit der Sauerstoffatome beobachtet werden. Diese Pionierarbeiten sind wegweisend für die Vision einer molekularen Spintronik. Organische Moleküle haben als Bausteine einer molekularen Nanotechnologie zudem erheblich an Einfluss in der Festkörperphysik gewonnen. Mit ihnen scheint es möglich zu sein, verschiedenste funktionale Eigenschaften in einem zusammengebauten Stoff zu integrieren. ve

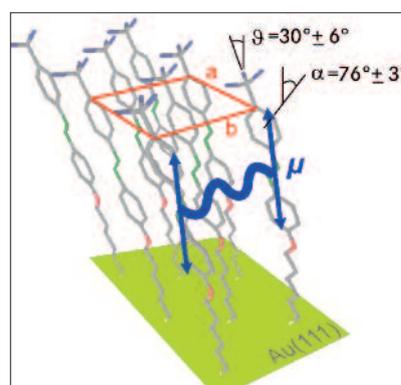
Phys. Rev. Lett. 102, 047202 (2009): Tailoring the Nature of Magnetic Coupling of Fe-Porphyrin Molecules to Ferromagnetic Substrates, M. Bernien, W. Kuch et al.

WIE MOLEKULARE SCHALTER IN SAMS KOMMEN

Dr. Cornelius Gahl vom Berliner Max-Born-Institut arbeitet an der Entwicklung wechselwirkender Photoschalter auf der Basis von Azobenzol.

Molekulare Schalter besitzen großes Potenzial für die Elektronik und Sensortechnik. In der Nanoelektronik ermöglichen sie eine Miniaturisierung, bei der die herkömmliche Halbleiterelektronik nicht mehr mithalten kann. Als molekulare Schalter bezeichnet man Moleküle, die zwischen mindestens zwei stabilen Zuständen hin und her wechseln können, ausgelöst von Veränderungen ihrer Umwelt, wie Licht, Temperatur oder pH-Wert. Molekulare Schalter, die auf Licht reagieren, nennt man Photoschalter. Solche photoschaltbaren Eigenschaften zeigt Azobenzol, ein organisches Molekül. Es kommt in zwei räumlichen Anordnungen der Atome vor, es hat also zwei Isomere mit unterschiedlichen Eigenschaften.

Cornelius Gahl vom Max-Born-Institut untersuchte zusammen mit Wissenschaftlern der FU Berlin und des Fritz-Haber-Instituts an der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II die optischen Eigenschaften und die geometrische Struktur von selbstorganisierten Monolagen aus Azobenzol-Alkanthiolen. Selbstorganisierte Monolagen (engl. self-assembled monolayer, SAM), gelten als ideale Plattform für die Anordnung von molekularen Schaltern auf einer Oberfläche. Wie der Name andeutet, bestehen SAMs aus einer sehr dünnen Schicht von Molekülen auf einem Substrat. Diese Schicht bildet sich spontan beim Eintauchen des Substrats in eine Lösung wie Azobenzol-Alkanthiol. Um SAMs mit molekularen Schaltern zu versehen, also zu „funktionalisieren“ und nutzbar zu machen, muss die molekulare Struktur jedoch maßgeschneidert werden. Für optisch schaltbare Moleküle muss außerdem die Kopplung der Chromophore, also des Teils der Moleküle, der für ihre Farbigkeit sorgt, mit der Umwelt kontrolliert werden. Denn in einem dichtgepackten SAM beeinflussen sich die benachbarten Moleküle gegenseitig, zum Beispiel durch eine exzitonische Kopplung. Das ist ein gemeinsamer Anregungszustand über mehrere Moleküle, der zu einer Verschiebung der Lage der Energieniveaus führt. Im Besonderen interessierte Gahl daher die Wechselwirkung zwischen den Molekülen. Eine wichtige Analysemethode zur Charakterisierung von Festkörperoberflächen ist die Röntgenabsorptionsspektroskopie NEXAFS. Zusammen mit den Ergebnissen der Messungen mittels UV/Vis-Spektroskopie



Geometrische Darstellung des Azobenzol-Alkanethiols: Um den Einfluss der exzitonischen Kopplung auf das Schaltverhalten von Azobenzol in dichtgepackten SAMs abzuschätzen, wurde mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie die Orientierung der Moleküle (Winkel „alpha“ und „theta“) gemessen.

konnte Gahl damit Eigenschaften wie Bindungslängen und die Bindungsenergie berechnen. So konnten die Wissenschaftler die molekulare Ausrichtung der Azobenzoleinheiten bestimmen und eine exzitonische Kopplung zwischen den Chromophoren nachweisen. Gahl und seine Kollegen entwickelten auf diese Weise ein konsistentes Bild der geometrischen Struktur und optischen Eigenschaften des SAMs aus Azobenzol-Alkanethiol.

Aufgrund der hohen Packungsdichte der Moleküle im SAM kommt es demnach zu einer starken Wechselwirkung zwischen den Chromophoren, dem farbgebenden Teil des Azobenzols. Sie führt dazu, dass die absorbierte Lichtenergie sehr schnell auf viele Moleküle verteilt wird. Dadurch wird das Schalten im dichtgepackten SAM stark unterdrückt. Dieser detaillierte Einblick in die intermolekulare Kopplung, der Gahl hiermit gelungen ist, stellt einen bedeutsamen Schritt für die Entwicklung eines funktionalen SAM-Designs mit molekularen Schaltern dar. Für viele Anwendungsbereiche wie Biosensoren, modifizierte Elektroden oder die molekulare Elektronik ist es notwendig, dass größere Teile der Molekülschicht geschaltet werden können. Die von Gahl und Kollegen aufgezeigte exzitonische Kopplung eröffnet auf diesem Feld eine neue Perspektive. ve

J. Am. Chem. Soc. 9 Vol., 132, 1831–1838 (2010): Structure and Excitonic Coupling in Self-Assembled Monolayers of Azobenzene-Functionalized Alkanethiols, Cornelius Gahl et al.



Solarzellenherstellung am HZB: Wissenschaftler arbeiten an der Verbesserung der Module und an kostengünstigeren Verfahren zur Produktion von Solarzellen.

HIGHLIGHTS AUS DER EIGENEN FORSCHUNG

Die Wissenschaftler am Helmholtz-Zentrum Berlin arbeiten an den wissenschaftlichen Grundlagen für die nachhaltige Lösung zentraler Fragen aus Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft. Deshalb kümmern sie sich nicht nur um den Betrieb und den Ausbau der Großanlagen, sondern unterhalten auch ein eigenes Forschungsprogramm. Bei dessen Umsetzung gelingt es ihnen immer wieder, bereits vorhandene Geräte und Methoden entscheidend zu verbessern, um neue Einblicke zu erhalten.

So konnte eine Gruppe von Forschern am HZB ein neues Mikroskop für die Röntgen-Nanotomographie entwickeln und damit erstmals die Struktur kleinster Bestandteile von Säugetierzellen dreidimensional darstellen. Anderen Wissenschaftlern gelang mit dem LiXEdrom der Bau einer neuen Messkammer für Röntgen-Untersuchungen von Flüssigkeiten. Damit kann man die Struktur und die Wirkungsweise von Proteinen, etwa beim Sauerstofftransport

oder Fettabbau, besser untersuchen. Auf der Basis dieser Kenntnisse lassen sich Medikamente entwickeln, die im Körper fehlende Proteine ersetzen. Einer weiteren Gruppe von Wissenschaftlern gelang es, mit Hilfe der EPR-Spektroskopie neue Einblicke in den molekularen Magnetismus zu erhalten. Das ist die Voraussetzung für die Entwicklung molekularer Datenspeicher, die zu den interessantesten Lösungsansätzen für den Bau noch schnellerer und größerer Datenspeicher zählen. Besonders leistungsfähig sind auch Supraleiter, denn sie transportieren Strom ohne Leitungsverluste. Bislang funktioniert das nur mit aufwendiger Kühlung oder mit Materialien, deren Anfertigung sehr teuer ist. Forscher am HZB haben durch die Untersuchung von Eisenverbindungen neue Erkenntnisse über die Struktur von Supraleitern gewonnen und hoffen, schon bald günstigere Supraleiter bauen zu können.

Dies sind nur einige Beispiele aus der Grundlagenforschung am HZB, die wir auf den folgenden Seiten näher vorstellen.

FRISCHER WIND FÜR DIE FERTIGUNG

Am HZB suchen die Wissenschaftler nach Werkstoffen und Prozessen, mit denen die Industrie effizientere und günstigere **Solarzellen** herstellen kann.

Die Nutzung der Sonnenenergie boomt. Während bisher Module mit Solarzellen aus kristallinem Silizium dominierten, weist der Trend nun zu Dünnschicht solarzellen. Ihr Vorteil: Die aktive Schicht, die das Sonnenlicht in elektrischen Strom verwandelt, ist nur etwa ein Hundertstel so dick wie in einer konventionellen Silizium-Zelle. Dadurch lassen sich Zellen und Module einfacher und zu geringeren Kosten herstellen. Die Voraussetzung ist, dass das Material eine hohe Effizienz bei der Umwandlung von Sonnenlicht in der Solarzelle ermöglicht. Werkstoffe zu analysieren, die diese Anforderung erfüllen, und effektive Verfahren für ihre Verarbeitung zu entwickeln, ist ein Schwerpunkt der Forschung am HZB.

„Wir untersuchen unter anderem mit Synchrotronstrahlung aus dem Elektronenspeicherring BESSY II, wie Halbleiterschichten wachsen“, sagt Prof. Dr. Hans-Werner Schock, Abteilungsleiter am Institut für Technologie und Sprecher des Bereichs Solarenergieforschung. „So können wir verfolgen, was beim Aufbringen der Schichten passiert und die Prozesse entsprechend anpassen.“ Das Ziel: den Wirkungsgrad der Zellen zu verbessern und durch Verkürzen der Prozesszeiten die Fertigungskosten zu senken. „Unsere Ergebnisse sind von großem Interesse für die Hersteller von

Dünnschicht solarzellen – und fließen direkt in die Produktion ein“, erläutert Schock.

Ersatz für Kadmium-Verbindungen gesucht

Kein Wunder, dass einige Unternehmen, auch aus dem Ausland, eng mit den Wissenschaftlern am HZB zusammenarbeiten. „Viele Firmen kommen mit dem Wunsch einer Kooperation auf uns zu“, berichtet Prof. Dr. Martha Christina Lux-Steiner, die am HZB das In-

stitut für Heterogene Materialsysteme leitet. So laufen diverse Projekte mit der Industrie bei der Erforschung von Schichten aus Chalkopyriten – einer Klasse von chemischen Verbindungen, die etwa Kupfer, Indium und Gallium sowie Schwefel oder Selen enthalten. Die Forscher nennen sie kurz CIGS oder CIGSe. Chalkopyrite eignen sich exzellent, um Strom aus Sonnenlicht zu generieren. Dünne Schichten des Materials sind zudem ähnlich robust wie Silizium – und werden daher oft in Solarzellen genutzt. „Bislang benötigen diese Zellen jedoch eine Kadmium-Verbindung als Pufferschicht“, sagt Prof. Dr. Christian-Herbert Fischer, Arbeitsgruppenleiter Alternative Dünnschicht-Deposition und CISSY-Synchrotronanalytik am HZB-Institut für Heterogene Materialsysteme. Zwar stellt chemisch gebundenes Kadmium keine Gefahr für Gesundheit oder Umwelt dar – „doch bei der Herstellung der Zellen bleiben große Mengen der Substanz als Abfall zurück“, erklärt Fischer. Das passt nicht zum ökologischen Grundgedanken der Photovoltaik. Zudem verspricht man sich von anderen Materialien noch höhere Wirkungsgrade. Daher suchen die Wissenschaftler intensiv nach Ersatz.

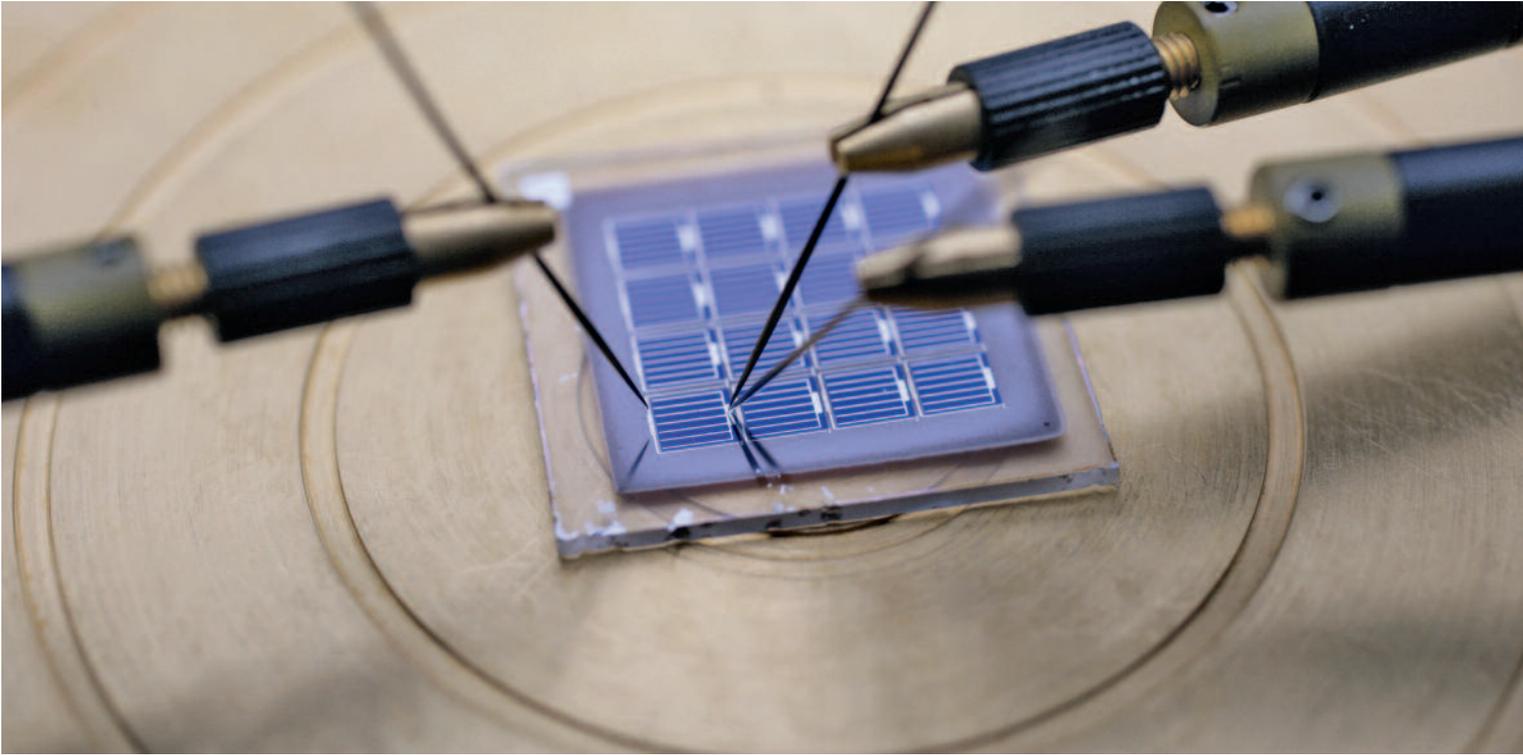
Dabei haben sie vor allem Indiumsulfid im Visier – ein unbedenkliches Material, das Kadmium-Verbindungen problemlos ersetzen kann. Allerdings fehlten bis vor kurzem einfache und kostengünstige Verfahren, um den alternativen Werkstoff nanometerfein auf ein Trägermaterial aufzubringen. „Andere Fertigungsschritte dürfen dadurch nicht gebremst werden“, betont Fischer. Ein neues Konzept ist deshalb nur produktionstauglich, wenn sich jede Schicht schnell, präzise und in hoher Qualität abscheiden lässt.

Neues Fertigungsverfahren entwickelt

Dass sich das für Indiumsulfid bewerkstelligen lässt, haben die HZB-Forscher eindrucksvoll bewiesen. Dazu nutzten sie ein neuartiges Fertigungsverfahren, das sie im Rahmen des EU-Forschungsprojekts ATHLET 2010 weiterentwickelt haben. Die Besonderheit des Ion Layer Gas Reaction, kurz ILGAR, genannten Verfahrens: Damit lassen sich dünne Schichten aus Indiumsulfid in nur zwei Prozessschritten herstellen, die zyklisch wiederholt werden, bis die gewün-



Im Labor werden Solarzellen untersucht.



Dünnschichtsolarzellen aus amorphem Silizium, wie sie das HZB entwickelt, benötigen etwa hundert Mal weniger lichtaktives Material (Halbleiter) als Siliziumsolarzellen.

schte Schichtdicke erreicht ist. Zunächst wird ein indiumhaltiges Salz, der Precursor, auf das Substrat aufgebracht. Anschließend verwandelt ein Gasgemisch die Salzschrift chemisch in Indiumsulfid. Der Materialverbrauch ist gering, die apparative Ausrüstung vergleichsweise günstig. „Das ILGAR-Verfahren eignet sich gut für die Fließbandfertigung von Dünnschichtsolarzellen“, sagt Christian-Herbert Fischer. Damit erfüllt es alle Voraussetzungen für den Einsatz in der industriellen Produktion.

Testanlage für das ILGAR-Verfahren aufgebaut

Um die Leistungsfähigkeit der Technologie zu demonstrieren, haben die Forscher gemeinsam mit der Firma Singulus-Stangl Solar am HZB eine Testanlage aufgebaut, mit der sich Kleinmodule von 30 mal 30 Quadratzentimeter Größe herstellen lassen – mit beeindruckendem Resultat: Die Solar-Module aus der ILGAR-Anlage glänzen durch Wirkungsgrade bis zu 13 Prozent. Das sind nur 0,3 Prozentpunkte weniger als bei kadmiumhaltigen Zellen. Und das ist längst noch nicht alles, ist Fischer überzeugt. Der Chemiker und sein Team arbeiten weiter an der Verbesserung von Langzeitstabilität und Effizienz der so gefertigten Dünnschichtsolarzellen. Bald sollen sie in größerem Format hergestellt werden: „Wir sind nun so weit, dass wir die Technologie auf größere Flächen anwenden können“, freut sich Institutsleiterin Lux-Steiner. Das verspricht höhere Wirkungsgrade und passt zu den Anforderungen der Industrie. Auch der Hersteller CIS Solartechnik aus Bremerhaven

hat in seinem Werk in Hamburg eine Pilotanlage aufgebaut, die auf dem ILGAR-Verfahren des HZB basiert. Dort wird Indiumsulfid auf ein Stahlband aufgebracht. Diese flexiblen Zellen laufen als Kleinserie vom Band, bald soll die Serienfertigung starten. Auch das Unternehmen Global Solar hat im September 2010 erste kommerziell erhältliche flexible Solar-Module präsentiert. „An Test und Entwicklung der darin verwendeten CIGSe-Dünnschichtsolarzellen waren Forscher des HZB mit beteiligt“, betont Dr. Christian Kaufmann, wissenschaftlicher Mitarbeiter am HZB-Institut für Technologie. Singulus-Stangl Solar hat sich dagegen auf die Herstellung von Maschinen für die industrielle Fertigung von Photovoltaik-Elementen spezialisiert – und setzt dabei auch auf die patentierte Technologie aus Berlin: Demnächst will das Unternehmen die ersten ILGAR-Produktionsanlagen anbieten.

Neue Forschungsansätze für künftige Anwendungen

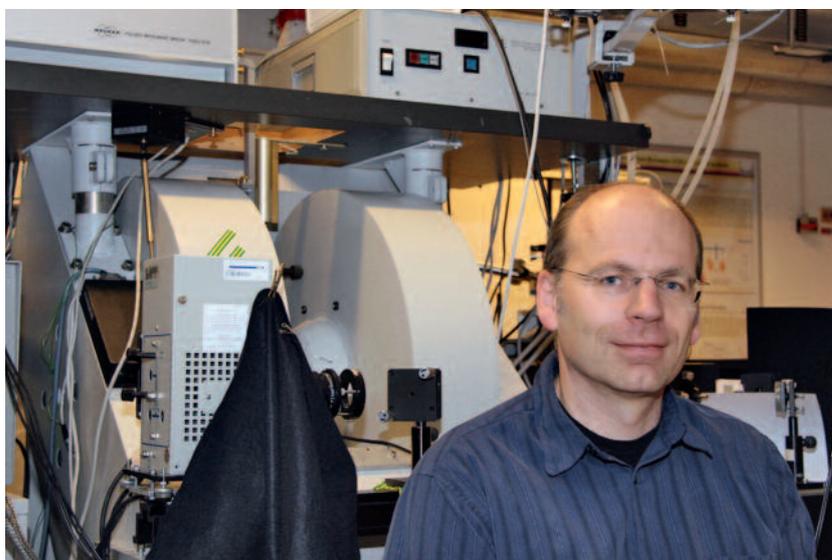
Die Forscher am HZB arbeiten bereits an neuen Ansätzen – etwa an nanostrukturierten Grenzflächen in den Dünnschichtsolarzellen und an der Integration eines Strom-Zwischenspeichers auf der Rückseite der Solar-Module. Zudem wollen sie die Herstellung der sogenannten Fenster-schicht vereinfachen, durch die das Sonnenlicht in die Zellen gelangt. Unternehmen aus der Photovoltaik-Branche werden also auch künftig aus einem reichen Fundus an Innovationen aus den Labors der Berliner Wissenschaftler schöpfen können.

rb

SCHARFBlick DURCH DIE TERAHERTZ-LUPE

Mit Hilfe der **Terahertz-EPR-Spektroskopie** erforschen HZB-Wissenschaftler Phänomene des molekularen Magnetismus.

Magnetische Materialien spielen eine wichtige Rolle bei der Datenspeicherung – etwa auf Computerfestplatten. Um möglichst große Datenmengen auf einem Speichermedium unterzubringen, müssen die Träger der einzelnen Bits möglichst klein sein. Sehr attraktiv dafür erscheinen molekulare Magnete. Das sind Moleküle, die einen Spin besitzen und damit auch ein magnetisches Moment. Es richtet sich in einem Magnetfeld aus wie ein Stabmagnet. Während die meisten anderen Moleküle ihre magnetische Ordnung nach dem Abschalten des Feldes wieder verlieren, bleibt sie bei molekularen Magneten erhalten. Das Manko: Bislang konnten Physiker den molekularen Magnetismus nur bei sehr tiefen Temperaturen von wenigen Grad Kelvin über dem absoluten Nullpunkt beobachten. Das macht eine technische Nutzung noch un-



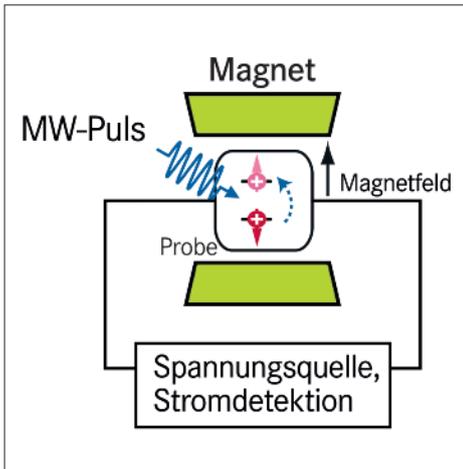
Dr. Klaus Lips vom Institut für Silizium-Photovoltaik am HZB hat zusammen mit anderen Wissenschaftlern wichtige Erkenntnisse gewonnen, mit denen sich größere Datenmengen auf molekularen Magneten speichern lassen.

TERAHERTZ-STRAHLUNG IM LOW ALPHA-MODUS

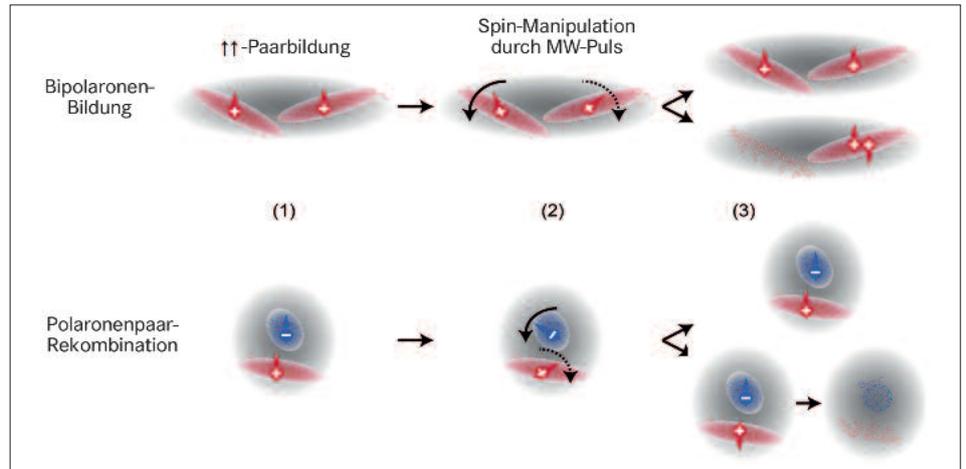
Als Terahertz-Strahlung bezeichnen Physiker den Spektralbereich zwischen Mikrowellen und infrarotem Licht mit etwa 0,1 bis 1 Millimeter Wellenlänge. Mit ihr lassen sich Materialien auf ähnliche Weise durchleuchten wie mit Röntgenlicht. Um geeignete Terahertz-Strahlung für die Experimente zu erzeugen, müssen die Beschleunigerphysiker den Elektronenspeicherring im sogenannten low alpha-Modus betreiben. Dieser Betriebsmodus sorgt dafür, dass die Elektronen-Pakete, die fast lichtschnell durch den Speicherring rasen, etwa genauso lang sind wie der Abstand zwischen den Wellbergen der Terahertz-Strahlung. Dadurch geben die Elektronen Synchrotron-Strahlung ab, die kohärent ist. Das heißt, alle Wellenzüge schwingen im Gleichtakt. Damit die Elektronen-

Pakete auf weniger als einen Millimeter Länge schrumpfen, ist eine spezielle Einstellung der Magnetfelder erforderlich. Die kohärente Strahlung ist im Terahertz-Bereich bis zu Tausend Mal intensiver als bei kommerziellen Quellen. Diese Eigenschaft inspirierte Forscher um Dr. Karsten Holldack am Institut für Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung zum Aufbau eines speziellen Messplatzes. Die Besonderheit: Mit der intensiven kohärenten Strahlung lässt sich nun ein breiter Frequenzbereich sehr schnell und mit extrem hoher Auflösung durchfahren. Das von Holldack aufgebaute Strahlrohr bildet damit eine hervorragende Basis für EPR-Experimente bei Terahertz-Frequenzen.

möglich. Um Moleküle aufzuspüren, die die ungewöhnliche Eigenschaft auch bei Raumtemperatur besitzen, müssen die Forscher zunächst die Spin-Eigenschaften der molekularen Magneten besser verstehen. Einer Gruppe von Wissenschaftlern um Dr. Klaus Lips und Dr. Alexander Schnegg vom HZB-Institut für Silizium-Photovoltaik gelang in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Robert Bittl an der FU Berlin mithilfe eines neuartigen Verfahrens der EPR-Spektroskopie ein wichtiger Schritt dorthin. Das Kürzel EPR steht für Elektronen-Paramagnetische Resonanz (siehe Infokasten Seite 32). Um möglichst alle interessanten Spin-Übergänge an einem Instru-



Das Prinzip der EDMR (elektrisch detektierte magnetische Resonanz): Die Probe wird mit Mikrowellen bestrahlt und zugleich einem starken Magnetfeld ausgesetzt.



Mit Synchrotronstrahlung und EDMR manipulieren die Forscher den Elektronenspin der stromtragenden Teilchen (Polaronen). Der Spin lässt sich wie eine Kompassnadel drehen. Die Messdaten zeigen, dass der Strom frei fließt, wenn die winzigen Magnete entgegengesetzt ausgerichtet sind. Bei gleicher Ausrichtung ist der Stromfluss blockiert.

ment untersuchen zu können, muss die Probe mit einer Lichtquelle bestrahlt werden, die viele verschiedene Frequenzen aussendet. Dies ist mit Synchrotronstrahlung möglich. Die am HZB realisierte Verbindung eines hochauflösenden Fourier-Transform EPR-Spektrometers mit kohärenter Synchrotron-Strahlung im Terahertz-Frequenzbereich ist bislang einzigartig und basiert auf den idealen Möglichkeiten, die die Anlage BESSY II dafür bietet.

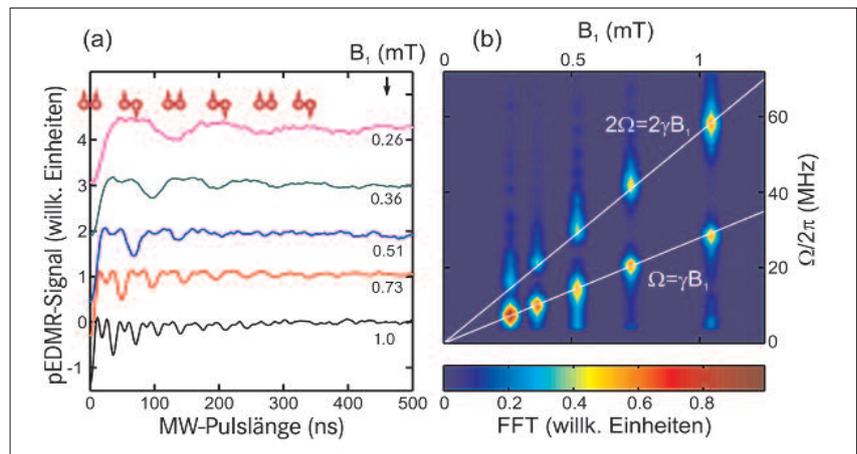
Damit lassen sich nicht nur die Wechselwirkungsenergien der Spins untereinander untersuchen, sondern auch, wie sich die Spin-Orientierung im Magnetfeld mit der Zeit ändert. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen kann man neue Spintragende Komplexe zur Datenspeicherung entwickeln. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bieten sich in der Spintronik – einer neuen Form der Elektronik. Hier werden nicht nur die Ladungen, sondern auch die Elektronenspins zur Informationsverarbeitung genutzt.

Was Polaronen bremst

Das Forscherteam um Klaus Lips, Alexander Schnegg und Jan Behrends konnte auch auf einem anderen Gebiet einen bedeutenden Fortschritt verzeichnen: beim Verständnis der physikalischen Prozesse in organischen Solarzellen. Diese bestehen vor allem aus Kunststoffen und haben gegenüber herkömmlichen Solarzellen aus Silizium einige bestechende Vorteile. Sie könnten sich in Zukunft deutlich preiswerter und energiesparender fertigen und auf flexible Substrate wie Plastikfolie aufbringen lassen. Allerdings ist

ihre Stromausbeute weitaus geringer als die von Silizium-Zellen. Einen Grund, woran das liegen kann, haben die Wissenschaftler am HZB nun herausgefunden – mithilfe einer speziellen Form der magnetischen Resonanz-Spektroskopie: der elektrisch detektierten magnetischen Resonanz (EDMR). Dieses Verfahren ermöglicht es, Stromverluste anhand eines „magnetischen Fingerabdrucks“ der Teilchen zu erkennen.

Die Umwandlung von solarer in elektrische Energie erfolgt bei den „Plastik-Solarzellen“ in einer etwa 100 Nanometer dünnen Schicht aus Polymeren und Fullerenen – fußballförmigen Kohlenstoffmolekülen. Sonnenlicht, das auf diese Schicht trifft, regt die Polymere an – es entstehen sogenannte Exzitonen. Beim Kontakt eines Exzitons mit einem Fulleren springt ein Elektron auf dieses Molekül über. Im Polymer bleibt ein „Loch“ zurück – ein fehlendes Elektron. Elektronen und Löcher verzerren ihre Umgebung. Ladung



Je nach Pulslänge ergeben sich im EDMR-Signal charakteristische Schwankungen, die auf ein Polaronen-Paar mit parallel oder antiparallel orientierten Spins hinweisen.

plus Verzerrung bezeichnen Physiker auch als Polaronen. Wenn negativ und positiv geladene Polaronen durch die Plastik-Solarzelle wandern, bewirken sie einen elektrischen Strom. Doch der wird manchmal gestört durch eine weitere Eigenschaft der Polaronen: ihren Spin. Die Orientierung der Spins kann den Strom durch die Solarzelle beeinflussen. Um den Ursachen dieses Effekts auf die Spur zu kommen, richten die Wissenschaftler die Polaronen-Spins in einem Magnetfeld aus. Ihre magnetischen Eigenschaften lassen sich nun mithilfe von Mikrowellen-Pulsen analysieren. Dabei stellten die HZB-Forscher fest, dass sich zwei Polaronen in ihrer Bewegung blockieren, wenn ihre Spins in die gleiche Richtung orientiert sind. Löcher mit entgegengesetzt ausgerichteten Spins können sich dagegen mühelos aneinander vorbei bewegen. Dieses Phänomen war in der Theorie bereits als „Bipolaron-Bildung“ bekannt, doch sein Einfluss auf den Strom organischer Solarzellen konnte zuvor noch nie beobachtet werden. Die Wissenschaftler am HZB erbrachten nun erstmals einen experimentellen Nachweis dafür. Dank ihrer Ergebnisse werden sich künftig vielleicht Kunststoffe entwickeln lassen, in denen keine Spin-Blockade auftritt. Das würde organische Solarzellen effizienter und damit rentabler machen. rb

Phys. Rev. Lett. 105, 176601 (2010): Bipolaron Formation in Organic Solar Cells Observed by Pulsed EDMR, J. Behrends, A. Schnegg, K. Lips, E. A. Thomsen, A. K. Pandey, I. D. W. Samuel and D. J. Keeble



EPR@HZB

Die EPR-Spektroskopie ist eine Methode, mit der sich der atomare Aufbau und die magnetischen Eigenschaften von Materialien untersuchen lassen. Die Spins bilden dabei winzige Sonden im Inneren einer Probe. Sie können durch elektromagnetische Wellen von außen manipuliert und abgefragt werden. Beim EPR-Experiment richtet ein starkes äußeres Magnetfeld die Spins aus. Zusätzlich wird die Probe mit elektromagnetischen Wellen bestrahlt, um die Orientierung der Spins im Feld zu ändern. Das geschieht bei bestimmten Energien. Eine Analyse dieser Energien liefert dann die Informationen über die Materialeigenschaften. Um diese Informationen gezielt für die Entwicklung neuartiger Solarzellen zu nutzen, betreibt das HZB im Institut für Silizium Photovoltaik ein EPR-Labor, außerdem wurde ein EPR-Experiment an einer Beamline der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II aufgebaut, die Terahertzstrahlung liefert.

Um die wichtigen Untersuchungen an Dünnschicht-Solarzellen weiter zu verbessern, fördert das BMBF das Netzwerkprojekt „EPR-Solar“, das vom HZB koordiniert wird. In dem Projekt kooperieren die HZB-Wissenschaftler mit Partnerteams der Freien Universität Berlin, des Düsseldorfer Max-Planck-Instituts für Eisenforschung, des Forschungszentrums Jülich und der Technischen Universität München. Ziel des Projekts ist es, Materialien für die Solarenergieforschung zu untersuchen und EPR-Instrumente zu entwickeln, die bisher nicht durchführbare EPR-Experimente ermöglichen sollen. Besonders das Potenzial der Synchrotronstrahlung hat dafür eine Tür aufgestoßen. So konnten die Forscher am HZB mit den EPR-Solar-Mitteln ein bisher einmaliges EPR-Spektrometer am Synchrotron aufbauen und darüber hinaus ein weltweit einzigartiges 263-GHz-EPR-Spektrometer beschaffen, das im Institut für Silizium-Photovoltaik aufgebaut wird. rb

ÜBER EISEN-TETRAEDER ZUR SUPRALEITUNG

HZB-Wissenschaftler untersuchen universelle Eigenschaften auf Eisen basierender **supraleitender Materialien**.

Eisen-Verbindungen stehen seit kurzem im Fokus der Physiker. Denn japanische Wissenschaftler haben 2008 entdeckt, dass es unter diesen Materialien bislang unbekannte Hochtemperatur-Supraleiter gibt. Supraleiter sind Werkstoffe, die unterhalb einer bestimmten Temperatur, der „Sprungtemperatur“, komplett ihren elektrischen Widerstand einbüßen. Sie werden unter anderem zur Fertigung von Spulen genutzt, durch die hohe elektrische Ströme fließen – etwa, um starke Magnetfelder für die Magnetresonanztomographie zu erzeugen oder Partikel in Teilchenbeschleunigern auf Trab zu bringen.

Die meisten supraleitenden Stoffe gehen erst wenige Grad über dem absoluten Nullpunkt bei minus 273 Grad Celsius in den widerstandsfreien Zustand über. Nur Hochtemperatur-Supraleiter haben deutlich höhere Sprungtemperaturen. Das erleichtert ihren technischen Einsatz, da weniger Aufwand zur Kühlung betrieben werden muss. Die bislang bekannten Hochtemperatur-Supraleiter aus Kupferoxid-haltigen Materialien, sogenannte Kuprate, sind jedoch spröde und empfindlich. Die neu entdeckten supraleitenden Eisen-Verbindungen lassen sich dagegen deutlich besser verarbeiten. Das macht sie technisch attraktiv. Ein

Team von Wissenschaftlern am HZB um Dr. Dimitri Argyriou vom Institut für Komplexe Magnetische Materialien zeigte nun, dass die eisenhaltigen supraleitenden Substanzen auch neue grundlegende physikalische Erkenntnisse liefern. Mithilfe von Neutronenstreu-Experimenten fanden die Berliner Forscher heraus, dass bei diesen Materialien ein hoher Druck zum Entstehen der Supraleitung führt.

Tetraeder aus Eisenatomen

Supraleitende Kuprate werden meist durch Dotieren hergestellt, das heißt den Einbau von fremden Atomen ins Gitter einer Ausgangssubstanz. Die Fremdatome verzerren die Kristallstruktur. Denselben Effekt erzielten die HZB-Forscher bei einer Eisen-Verbindung auf andere Weise. Sie setzten das Material so stark unter Druck, dass das Kristallgitter ähnlich deformiert wurde wie beim Dotieren. Die Eisenatome rückten dichter zusammen und je vier Atome bildeten ein Tetraeder – eine für den widerstandslosen Stromtransport offenbar entscheidende Form der Kristallstruktur. Die Forscher hatten die Kristalle aus Eisen, Tellur und Selen erschaffen. Für die Analysen bestrahlten sie diese Verbindung mit Röntgenlicht und Neutronen. Diese stammten aus dem Forschungsreaktor BER II des HZB oder dem Forschungsreaktor des Institut Laue-Langevin im französischen Grenoble. Die Neutronen durchdrangen den Kristall und wurden an den Atomen darin gestreut. Die Form der Streuung lieferte detaillierte Informationen über die Anordnung der Atome in dem bestrahlten Material. Mit derselben experimentellen Methode lassen sich auch magnetische Eigenschaften von Festkörpern aufklären. Das nutzten Argyriou und sein Team, um Signale von Magnetfeldern in den supraleitenden Eisen-Kristallen zu messen. Dabei zeigte sich, dass sich zwar die Symmetrie der magnetischen Ordnung in verschiedenen eisenhaltigen Ausgangsstoffen unterscheidet – doch das spielt keine Rolle beim Entstehen des supraleitenden Zustands. Unterhalb der Sprungtemperatur bildet sich unabhängig vom Ausgangsmaterial stets dieselbe magnetische Symmetrie. Dahinter steckt vermutlich ein universeller Mechanismus,



Eisen wird seit langem hergestellt. Einige Eisen-Verbindungen zeigen Eigenschaften der Hochtemperatur-Supraleitung.

der charakteristisch für die Supraleitung in Eisen-Verbindungen ist. Dieses Wissen, so die Hoffnung der Forscher, wird sich künftig nutzen lassen um Materialien herzustellen, die bereits bei relativ hohen Temperaturen ihren elektrischen Widerstand verlieren.

rb

Nature Materials, 2010; 9 (9): 718 (DOI: 10.1038/nmat2800): From $(\pi,0)$ magnetic order to superconductivity with (π,π) magnetic resonance in $\text{Fe}_{1.02}\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$, T. J. Liu, J. Hu, B. Qian, D. Fobes, Z. Q. Mao, W. Bao, M. Reehuis, S. A. J. Kimber, K. Prokeš, S. Matas, D. N. Argyriou, A. Hiess, A. Rotaru, H. Pham, L. Spinu, Y. Qiu, V. Thampy, A. T. Savici, J. A. Rodriguez, C. Broholm

SUPRALEITER – DIE ENTSCHEIDUNG FÄLLT IM RING

Manche Materialien werden bei tiefen Temperaturen supraleitend, andere nicht. Warum das so ist, lässt die Physiker auch hundert Jahre nach der Entdeckung der Supraleitung noch rätseln. Fest steht: Im Bereich der Sprungtemperatur spielt sich ein Phasenübergang ab, durch den der feste Stoff beim Abkühlen schlagartig seinen elektrischen Widerstand verliert. Dabei verändert sich die Anordnung der Atome, was dem Material neue Eigenschaften verleiht. Ob der „Keim“ für den Verlust des Widerstands bereits in den Ausgangsstoffen für das supraleitende Material steckt oder nicht, darüber sind die Wissenschaftler jedoch uneins. Eine alternative Theorie geht davon aus, dass erst der Ausgang eines „Ringens“ zwischen zwei unterschiedlichen Phasen über das Entstehen eines supraleitenden Zustands entscheidet.

Die Ergebnisse von Experimenten am HZB untermauern dieses Bild. Die Forscher um Dimitri Argyriou untersuchten eine Verbindung aus Lanthan, Strontium und Mangan. Der metalli-

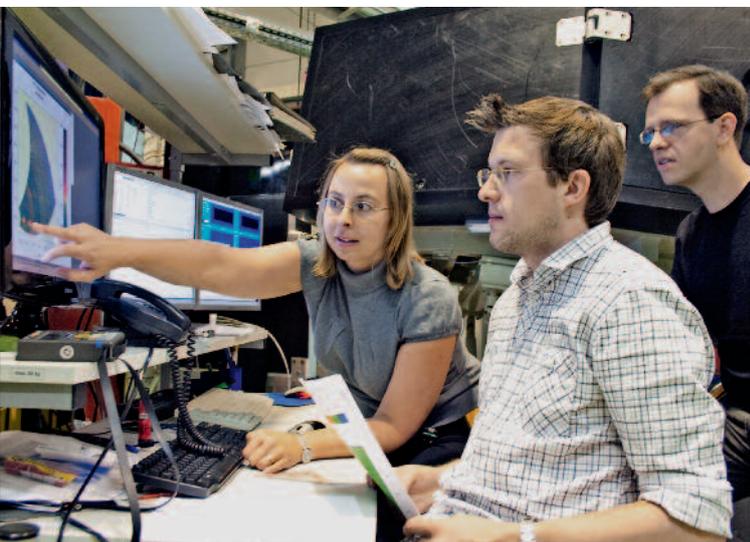
sche Werkstoff ist kein Supraleiter, wird aber ähnlich hergestellt: durch Dotieren eines isolierenden Materials. Er leitet elektrischen Strom jedoch deutlich schlechter als die meisten anderen Metalle. Argyriou und sein Team nutzten die Neutronenstreuung, um Struktur und Eigenschaften der ungewöhnlichen Verbindung ins Visier zu nehmen. Dabei stießen sie auf einen weiteren Unterschied zu „normalen“ Metallen. Während sich bei diesen die Elektronen frei durch das Kristallgitter bewegen – Physiker sprechen von einem Elektronengas – gelingt ihnen das in Lanthan-Strontium-Manganat nur für kurze Zeit. Danach werden sie vorübergehend ins Kristallgitter eingeschlossen und so in ihrer Beweglichkeit gehemmt. Die Elektronen wechseln ständig zwischen einem elektrisch leitenden und einem isolierenden Zustand. Das dotierte Material scheint ein „Gedächtnis“ zu besitzen, das es an seine ursprüngliche Isolator-Eigenschaft erinnert. Ein Keim für die Supraleitung ist dagegen erkennbar nicht in dem Stoff verankert.

rb

MAGNETISCHE MONOPOLE UNTER DER NEUTRONEN-LUPE

Physiker am HZB wiesen mit Neutronen die Existenz von **magnetischen Monopolen** in einem Festkörper nach.

Magnetische Monopole – Objekte, die nur über einen Plus- oder Minuspol verfügen – gibt es in gewöhnlicher Materie nicht. Manche physikalischen Theorien sagen allerdings voraus, dass solche exotischen Gebilde unter bestimmten Bedingungen doch existieren. So schloss der britische Physiker Paul Dirac bereits 1931 aus den Resultaten von Modellrechnungen, dass sich am Ende von mikroskopisch dünnen Schläuchen magnetische Monopole befinden. Durch diese nach ihrem Entdecker Dirac-Strings genannten Strukturen strömt ein magnetischer Fluss. Den Nachweis, dass sie auch magnetische Monopole tragen können, blieben die Wissenschaftler aber bislang schuldig.



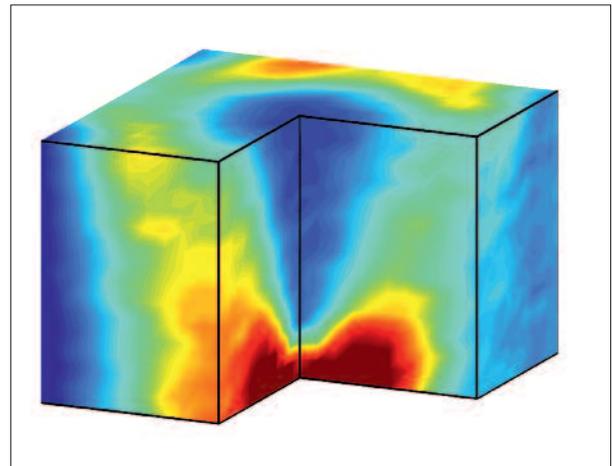
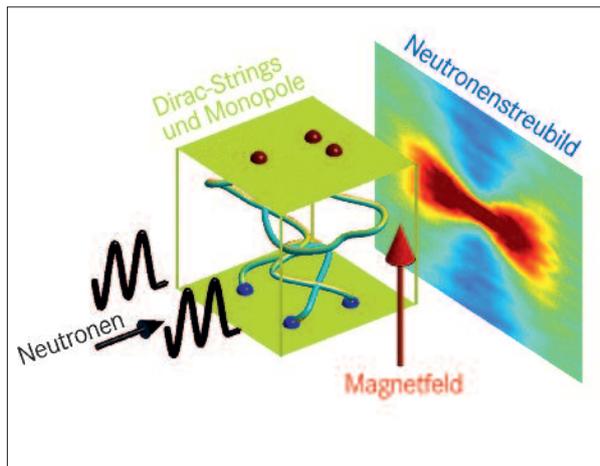
Ein Teil des Forscherteams am Experimentierplatz E2 des Berliner Forschungsreaktors (v.l.n.r.): Dr. Kirrily Rule, Dr. Jonathan Morris und Dr. Bastian Klemke.

Nun haben Physiker am HZB erstmals einen experimentellen Beleg dafür geliefert. Ihnen gelang es mithilfe von Neutronen, magnetische Monopole in einem Festkörper nachzuweisen. Das Berliner Forscherteam um Dr. Jonathan Morris und Prof. Alan Tennant vom Institut für Komplexe Magnetische Materialien arbeitete dabei mit Kollegen aus Dresden, Oxford und

St. Andrews in Großbritannien sowie aus dem argentinischen La Plata zusammen. Die Wissenschaftler untersuchten einen Kristall aus Dysprosium-Titanat – einem Festkörper, der in einer sogenannten Polychlor-Gitter-Geometrie kristallisiert. Durch den Beschuss mit Neutronen und deren Streuung am Kristallgitter konnten Morris, Tennant und ihr Team zeigen, dass Spins und ihre magnetischen Momente in diesem Kristall wie Spaghetti angeordnet sind: Bei Temperaturen dicht am absoluten Nullpunkt von minus 273,15 Grad Celsius bilden sie ein komplexes Netz aus gewundenen Röhren – den von Dirac beschriebenen Strings. Die Neutronen, mit denen die Forscher das tiefgekühlte Material beschossen, enthüllten diese Struktur. Da sie selbst ein magnetisches Moment besitzen, interagieren Neutronen mit den schwachen Magnetfeldern der Spins im Kristall. Dadurch werden sie gestreut und ändern ihre Ausbreitungsrichtung.

Experimente nahe am absoluten Nullpunkt

Während der Experimente legten die Wissenschaftler ein Magnetfeld an die Probe, mit dem sich Symmetrie und Orientierung der Strings beeinflussen ließen. So schafften sie es, das Netz der Spin-Spaghetti zu lichten und reduzierten dadurch auch die Dichte der magnetischen Monopole. Die Folge: Die bizarren Objekte wurden sichtbar. Bei ebenso eisigen Temperaturen gelang den Forschern am HZB noch ein weiterer Nachweis der magnetischen Monopole. Der Physiker Dr. Bastian Klemke vermaß die Wärmekapazität von Dysprosium-Titanat im Bereich des absoluten Nullpunkts. Er tat dies in kleinen Schritten bei verschiedenen Temperaturen zwischen 0,4 und 4 Kelvin. Die sich daraus ergebende temperaturabhängige Kurve der Wärmekapazität verglich er mit den Ergebnissen theoretischer Berechnungen. Dabei zeigte sich, dass die Messwerte deutlich von denen abwichen, die für einen Werkstoff mit magnetisch dipolaren Eigenschaften zu erwarten wären. Doch sie passen zum Verlauf, den eine Theorie für Teilchen vorher sagt, die elektrische Monopole tragen. Deren Anwesenheit ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass auch magnetische Monopole entstanden sein müssen. Neben der reinen Existenz der magnetischen Monopole konnten die Berliner



Links: Das Schema des Neutronenstreu-Experiments: Neutronen treffen auf die Probe und werden an den Strings gestreut. Das resultierende Streubild liefert Informationen über die String-Eigenschaften. Wird ein Magnetfeld angelegt, richten sich die Dirac-Strings – mit den magnetischen Monopolen an deren Enden – entlang des Feldes aus. Rechts sieht man eine 3D-Simulation des kegelförmigen Streubilds der Dirac-Strings.

Forscher auch aufklären, wie sie entstehen. Sie werden erzeugt, wenn sich Dipole auf bestimmte Weise gruppieren. Das deutsch-britisch-argentinische Forscherteam lieferte damit 70 Jahre nach ihrer erstmaligen theoretischen Vorhersage einen eindrucksvollen Beweis für die Existenz der bizarren magnetischen Gebilde. Damit brachten sie das grundlegende Wissen über den Magnetismus in fester Materie einen großen Schritt voran. Gleichzeitig legten sie die Basis für mögliche neue technische Anwendungen – zum Beispiel in leistungsfähigen magnetischen Speichermedien.

Dreidimensionale Darstellung magnetischer Domänen

Ähnliche Fortschritte könnten die Resultate anderer Experimente am HZB bewirken, die ebenfalls mithilfe der Neutronenstreuung gelangen. Dabei schaffte es ein Team um Dr. Ingo Manke zum ersten Mal, magnetische Domänen dreidimensional abzubilden. Magnetische Domänen sind mikroskopisch kleine Bereiche, in denen die magnetischen Momente von Atomen oder Elektronen parallel orientiert sind. Die meisten magnetischen Materialien bestehen aus einer Vielzahl solcher Bereiche, die unterschiedlich groß sind und eine Art magnetischen Flickenteppich im Inneren des Materials bilden. Für menschliche Augen sind die Domänen unsichtbar. Die Physiker können sie nur mit trickreichen Messverfahren erkennen – bislang aber nur zweidimensional, etwa an der Oberfläche von Metallen. Doch eine neuartige Methode, die die HZB-Forscher um Ingo Manke gemeinsam mit Experten der Berliner Bundesanstalt für Materialforschung und des Paul-Scherrer-Instituts im schweizerischen Villigen entwickelt haben, ermöglicht nun auch die Darstellung der dreidimensionalen Domänen-Struktur. Die Wissenschaftler demonstrierten das an einem Kristall aus einer Eisen-Silizium-Verbindung, der am Dresdner Leibniz-Institut für Festkörper- und Werk-

stoffforschung hergestellt worden ist. Manke und seine Mitarbeiter nahmen dazu die Domänengrenzen unter die Lupe – das sind Regionen, in denen die magnetischen Domänen aneinanderstoßen. Dort wechselt die Ausrichtung der magnetischen Momente – und damit die Richtung des von ihnen generierten Magnetfelds. Um diese Sprünge zu erkennen, beschossen die Forscher den Kristall mit Neutronen, die durch die magnetischen Kräfte von ihrer Bahn abgelenkt wurden – ähnlich wie ein Lichtstrahl gebrochen wird, der von Luft in Wasser eintritt. Um diesen schwachen Effekt, der normalerweise von den vielen nicht abgelenkten Neutronen verdeckt wird, sichtbar zu machen, integrierten die Wissenschaftler mehrere Beugungsgitter in den Aufbau des Experiments. Damit ließen sich die an Domänengrenzen abgelenkten von den unbehelligten Neutronen trennen. Durch Rotieren der Probe während der Messungen konnten die Wissenschaftler den Kristall aus allen Richtungen durchleuchten – und alle Formen von Domänen aufspüren. Am Computer entstand daraus ein vollständiges dreidimensionales Abbild des Domänen-Netzwerks. Magnetische Domänen spielen eine große Rolle in der physikalischen Grundlagenforschung, wo sie für das Verständnis grundlegender Prinzipien von Materialeigenschaften sehr wichtig sind. Im Alltag sind sie in vielen technischen Produkten von Bedeutung – zum Beispiel in Speichermedien und Transformatoren für stationäre oder mobile Anwendungen.

rb

Science 16 October 2009: 411-414 (DOI: 10.1126/science.1178868): Dirac Strings and Magnetic Monopoles in the Spin Ice $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, Morris, et al. bzw. Nature Communications (DOI: 10.1038/ncomms1125), Three-dimensional imaging of magnetic domains, I. Manke, N. Kardjilov, R. Schäfer, A. Hilger, M. Strobl, M. Dawson, C. Grünzweig, G. Behr, M. Hentschel, C. David, A. Kupsch, A. Lange & J. Banhart

DATEN SPEICHERN IN FEMTOSEKUNDENSCHNELLE

Neuartige Datenspeicher könnten künftig aus magnetischen Speicherbausteinen bestehen. HZB-Forscher um **Dr. Christian Stamm** haben in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus Straßburg erstmals herausgefunden, wie schnell sich die magnetischen Bits steuern lassen.

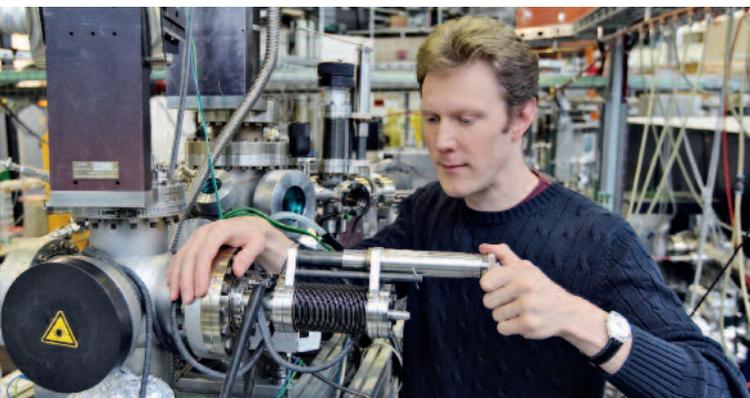
Orbitalmoment – das klingt nach den Weiten des Universums mit Entfernungen, die in Lichtjahren gemessen werden. Doch das genaue Gegenteil ist der Fall, denn unter dem Orbitalmoment verstehen Wissenschaftler die Bewegung eines Elektrons um den Atomkern, die sich nicht nur auf kleinstem Raum, sondern auch in unvorstellbarer Geschwindigkeit abspielt. Das Orbitalmoment reagiert jedoch anders als der Eigendrehimpuls des Elektrons, der sogenannte Spin. Um das herauszufinden, benötigten Dr. Christian Stamm und seine Kollegen vom HZB sechs Jahre Pionierarbeit. In dieser Zeit bauten sie am Synchrotronspeicherring BESSY II ein weltweit einzigartiges Experiment zum sogenannten Femtoslicing auf. Dabei werden ultrakurze Laserpulse eingesetzt, um die Veränderung von Spins zu beobachten. Ein Vorgang, der innerhalb von einigen hundert Femtosekunden abläuft. Das sind einige Zehntel eines Millionstels einer Millionstelsekunde. „Nur mit dem Femtoslicing kann man die ultraschnellen Vorgänge sichtbar machen, die zum Phänomen des Magnetismus beitragen“, begründet Christian Stamm den Aufwand, mit dem mehrere HZB-Wissenschaftler das Experiment in jahrelanger Detailarbeit aufgebaut haben. Sie schießen dabei ultrakurze Laserpulse auf die Elektronen, die sich im Speicherring mit nahezu Lichtgeschwindigkeit bewegen. Die getroffenen Elektronen unterscheiden sich von denen, die nicht mit dem Laserstrahl in Berührung kamen. Das Rönt-

genlicht, das sie während ihres Umlaufs im Speicherring aussenden – das spezielle Synchrotronlicht – trägt nun ebenfalls die zeitliche Struktur, die das Laserlicht mitbringt. Mit diesen ultrakurzen Röntgenblitzen wird schließlich die magnetische Probe untersucht. Das besondere an BESSY II: Nur hier steht den Wissenschaftlern sogenanntes zirkular polarisiertes Röntgenlicht für Slicing-Experimente zur Verfügung. Für Untersuchungen von Spin und Orbitalmoment, die dem Magnetismus zugrunde liegen, ist dies unbedingt nötig.

Erst die Bahn, dann der Spin

Die Ergebnisse, die Christian Stamm und seine Kollegen in Zusammenarbeit mit dem Institut de Physique et Chimie des Materiaux de Strasbourg mithilfe der Femtoslicing-Experimente erzielten, brachten eine fundamentale Erkenntnis zutage: „Wir konnten zeigen, auf welchem Weg und wie schnell die durch die Laserpulse zugeführte Energie im Elektronenspin ankommt“, erläutert der Physiker. Letztlich also, wie schnell sich der Magnetismus von außen beeinflussen und schalten lässt. Für die Spintronik, einem noch jungen Feld der Nanoelektronik, die nicht nur die Ladung der Elektronen, sondern auch den Spin des Elektrons zur Informationsdarstellung und -verarbeitung nutzt, könnte diese Erkenntnis ein wichtiger Meilenstein sein. Mit ihr könnten nicht nur schnellere, sondern auch weniger Energie verbrauchende Computer gebaut werden. Aber auch die Halbleitertechnologie könnte davon profitieren. Denn Christian Stamm hat gezeigt, wie sich die Spin-Änderung im Detail vollzieht. „Die Bewegung der Elektronen auf ihrer Kreisbahn ändert sich sehr schnell, wenn Energie zugeführt wird“, erläutert der HZB-Wissenschaftler. Im Gegensatz zur Spin-Reaktion, die verzögert erfolge. Das heißt: „Will man den Elektronenspin ändern, muss zuerst die Orbitalbewegung der Elektronen zerstört werden. Erst dann dreht sich der Spin.“ Das macht den Weg frei für noch schnellere Spins und damit schnellere Computer. *cn*

Nature, Volume 465, 458–461 (DOI: 10.1038/nature 09070): Distinguishing the ultrafast dynamics of spin and orbital moments in solids, C. Boeglin, E. Beaupaire, V. Halté, C. Stamm et al.



Dr. Christian Stamm bei der Arbeit an der BESSY II-Beamline zum Femtoslicing.

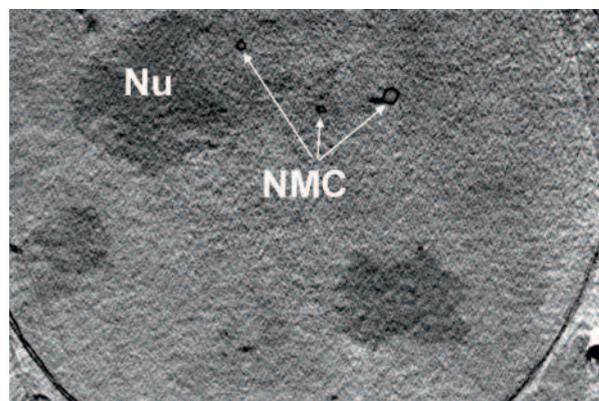
MIT DER DRITTEN DIMENSION SIEHT MAN BESSER

HZB-Wissenschaftler **Dr. Gerd Schneider** hat zusammen mit Forschern des US-amerikanischen **National Cancer Institutes** erstmals die Struktur kleinster Zellbestandteile intakter Säugetierzellen dreidimensional abgebildet.

Immer tiefer und umfassender reicht unser Blick in die Zellen hinein. Um noch größere Auflösungen zu ermöglichen, wurde am HZB ein Mikroskop für die Röntgen-Nanotomographie entwickelt, das mit teilkohärentem Licht arbeitet und dessen Aufbau mehr Raum rund um die Probe bietet. Während bei der hochauflösenden Elektronenmikroskopie eine Zelle nur über viele getrocknete Dünnschnitte dreidimensional dargestellt werden konnte, liefert das neue Röntgenmikroskop die 3-D-Ansicht der gesamten Zelle in einem Schritt. Für lichtmikroskopische Untersuchungen werden Zellbestandteile mit Farbstoffen markiert, deren Verteilung dann ein Bild der Strukturen ergibt. Zu dieser Fluoreszenz-Lichtmikroskopie, die es ebenfalls erlaubt, ganze Zellen zu studieren, liefert die neue Röntgenmethode komplementäre Information. Das neue Röntgenmikroskop nutzt den natürlichen Kontrast zwischen organischer Materie und Wasser, um alle Zellstrukturen abzubilden. Das HZB-Team rund um Gerd Schneider vom Institut für Weiche Materie und funktionale Materialien konnte so zusammen mit Forschern des National Cancer Institute dreidimensionale Rekonstruktionen eines tiefgefrorenen Adenokarzinoms bei Mäusen anfertigen und kleinste Strukturbreiten von bis zu 36 Nanometer darstellen. Zum Vergleich: Ein Menschenhaar misst im Querschnitt etwa 0,04 bis 0,1 Millimeter, zehn Nanometer entsprechen einem Zehntausendstel der Dicke eines Haares.

Mehr Spielraum für die Probe

Die Darstellung der Ultrastrukturen wurde durch die Bestrahlung mit teilkohärentem Licht möglich, das von der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II erzeugt wird. Im Gegensatz zur inkohärenten Ausleuchtung liefert die Tomographie mit teilkohärentem Licht einen höheren Bildkontrast selbst bei kleinsten Strukturen. Besonders an der neuen Röntgen-Nanotomographie ist auch ihr Aufbau: Der Objektträger für die Zellproben ist bis zu 160 Grad drehfähig. Zusammen mit der Firma XRADIA aus Kalifornien wurde eine neuartige Optik zur Objektbeleuchtung entwickelt: Der sogenannte Kondensator beleuchtet das Objekt und wird dazu direkt mit monochromatischem Licht bestrahlt. Die bislang notwendige



Der 3-D-Schnitt durch den Kern einer Adenokarzinom-Zelle einer Maus zeigt das Kernkörperchen (Nu) und die Membrankanäle (NMC).

Blende zum Herausfiltern der gewünschten Röntgenwellenlängen dicht am Objekt entfällt. So bleibt mehr Raum für die Zellprobe. „Als wir 2003 mit der Entwicklung begonnen haben, war dieser Punkt das Risiko: Niemand hatte einen solchen Kondensator“, erklärt Gerd Schneider die Ausgangssituation. „Zusätzlich gab es das Dogma, zur Erzeugung der notwendigen kleinen spektralen Bandbreite keinen Monochromator mit Gitter für die Röntgenmikroskope zu verwenden, weil der zu viele Photonen abfängt. Doch ich wusste, dass die Zahl der Röntgenphotonen aus der Synchrotronquelle BESSY II für ein gutes Bild noch ausreichen würde.“ Zusammen mit der hochauflösenden Optik, die ebenfalls im HZB mit einem Elektronenstrahl-Lithographie-System hergestellt wird, dem neuen Röntgenkondensator und dem teilkohärenten Licht ist es gelungen, kleinste Details stark kontrastiert sichtbar werden zu lassen – wie etwa die Doppelmembran des Zellkerns, Membrankanäle und Einschlüsse wie Lysosomen. „Wir können nun besser herausfinden, wie Viren mit Zellen interagieren und was die Viren mit der Kernmembran tun“, sagt Schneider, der künftig noch tiefer in die Zellen blicken will. s/

Nature Methods (DOI: 10.1038/nmeth.1533): Three-dimensional cellular ultrastructure resolved by X-ray microscopy, Gerd Schneider et al.

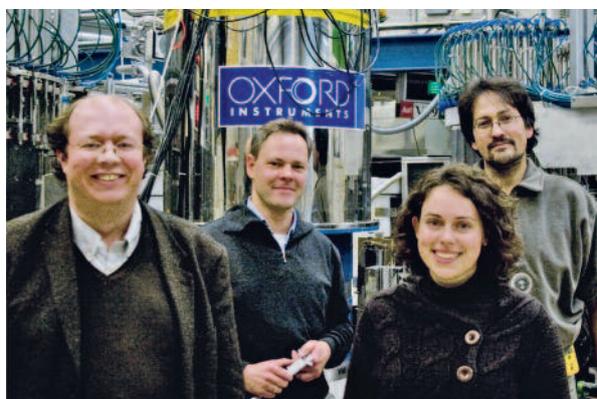
DER GOLDENE SCHNITT IN DER QUANTENWELT

Wissenschaftler am HZB untersuchten die Struktur eines **Kobalt-Niobat-Kristalls** und entdeckten eine besondere symmetrische Anordnung.

In der Kunst und Architektur ist der „Goldene Schnitt“ ein Merkmal von Anmut und Harmonie. Er steht für ein bestimmtes Verhältnis zweier Größen von rund 1,618, das sich aus der Formel $(1 + \sqrt{5}):2$ ergibt. Maler wenden den Goldenen Schnitt bei der Komposition von Motiven auf Gemälden an, Architekten bei der Gestaltung von Bauteilen an Häusern und Fassaden. Sogar in der Anordnung der Blätter bei manchen Pflanzen lässt sich die besondere Symmetrie finden. Wissenschaftler des HZB konnten nun zeigen, dass sie sich auch in den atomaren Bestandteilen fester Materie verbirgt. Die Forscher um Prof. Alan Tennant, Leiter des HZB-Instituts für Komplexe Magnetische Materialien, entdeckten Hinweise auf den Goldenen Schnitt in der Struktur eines Kristalls aus Kobalt-Niobat – einem Stoff mit ungewöhnlichen magnetischen Eigenschaften. Die Spins der Elektronen sind darin zu fadenartigen Ketten aneinandergereiht. Jede dieser „Spin-Ketten“ ist so dünn wie ein einzelnes Atom und wirkt wie ein winziger Stabmagnet. Das macht Kobalt-Niobat zu einem idealen Testobjekt für die Analyse grundlegender quantenphysikalischer Prozesse. Bei ihren Experimenten arbeiteten die Berliner Wissenschaftler mit Kollegen der britischen Universitäten Oxford und Bristol sowie des Rutherford-Appleton Laboratory in Didcot bei Oxford zusammen. Das Team um Tennant und Radu Coldea, Projektleiter an der Oxford University, legte ein Magnetfeld an den untersuchten Kobalt-Niobat-Kristall an. Bereits aus früheren Arbeiten war bekannt, dass die Spin-Ketten in einen neuen physikalischen Zustand übergehen, wenn ein äußeres Magnetfeld senkrecht zu ihrer Längsachse wirkt. Physiker nennen das Verhalten „quantenkritisch“. Der entstehende neue Zustand ähnelt einem fraktalen Gebilde, das sich aus zahlreichen verkleinerten Kopien seiner eigenen Gestalt zusammensetzt.

Harmonische Quantensysteme

Die britischen und deutschen Forscher änderten das Magnetfeld schrittweise, sodass das Spin-System des Kristalls immer näher an den quantenkritischen Punkt heranrückte. Dabei verfolgten sie mithilfe von Neutronenstreuung, wie die Ketten der Elektronenspins reagierten. Das verblüffen-



Prof. Dr. Alan Tennant, Dr. Klaus Habicht, Dr. Elisa Wheeler und Dr. Klaus Kiefer (v.l.n.r.) forschten gemeinsam an Spin-Ketten.

de Resultat: Die Spin-Ketten verhalten sich wie Gitarrensaiten. Wie bei einer Saite, die gezupft wird, treten durch die Anregung im Magnetfeld Resonanzen auf. Bestimmte „Frequenzen“ werden durch Überlagerung von Schwingungen verstärkt. Wie die atomare Saite schwingt, hängt von der Kraft zwischen benachbarten Spin-Ketten ab. Das Besondere an diesem Quanten-Phänomen ist das Verhältnis der Resonanzfrequenzen. Es beträgt 1,618 und entspricht damit exakt dem Goldenen Schnitt.

Hinter dieser Resonanzerscheinung steckt eine grundlegende Symmetrie, die Quantensystemen wie den Spin-Ketten eine harmonische Erscheinung verleiht, glauben die Wissenschaftler. Mathematiker nennen diese Symmetrie, die auch in Theorien zur Teilchenphysik eine wichtige Rolle spielt, schlicht „E8“. Die Forscher aus Berlin und Großbritannien sind die Ersten, denen es gelang, diese Symmetrieeigenschaft in einem Festkörper zu beobachten. Ihre Ergebnisse sind ein eindrucksvoller Beweis, dass in Quantensystemen, mit denen die Physiker Begriffe wie Unschärfe, Zufall und Unbestimmtheit verbinden, mitunter perfekte Ausgeglichenheit herrscht. Der Charakter von atomaren Teilchen gleicht der ästhetischen Ausstrahlung von Bildern und Bauwerken. Die Quantenwelt ist stets für eine Überraschung gut.

Stabile Spin-Leitern

Quarks sind die Bausteine, aus denen sich Protonen und Neutronen zusammensetzen – und damit die elementaren Komponenten von Atomkernen. Ein einzelnes Quark haben die Physiker allerdings noch nie erblickt, die Teilchen treten stets paarweise oder in Dreiergruppen auf. Die sind so stark verwoben, dass sie sich nicht zerteilen lassen. Versucht man ein Quark aus einem solchen Verband zu lösen entsteht letztlich ein Paar von neuen Quarks, die wiederum untrennbar sind. Physiker sprechen dabei von „Confinement“. Die Kernbausteine sind in einem Verbund gefangen. Verantwortlich dafür ist die starke Wechselwirkung – eine der vier Grundkräfte der Natur. Sie hält die Quark-Gruppen zusammen. Ihr Merkmal: Die Kraft wird umso stärker, je größer die Distanz ist, über die sie wirkt. Sie setzt damit jedem Versuch, zwei Quarks zu separieren, eine unüberwindbare Hürde entgegen.

Nun haben HZB-Forscher um Prof. Bella Lake herausgefunden, dass diese bizarre physikalische Eigenschaft auch in fester Materie auftritt. Dem Team gelang es, das Confinement in „Spin-Leitern“ nachzuweisen – Systemen, in denen

FINDIGE NEUTRONEN

Für die Experimente verwendeten die HZB-Forscher Neutronen, mit denen sie die kristallinen Proben beschossen. Im Inneren des Kristalls interagierten die Neutronen mit den magnetischen Momenten der Elektronen, die mit deren Spins gekoppelt sind. Die Neutronen änderten dadurch ihre Bewegungsrichtung: Sie wurden gestreut. Aus der Streuung konnten die Wissenschaftler

das magnetische Muster der Spin-Ketten messen – und damit die magnetischen Resonanzen ausfindig machen. Neutronen eignen sich besonders gut für die Analyse von magnetischen Materialeigenschaften, da sie selbst ein magnetisches Moment besitzen – aber keine elektrische Ladung, die die magnetischen Effekte stören könnte.



Dr. Klaus Kiefer unterstützt Dr. Elisa Wheeler bei der Vorbereitung zu Messungen mit Neutronenstreuung unter Einwirkung von Magnetfeldern.

zwei Ketten aus Spins so angeordnet sind, dass sie eine Leiter-ähnliche Struktur mit Beinen und Sprossen bilden. Die Berliner Forscher konnten damit eine Theorie bestätigen, die in den 1990er-Jahren entwickelt wurde und die den Effekt des Confinements in Festkörpern vorhergesagt hat. Bella Lake und ihre Mitarbeiter untersuchten einen Kristall, in dem Kupferoxid-Moleküle eine Spin-Leiter bilden. Je zwei Kupferoxid-Ketten werden darin zusammengehalten und bilden die Beine der molekularen Leiter. Das Besondere: In den Elektronen, deren Spins die konstruktive Kraft ausüben, trennen sich elektrische Ladung und Spin voneinander. Wenn sich die Leiter formiert, ordnen sich die Spins neu. Die angeregten Spin-Ketten – so genannte Spinone – werden ähnlich fest verknüpft wie Quarks. Auch sie bilden Paare, die nicht voneinander zu trennen sind. Die Berliner Forscher konnten diese Vorgänge durch Streu-Experimente mit Neutronen verfolgen. Sie hoffen nun, dass die Analogie zwischen dem Verhalten des Festkörper-Spin-Systems und den Quarks im Herzen von Atomkernen helfen wird, die grundlegenden Mechanismen des Confinements besser zu verstehen – und damit auch die Vorgänge bei der Bildung der Kern-Bausteine Proton und Neutron. *rb*

Science (DOI: RE1180085/JEC/PHYSICS): Quantum Criticality in an Ising Chain: Experimental Evidence for Emergent E8 Symmetry, R. Coldea, D. A. Tennant, E. M. Wheeler, E. Wawrzynska, D. Prabhakaran, M. Telling, K. Habicht, P. Smeibid, K. Kiefer bzw. Nature Physics (DOI: 10.1038/NPHYS1462): Confinement of fractional quantum number particles in a condensed-matter system, B. Lake, A. M. Tsvelik, S. Notbohm, D. A. Tennant, T. G. Perring, M. Reehuis, C. Sekar, G. Krabbes & B. Büchner

MIT TEMPO 288 DURCHS LIXEDROM

Die Nachwuchsgruppe um **Prof. Emad Aziz** hat eine Messkammer für Röntgenuntersuchungen am Flüssigkeitsjet entwickelt und kann damit zukünftig Proteinstrukturen besser untersuchen.

Proteine sind lebenswichtige Bausteine im menschlichen Körper. Sie setzen sich aus über 100 Aminosäuren zusammen. Deshalb können Proteine in Struktur und Wirkungsweise sehr unterschiedlich sein. Rund 200.000 verschiedene Proteine sorgen dafür, dass im Körper zahlreiche biologische und chemische Prozesse funktionieren: Proteine bauen Fett ab, sie transportieren Sauerstoff im Blut, sie schalten als Antikörper Krankheitserreger aus oder sind als Botenstoffe im Nervensystem unterwegs. Kein Wunder, dass sich die Wissenschaft brennend für diese wichtigen Bausteine interessiert. Röntgenstrahlen sind für viele wissenschaftliche Untersuchungen ein bevorzugtes Mittel, um mehr über die Struktur und damit auch über die Eigenschaften eines Stoffes zu erfahren. Wenn man eine Probe mit ihnen bestrahlt, geben sie viele Informationen zum Strukturaufbau preis. Doch das gilt gemeinhin nur für Feststoffe, denn die Probe muss sich während der Bestrahlung mit weicher Röntgenstrahlung im Vakuum befinden. Für die Untersuchung von Flüssigkeiten stellt sich für die Wissenschaftler daher das Problem, das Wasser entfernen zu müssen. Doch gerade biologische Proben benötigen Wasser als Lösungsmittel und Lebensraum. Bislang war es deshalb nicht möglich, Proteine in ihrer natürlichen Umgebung mit weicher Röntgenstrahlung zu analysieren. Man benötigt ein Vakuum und muss die Proteine kristallisieren, ehe sie in dieser Form bestrahlt werden können. Aufschlüsse über ihre Reaktionsmechanismen und Aktivitäten im Körper bekommt man so jedoch nicht, da sich ein im Kristall geordnetes Protein anders verhält als in gelöster Form.

Methämoglobin und Katalase untersucht

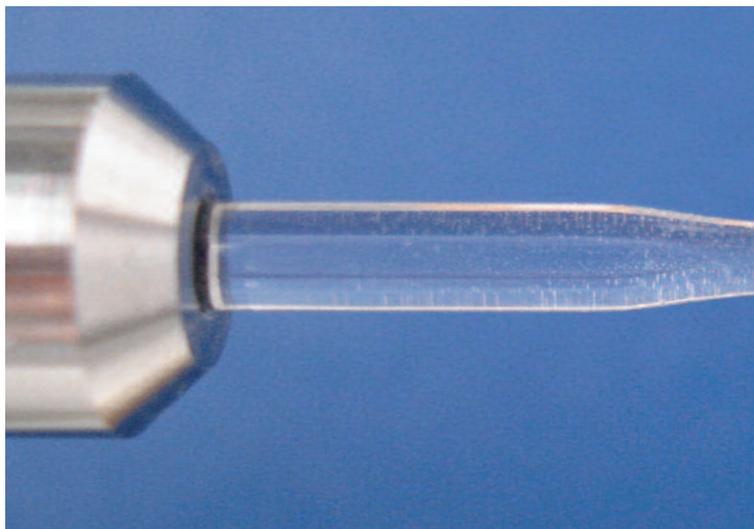
Prof. Dr. Emad Flear Aziz Bekhit, Leiter der Nachwuchsgruppe für Funktionale Materialien in Lösung am HZB, hat sich dieses Problems angenommen. Die Forschungsobjekte seiner Gruppe: Katalase und Methämoglobin, zwei Proteine, deren aktives Zentrum ähnlich aufgebaut ist, die aber gänzlich verschieden reagieren. Anders als Methämoglobin spaltet das Enzym Katalase mit einer außerordentlich hohen Effektivität Wasserstoffperoxid, ein Abbauprodukt der



Prof. Dr. Emad Flear Aziz Bekhit und sein Team entwickelten das LiXEdrom.

Fettsäurespaltung. Dadurch schützt es den menschlichen Organismus gegen den Angriff von sogenannten Oxidantien. Ein Katalase-Molekül kann bis zu eine Million Wasserstoffperoxid-Moleküle pro Sekunde spalten. Ein Prozess, bei dem Wasser und Sauerstoff entstehen. Methämoglobin dagegen bindet Sauerstoff und transportiert ihn über das Blut an den Ort seiner Verwendung.

Um die beiden Proteine in ihrer natürlichen Umgebung mithilfe der Röntgenabsorptionsspektroskopie untersuchen zu können, hat Emad Aziz nun eine spezielle Experimentierkammer am Synchrotronspeicherring BESSY II konstruiert und aufgebaut. Darin verwendet er eine Durchflussszelle mit einem dünnen Membran-Fenster. Die für Röntgenlicht größtenteils durchlässige Membran trennt die gelösten Proteine von der Kammer mit dem Vakuum. Dadurch wird verhindert, dass die flüssige Probe in die Kammer gelangt und das Vakuum zusammenbricht. In dem man im Durchfluss ständig frische Probe zuführt, können Strahlenschäden durch die Röntgenstrahlen vermieden werden. Mit der Experimentierkammer, dem sogenannten Liquidrom, hat Emad Aziz 2009 die weltweit erste spektroskopische Untersuchung mit weicher Röntgenstrahlung an einem Protein in seiner natürlichen Umgebung durchgeführt. Dabei konnte er zunächst nachweisen, dass das ak-



Nahaufnahme des Liquid-Jet, dessen Strahl mit der flüssigen Probe mit einer Geschwindigkeit von 288 km/h auf die Röntgenstrahlung trifft.

tive Zentrum des Methämoglobins, die Häm-Gruppe, in natürlicher Umgebung eine deutlich andere elektronische Struktur hat als in der kristallisierten Form.

Auch die Katalase verfügt über eine derartige Häm-Gruppe, die als aktives Zentrum wirkt. Emad Aziz und seine Mitarbeiterin Kathrin Lange haben 2010 jedoch festgestellt, dass sich die elektronische Struktur der aktiven Zellen bei den beiden Enzymen unterscheidet. Im Methämoglobin liegt das zentrale Eisenion in der Oxidationsstufe +3 vor, das heißt es ist dreifach positiv geladen. In der Katalase beobachtet man dagegen einen partiellen +4-Charakter. Dadurch ist das Ion sehr viel reaktiver. „Dass ist die Ursache der hohen enzymatischen Aktivität der Katalase – dass wir sie verstehen, ist ein enormer Fortschritt. Damit werden wir in Zukunft derartige Systeme steuern oder nachahmen können“, erläutert Kathrin Lange die Bedeutung dieser Entdeckung.

Vom Liquidrom zum LiXEdrom

Als Wissenschaftler haben sich Emad Aziz und seine Gruppe aber nicht lange auf diesem Erfolg ausgeruht, sondern die Untersuchungsmethode weiter verbessert. Ziel war es, ganz auf Membranen bei der Untersuchung von Flüssigkeiten mit weicher Röntgenstrahlung verzichten zu können. Das Ergebnis dieser Bemühungen heißt LiXEdrom, ein Spektrometer für Röntgenabsorptions- (XAS) und Emissionsspektroskopie (XES). Das Besondere dabei: die Flüssigkeit wird mithilfe eines Jets durch den Röntgenstrahl geschossen. Der Strahl wird in dem Jet so dünn und mit 80 Metern pro Sekunde so schnell, dass das Vakuum aufrecht erhalten werden kann und keine Membran notwendig ist. Umgerechnet entspricht dies einer Geschwindigkeit von 288 Stundenkilometern, mit welcher der Flüssigkeitsstrahl durch das LiXEdrom geschossen wird.

„An unserem LiXEdrom erreichen wir in der Flüssigkeitskammer ein Vakuum von bis zu 10^{-6} Millibar und wir können

nun sowohl Absorptions- als auch Emissionsmessungen durchführen, sodass wir noch genauere Informationen zum Strukturaufbau eines Stoffes bekommen“, erklärt Emad Aziz. Außerdem sind nun auch die Elemente zugänglich, deren Absorptions- und Emissionsenergien im Energiebereich der Membranmaterialien liegen, die sich bei Messungen mit Membran im Spektrum also überlappen würden. Mit Kohlenstoff und Stickstoff sind das genau die Elemente, die für biologische Proben wichtig sind. „Eine weitere Besonderheit des LiXEdroms ist der Gitterhalter basierend auf dem Revolverprinzip, wodurch vier verschiedene Gitter im Spektrometer in den Strahlengang gefahren werden können und damit einen Energiebereich von 20 bis 1000 Elektronenvolt abdecken“, erklärt Dr. René Könnecke, verantwortlich für das Design des LiXEdroms.

Bei ihren ersten Messungen konnte die Gruppe zeigen, dass sie mit ihrem LiXEdrom eine vergleichbare Energieauflösung erzielen können wie die neuesten High Resolution XES Spektrometer. Für Wasser konnten sie nachweisen, dass bisherige Ergebnisse nicht von störenden Membraneffekten überlagert werden. Des Weiteren untersuchten sie die elektronische Struktur von Nickel-Ionen frei von der Gefahr, dass Ablagerungen an der Membranwand das Ergebnis verfälschen. Für viele Anwendungen, etwa bei der Untersuchung von Proteinen, ist dies ein entscheidender Fortschritt, um verlässliche Aussagen zum Strukturaufbau zu bekommen. cn

Chem. Phys. (DOI 10.1016/JChemPhys.2010.08.023): High Resolution X-ray Emission Spectroscopy of Water and Aqueous Ions Using the Micro-Jet Technique, K.M. Lange et al.

Physical Chemistry Chemical Physics (DOI: 10.1039/b924245g): On the enzymatic activity of catalase: an iron L-edge X-ray absorption study of the active centre, N. Bergmann, S. Bonhommeau, K. M. Lange, S. M. Greil, S. Eisebitt, F. de Groot, M. Chergui and E. F. Aziz



Der Elektronenspeicherring am Standort Berlin-Adlershof. Hier können die Nutzer ihre Experimente mit der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II durchführen – fast 5000 Stunden pro Jahr.

Die Forschung nach leistungsfähigeren und zugleich günstiger herzustellenden Solarzellen ist einer der Forschungsschwerpunkte des HZB. Zugleich ist es das Gebiet, auf dem die meisten Kooperationen geschlossen werden und zahlreiche Patente beruhen.

ZAHLEN UND FAKTEN AUS DEM HZB

Im jüngsten Fortschrittsbericht des Helmholtz-Zentrums Berlin, mit dem es gegenüber der Helmholtz-Gemeinschaft Rechenschaft ablegt, wurden viele aufschlussreiche Zahlen über die Arbeit der Wissenschaftler veröffentlicht.

4962

Stunden wurde die Speicherringanlage BESSY II im Jahr 2009 für Nutzer betrieben. Damit konnten 7294 Schichten je 8 Stunden an 28 Insertion-Device-Messplätzen (ID) und 4823 Schichten an 16 Ablenk magnet-Messplätzen (BM) genutzt werden. Dabei wurden über 1250 Nutzer aus etwa 480 Nutzergruppen in mehr als 800 Messkampagnen bedient.

18

Prozent beträgt der Frauenanteil beim 493 Mitarbeiter umfassenden wissenschaftlichen Personal am HZB. Nimmt man die 59 Stellen beim Verwaltungs-, technischen und sonstigen Personal hinzu, erhöht sich der Frauenanteil auf 20 Prozent.

166

Kooperationen unterhielt das HZB Ende 2009 mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen.

473

ISI-zitierte Publikationen wurden 2009 von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am HZB veröffentlicht. Dazu kamen weitere 107 referierte Publikationen, darunter auch die in den Programmen getrennt ausgewiesene Anzahl von Büchern und Buchbeiträgen.

102

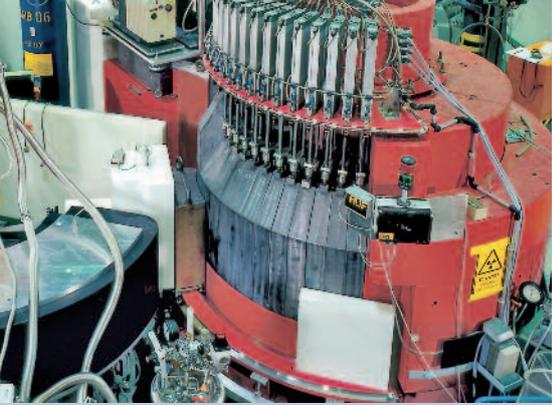
Doktoranden wurden 2009 vom HZB betreut.

27

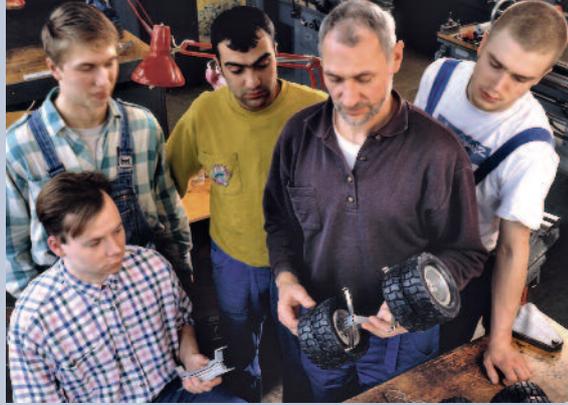
Patente wurden dem HZB 2009 erteilt. Der Schutzrechtsbestand des HZB umfasste 348 Schutzrechte zum Jahresende 2009, davon 207 erteilte Patente. 70 Schutzrechte, also etwa ein Fünftel des Schutzrechtsbestandes, sind Gegenstand laufender Lizenzverträge.

19,271

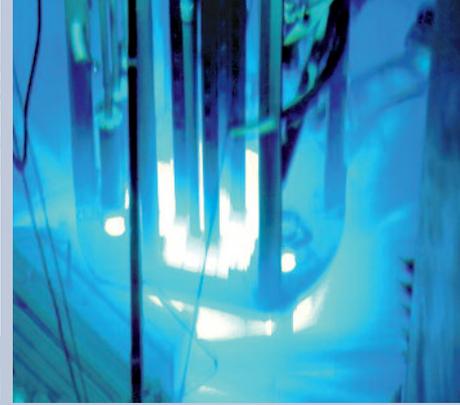
Millionen Euro an Drittmittelträgen konnte das HZB 2009 verbuchen. Darin sind sonderfinanzierten Projektmittel für BER II in Höhe von 849.000 Euro bzw. 1,203 Millionen Euro für BESSY II enthalten.



Die beiden Großgeräte des HZB – im Bild die Experimentierhalle am Forschungsreaktor BER II – locken jedes Jahr zahlreiche Wissenschaftler aus aller Welt nach Berlin.



Das Helmholtz-Zentrum Berlin legt großen Wert auf die Ausbildung von Jugendlichen und jungen Erwachsenen in den verschiedensten Bereichen – hier wird angehenden Feinmechanikern ein Bauteil erklärt.



Der Forschungsreaktor BER II wird seit Herbst 2010 umgebaut. 2009 stand er den Wissenschaftlern 182 Tage für Experimente mit Neutronen zur Verfügung.

7,879 Millionen Euro nahm das HZB 2009 aus dem Technologietransfer ein. Rund zwei Millionen Euro stammten aus Forschungs- und Entwicklungs-Kooperationen mit Wirtschaftsunternehmen aus dem In- und Ausland, rund 4,45 Millionen Euro aus anderen FuE-Kooperationen. Aus Infrastrukturverträgen stammten weitere 1,39 Millionen Euro.

59 Kooperationen ist das HZB allein im Jahr 2009 mit Unternehmen neu eingegangen. Damit erhöhte sich die Gesamtzahl der laufenden Kooperationen mit der Industrie von 112 im Vorjahr auf 128. Davon entfielen neun Prozent auf Kooperationen mit Unternehmen aus dem Ausland und 50 Prozent auf Kooperationen mit kleinen und mittleren Unternehmen (KMU).

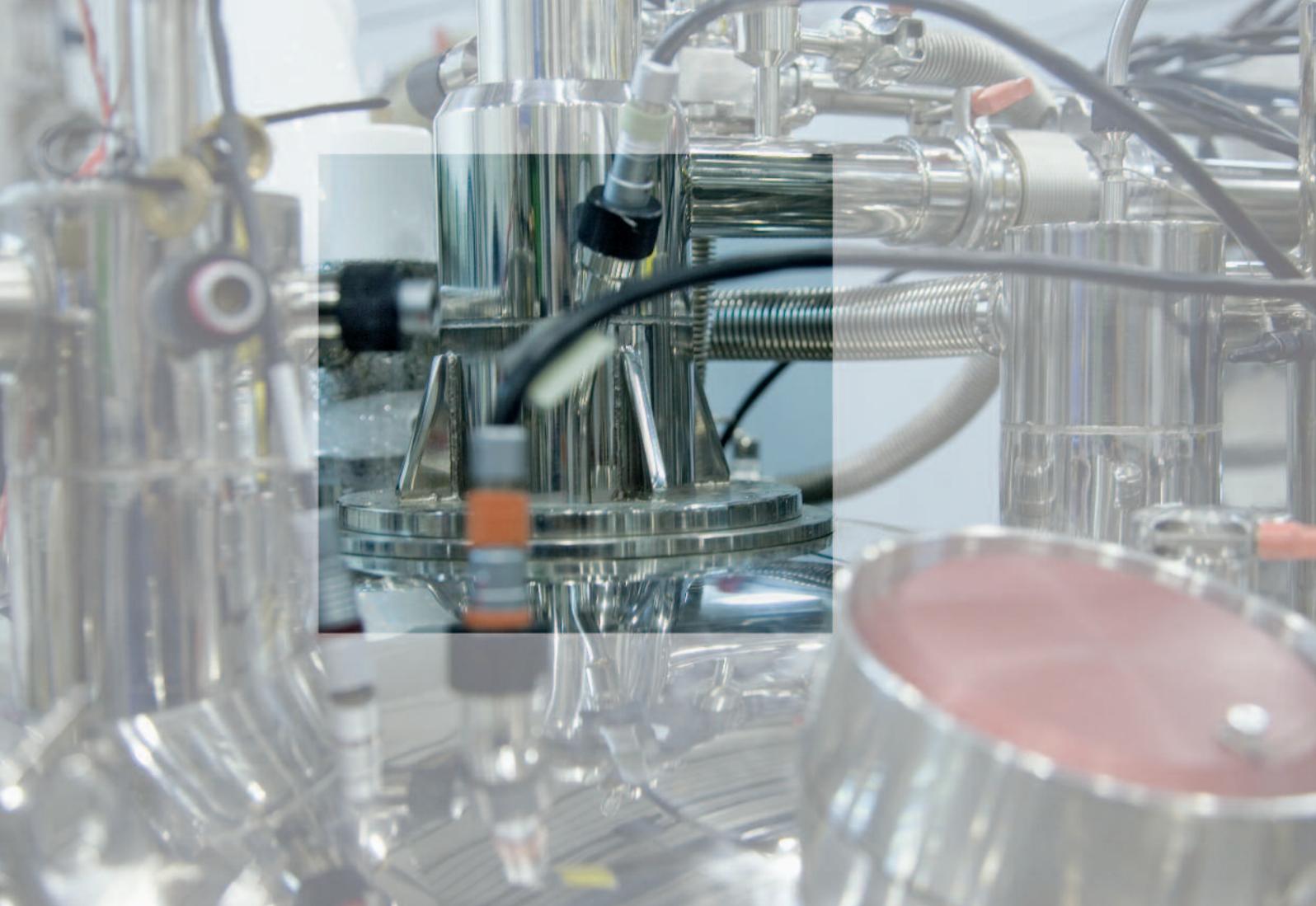
17,5 Prozent betrug 2009 die HZB-interne Nutzung der Strahlzeit an BESSY II. Während an den Insertion-Device-Messplätzen jede fünfte Schicht selbst genutzt wurde, war es an den Ablenkmagnet-Messplätzen knapp jede zehnte Stunde.

182 Tage mit 9 Reaktorzyklen war der Forschungsreaktor BER II im Jahr 2009 auf Leistungsbetrieb. Damit standen an den 14 Instrumenten entsprechend 2548 Instrumententage für den regulären Nutzerbetrieb zur Verfügung. Davon gingen 303,5 Tage für Instrumentierung und Wartung sowie 163 Tage durch den Ausfall eines Instruments verloren, so dass unter dem Strich 2081,5 Instrumententage für Experimente genutzt werden konnten. Auf das Kalenderjahr hochgerechnet stand der Reaktor 50 Prozent des Jahres zur Verfügung und konnte zu 41 Prozent genutzt werden.

69

Jugendliche und junge Erwachsene befanden sich Ende 2009 am HZB in Ausbildung, darunter 17 Studierende, die den Bachelor of Science (BA) in den Bereichen Technische Informatik (12), Maschinenbau (4) und Sicherheitswesen, Vertiefung Strahlenschutz, anstrebten. Zudem bildet das HZB weit über den eigenen Bedarf hinaus junge Menschen in zehn Ausbildungsberufen aus, darunter 19 Feinwerkmechaniker und fünf Elektroniker für Betriebstechnik. Im Geschäftsjahr 2009 hat das HZB insgesamt 25 neue Ausbildungsverträge mit Auszubildenden abgeschlossen und einen Ausbildungsplatz im Rahmen eines Ausbildungsverbundes mit dem Geo-Forschungs-Zentrum Potsdam besetzt.

329 Grund- und Oberschüler sowie 57 Studenten und 90 Lehrer nahmen im Jahr 2009 an Veranstaltungen und ganztägigen Projekttagen des Schülerlabors teil. In der Schüler AG beschäftigen sich im Schnitt 12 Schüler pro Woche mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen. Die AG wird 38 Wochen im Jahr angeboten.



KOOPERATIONEN

Das Helmholtz-Zentrum Berlin arbeitet nicht nur eng mit den Universitäten und Fachhochschulen in der Region Berlin-Brandenburg zusammen, sondern kooperiert auch überregional mit rund 400 Partnern in deutschen und internationalen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Gemeinsame Forschung ist dabei nur eine von vielen Formen der Kooperation. So gelang Forschern des HZB in Zusammenarbeit mit Kollegen der französischen Grundlagenforschungsorganisation CNRS ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Entwicklung noch effizienterer Datenspeicher. Eine andere Form der Kooperation ist der gemeinsame Betrieb von Instrumenten an den Großgeräten. Die Partner werden damit in die Nutzerbetreuung

eingebunden und erhalten gleichzeitig einen besseren Zugang zu den Großgeräten. Seit 2010 betreibt das HZB gemeinsam mit vier Berliner Institutionen das Labor für makromolekulare Kristallographie (MX-Labor) am Elektronenspeicherring BESSY II. Dies trägt dazu bei, dass sich die verschiedenen Berliner Forschergruppen der Strukturbio-logie noch enger vernetzen und gemeinsam an unterschiedlichen wissenschaftlichen Fragestellungen arbeiten. Zu den ältesten Kooperationen gehört die Zusammenarbeit mit der Charité Berlin. Im Rahmen der Augentumorthherapie am Protonenstrahl des HZB konnten bislang über 1600 Patienten abschließend bestrahlt werden.

Mehr zu den Kooperationen des HZB lesen Sie auf den folgenden Seiten.

EIN GERÄT – ZWEI MESSMETHODEN

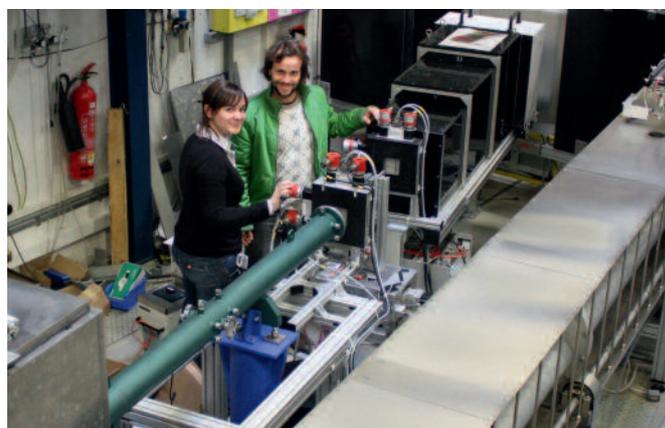
Mit dem **Bioreflektometer**, kurz „BioRef“ genannt, hat die Universität Heidelberg ein neues Messgerät am Forschungsreaktor BER II entwickelt.

Implantate wie künstliche Gelenke können verträglicher werden, wenn sie mit einer Lipidschicht überzogen werden. Lipide sind zum Beispiel Bestandteile von Zellmembranen. Wie es gelingen kann, dass sie auf Implantaten haften, und wie sie sich unter körperspezifischen Temperaturen, Drücken und Chemikalien verhalten, das wollen Forscher um apl. Prof. Dr. Reiner Dahint und Prof. Dr. Michael Grunze von der Universität Heidelberg verstehen. Die Untersuchung solcher sogenannter weicher Materie stellt immer noch eine Herausforderung dar. Aufgrund ihrer Konsistenz ist sie vielen gängigen Methoden, die zum Beispiel Vakuumbedingungen erfordern, nicht zugänglich.

Gemeinsam mit Prof. Dr. Matthias Ballauff und Dr. Roland Steitz vom Institut für weiche Materie und funktionale Materialien am Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) und mit Fördermitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung haben die Forscher von der Uni Heidelberg ein neues Messgerät entwickelt, das auf biologische Proben spezialisiert ist. „BioRef“ steht an der Berliner Neutronenquelle BER II und kombiniert die Neutronen-Reflektometrie mit der in-situ Infrarot-Spektroskopie. „Beide Methoden ergänzen sich hervorragend, so dass wir ein vollständigeres Bild der Proben bekommen“, sagt Dr. Markus Strobl. Er hat das Gerät von Seiten der Uni Heidelberg maßgeblich mit entwickelt und betreut es nun in Diensten des HZB.

Kombination zweier Methoden

Mit der Neutronen-Reflektometrie lassen sich Schichtdicken sehr präzise vermessen. Neutronen sind hierfür bei weicher Materie besser geeignet als Röntgenstrahlen, weil sie besonders sensitiv für die leichten Elemente wie Wasserstoff sind, die in vielen biologischen Materialien vorkommen. Die Infrarot (IR)-Spektroskopie nutzt Licht im Bereich unsichtbarer infraroter Wellenlängen. Damit ist es möglich, die innere Struktur von Molekülen zu bestimmen und zu erkennen, wie bestimmte Moleküle an Oberflächen binden, wie sich Proteine entfalten oder wie sich Moleküle verändern, wenn ein Material von der flüssigen in eine gelartige Phase übergeht. Dass beide Methoden gleichzeitig an derselben Probe eingesetzt werden, ist das eigentlich Neue an BioRef. Da biolo-



Seit kurzem steht den Wissenschaftlern am HZB das neue Bioreflektometer im regulären Nutzerdienst für Experimente zur Verfügung.

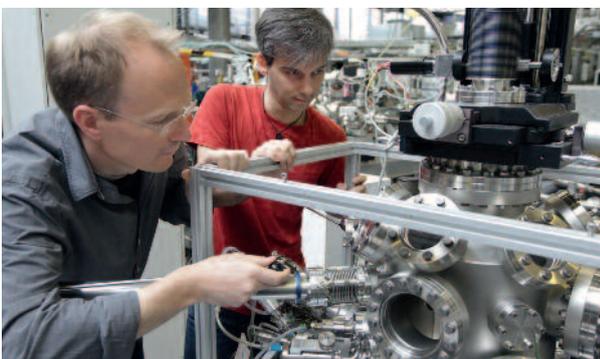
gische Proben durch Messungen oft verändert oder gar zerstört werden können, hat das einen wichtigen Vorteil: „Die Ergebnisse sind wesentlich besser vergleichbar, als wenn nacheinander zwei gleichartig präparierte Proben vermessen werden, die doch nie so ganz identisch sind“, sagt Strobl. In der Messzelle fallen Neutronen- und IR-Strahlung senkrecht aufeinander ein. Umgebungsbedingungen wie Druck und Temperatur lassen sich variieren. Ein weiterer entscheidender Vorteil des neuen Gerätes ist, dass die Auflösung, also die Genauigkeit der Messung, gut und schnell an die jeweilige Aufgabenstellung angepasst werden kann. „Wenn eine Messung nicht die höchste Auflösung erfordert, kann sie so erheblich schneller durchgeführt werden“, erläutert Strobl.

Begonnen wurde das Projekt im Sommer 2007 mit einer Planungs- und Berechnungsphase. Im Jahr darauf begannen die Aufbauarbeiten in der Neutronenleiterhalle in Berlin-Wannsee. „Seit Sommer 2010 haben bereits erste Forschergruppen, die wir zu Probemessungen eingeladen haben, das System getestet – mit sehr positiver Resonanz“, wie Strobl betont. Die Heidelberger Wissenschaftler und das HZB haben BioRef mittlerweile in den regulären Nutzerbetrieb übergeben können. ud

HAND IN HAND ZUM SUPERSPEICHER

Deutsche und französische Wissenschaftler forschen gemeinsam an **Computerarbeitsspeichern** der nächsten Generation.

Die Zeit der Einzelkämpfer in der Wissenschaft ist vorbei. Wichtige Fortschritte sind meist das Ergebnis einer intensiven Kooperation von Forscherteams – häufig aus verschiedenen Fachdisziplinen und über Ländergrenzen hinweg. Oft spielen dabei persönliche Beziehungen eine entscheidende Rolle. So auch bei einem Projekt, in dem Wissenschaftler am Institut für Komplexe magnetische Materialien des HZB mit Forscherkollegen der französischen Unité Mixte Physique CNRS/Thales in Palaiseau bei Paris zusammenarbeiteten. Ziel des Projekts war es, eine einfache und energiesparende Steuerung für MRAM-Speicher zu entwickeln. Das Kürzel MRAM steht für Magnetoresistive Random Access Memory und damit für eine Speichertechnologie, die auf dem magnetischen Tunnelwiderstand (Tunnel Magneto Resistance, TMR) basiert. Dieser physikalische Effekt tritt in bestimmten elektronischen Bauteilen auf: Sie bestehen aus zwei ferromagnetischen und metallischen Materialschichten, die als elektrische Kontakte dienen und durch einen wenige Nanometer dünnen Isolator getrennt werden. Wird eine elektrische Spannung angelegt, hindert der Isolator die Elektronen daran, sich zwischen den magnetischen Schichten zu bewegen. Ein quantenmechanischer Effekt – der sogenannte Tunneleffekt – sorgt aber dafür, dass einige Elektronen die Barriere überwinden können. Sie „durchtunneln“ die Isolatorschicht.



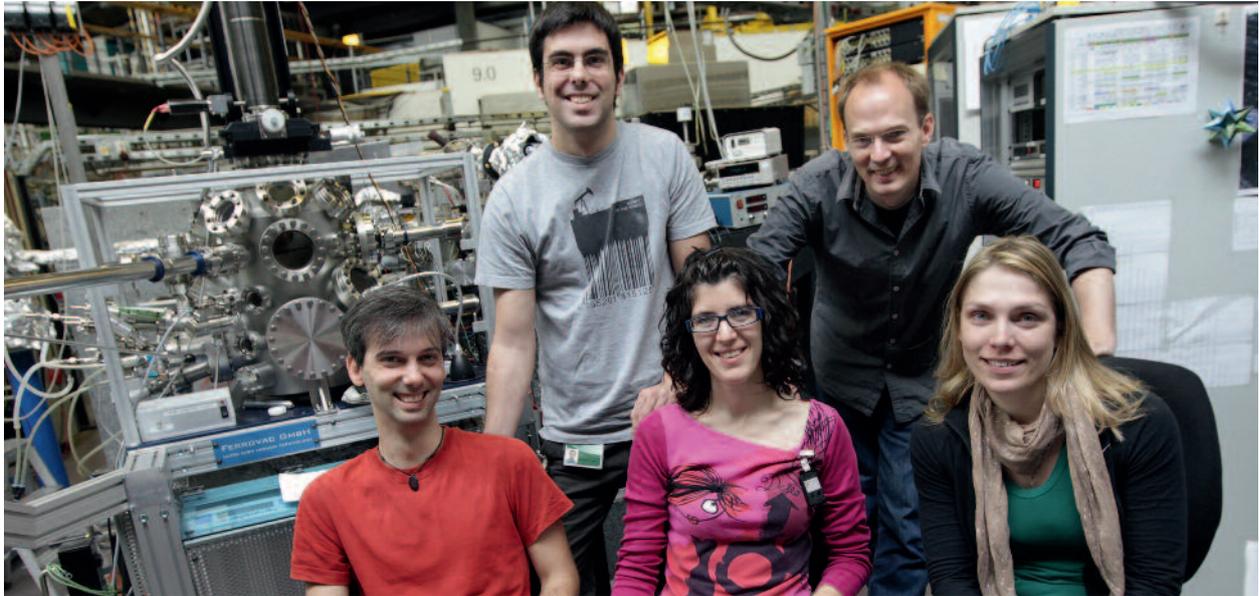
Dr. Florian Kronast (li.) und Dr. Sergio Valencia an der Beamline zur Röntgenabsorptionsspektroskopie.

Entscheidend dafür sind die Spins – die magnetischen Momente – der Elektronen in den ferromagnetischen Kontakten: Den Teilchen gelingt nur dann der Sprung von einer Schicht in die andere, wenn die Spins dort die gleiche Orientierung haben. Sind die Spins in den beiden ferromagnetischen Werkstoffen dagegen unterschiedlich ausgerichtet, fließt nur ein sehr schwacher Tunnelstrom. Mithilfe eines äußeren Magnetfelds lässt sich die Orientierung der Spins – die Spin-Polarisation – in den ferromagnetischen Schichten verändern. Dadurch variiert der Widerstand des TMR-Bauteils. In den Schreib- und Leseköpfen moderner Festplattenlaufwerke wird dieser Effekt genutzt. Auch MRAM-Speicher basieren auf dem magnetischen Tunnelwiderstand. Sie sollen künftig als schnelle Arbeitsspeicher für Computer dienen, die Daten auch noch nach dem Abschalten des PCs speichern können. Die Zustände „Spin parallel“ und „Spin antiparallel“ entsprechen darin den binären Ziffern „null“ und „eins“, die die Daten kodieren.

Umschaltung des magnetischen Tunnelwiderstands

Der Nachteil: Zum Umlagerieren der Spins sind Magnetfelder erforderlich, die viel Energie verzehren. Ein Ausweg besteht darin, den magnetischen Tunnelwiderstand elektrisch zu steuern. Diesen Ansatz nutzten die beiden CNRS/Thales-Forscher Dr. Vincent Garcia und Dr. Manuel Bibes. Sie ersetzen den Isolator eines TMR-Elements durch eine kristalline Schicht aus Bariumtitanat – einem ferroelektrischen Material mit einer spontanen elektrischen Polarisation. Sie entsteht durch die Verschiebung von Ionen im Kristall und lässt sich durch ein elektrisches Feld beeinflussen. Das wirkt sich auch auf die Orientierung der Elektronenspins in den angrenzenden magnetischen Schichten aus – und ermöglicht es, den magnetischen Tunnelwiderstand umzuschalten.

Das Bariumtitanat wurde an der englischen Universität Oxford hergestellt. Die Wissenschaftler um Garcia und Bibes formten daraus mithilfe von Nanostrukturierungsmethoden eine dünne Schicht, die sie mit zwei magnetischen Kontakten aus Eisen und einer Manganoxid-Verbindung verbanden. Die Struktur und chemische Zusammensetzung dieses



Dr. Sergio Valencia (li. unten) und Dr. Florian Kronast (re. oben) mit einer Nutzergruppe.

TMR-Elements galt es zunächst zu analysieren – eine Aufgabe, die Dr. Sergio Valencia und Dr. Florian Kronast am HZB übernahmen. Die beiden Berliner Forscher untersuchten die Materialien mithilfe der Röntgenabsorptionsspektroskopie. Ihre Resultate trugen maßgeblich zum Verständnis der Grenzschichten zwischen den verschiedenen Werkstoffen und der dort ablaufenden Prozesse bei – die Voraussetzung für eine elektrische Steuerung des TMR-Effekts und die Herstellung verbesserter Bauteile.

Ausgangspunkt für die Zusammenarbeit war ein enger persönlicher Kontakt zwischen Sergio Valencia und Manuel Bibes. „Wir kennen uns bereits seit rund zehn Jahren und sind in dieser Zeit gute Freunde geworden“, sagt der aus Spanien stammende Valencia, der 2002 ans HZB kam. Bibes und er hatten sich während ihrer Promotion in Barcelona kennen gelernt. „Wir forschten einige Zeit gemeinsam am dortigen Institut für Materialwissenschaft, bevor ich nach Berlin wechselte“, berichtet Valencia. Der Franzose Bibes ging später von Barcelona zurück nach Frankreich. Ihre privaten und beruflichen Bande ließen die beiden Physiker aber nie abreißen – und sie suchten nach Möglichkeiten einer Kooperation, in der sie ihre wissenschaftlichen Interessen vereinen konnten. Das Forschungsprojekt an der Unité Mixte Physique CNRS/Thales bot dazu eine ideale Gelegenheit: Während das Team dort stark auf dem Gebiet der Spintronik ist, besitzen die HZB-Forscher große Kompetenz bei der Charakterisierung komplexer Materialien. „Diese Chance haben wir am Schopf gepackt“, schmunzelt Sergio Valencia.

Bürokratische Hürden standen der Kooperation nie im Weg, schwärmt der Wissenschaftler: „Von Anfang an lief alles reibungslos, und wir wurden von beiden beteiligten Institutionen nach Kräften unterstützt.“ Entsprechend positiv fiel

das Resultat der gemeinsamen Experimente aus: Den Forschern um Garcia und Bibes gelang es mit Unterstützung aus Berlin erstmals, die Spin-Polarisation in einem MRAM-Speicher per elektrischem Feld zu schalten. Der Energiebedarf ist dafür viel geringer als bei der Steuerung des Tunnelwiderstands durch ein Magnetfeld. „Das Tor für den Bau von Arbeitsspeichern, die auf diesem Effekt basieren, ist damit weit aufgestoßen“, freuen sich Sergio Valencia und sein Kollege Florian Kronast.

MRAM-Speicher arbeiten nicht bei Raumtemperatur

Bis elektrisch gesteuerte MRAM-Speicher in PCs Einzug halten, wird es aber noch etwas dauern. „Das Problem ist, dass die bislang verwendete Manganit-Schicht ihre magnetischen Eigenschaften bei Raumtemperatur verliert“, sagt Sergio Valencia. Daher liefen die Experimente bislang bei tiefen Temperaturen von wenigen Grad über dem absoluten Nullpunkt. Um die Bauteile fit für einen Einsatz bei normalen Umgebungsbedingungen zu machen, wollen Valencia und Manuel Bibes die Kooperation nun fortführen und intensivieren. Dazu haben die Forscher aus Frankreich und Berlin eine weitere Förderung des Projekts beantragt. Das soll zu neuartigen elektrisch kontrollierten Speichern führen, die Daten sowohl schnell und energiesparend als auch nicht-flüchtig und in hoher Dichte aufnehmen lassen – und die damit die Vorteile von herkömmlichen Arbeitsspeichern und Festplatten in sich vereinen.

rb

Science, DOI: 10.1126/science.1184028: Ferroelectric control of spin polarization, V. Garcia, M. Bibes, L. Bocher, S. Valencia, F. Kronast, A. Crassous, X. Moya, S. Enouz-Vedrenne, A. Gloter, D. Imhoff, C. Deranlot, N. D. Mathur, S. Fusil, K. Bouzouane and A. Barthélémy

MX-LABOR – ZWEI BEAMLINES FÜR FÜNF PARTNER

Fünf Partnerinstitute arbeiten seit einem Jahr gemeinsam am Elektronenspeicherring BESSY II im **Joint Berlin MX-Laboratory**, dem Labor für makromolekulare Kristallographie.

Kooperationen sind in der Wissenschaft heute gang und gäbe, doch dass sich gleich fünf Partner zusammenschließen, ist immer noch die Ausnahme. Deshalb lud das Helmholtz-Zentrum Berlin am 1. März 2010 zu einem besonderen Festakt, um die Einweihung des gemeinsamen MX-Labors zusammen mit den vier Partner-Instituten Freie Universität Berlin, Humboldt-Universität Berlin, Max-Delbrück Centrum in Berlin-Buch und Forschungsinstitut für Molekulare Pharmakologie in Berlin-Buch offiziell zu feiern.

Im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung hielt die israelische Nobelpreisträgerin für Chemie von 2009, Prof. Dr. Ada Yonath vom renommierten Weizman Institute of Science in Rehovot, einen Festvortrag zum Thema „The Stunning Ribosome Architecture and Hints about its Origin“. Einblicke in außergewöhnliche Phänomene der Strukturbio- und vor allem in den Aufbau von Proteinen zu gewinnen, ist auch das Ziel

des MX-Labors, das am Elektronenspeicherring BESSY II eingerichtet wurde. Drei Experimentierplätze wurden speziell für die Untersuchung von makromolekularen biologischen Proben aufgebaut und optimiert. Im Rahmen der Kooperation stellt das HZB zwei seiner drei Kristallographie-Messplätze zur Verfügung, die von den beteiligten Partner-Instituten umfangreich genutzt werden können. „Die Beamlines 14.2 und 14.3 stehen auch kurzfristig für Experimente bereit“, erläutert Dr. Uwe Müller, Gruppenleiter der Arbeitsgruppe für Makromolekulare Kristallographie am HZB. Außerdem können die Partner künftig am Ausbau und der weiteren Entwicklung der Beamlines mitwirken. So wurde 2010 für die Beamline 14.3 eine Dehydrierungsmaschine für Kristalle angeschafft. Für das HZB hat die Kooperation den Vorteil, an unterschiedlichen wissenschaftlichen Fragestellungen unter Verwendung der hauseigenen Messstationen mitarbeiten zu können. „Die Partner-Institute stellen dafür geeignete Mitarbeiter zur Verfügung, die einen Teil ihrer Tätigkeit am HZB erbringen und die dort forschenden



Prof. Dr. Ada Yonath



Die Geschäftsführerinnen und Geschäftsführer der fünf Partnerinstitute sowie Gastrednerin Prof. Dr. Ada Yonath gaben gemeinsam das Startsignal für das neue MXLabor in Berlin.

Wissenschaftler im Rahmen gemeinsamer Projekte unterstützen“, berichtet Uwe Müller.

Einblick in Proteinstrukturen gewinnen

Jeder Mensch hat rund 200.000 verschiedene Proteine im Körper, ohne die viele lebenswichtige biologische und chemische Prozesse nicht ablaufen könnten: Proteine aktivieren als Botenstoffe Prozesse im Nervensystem und sind als Antikörper wichtiger Teil des Immunsystems. Proteine setzen sich aus über 100 Aminosäuren zusammen, deshalb klären Wissenschaftler zunächst deren räumliche Anordnung auf. Um daraus Rückschlüsse auf die Funktion des Proteins zu ziehen, untersuchen Forscher die Proteine dann auf atomarer Ebene. Das intensive Röntgenlicht aus der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II eignet sich dafür ideal, denn mit ihm können die Wissenschaftler die Moleküle von Atom zu Atom vermessen. Diese Methode nennt man Kristallographie. Dafür züchten die Forscher zunächst in sich symmetrische Kristalle aus Billionen von identischen Proteinmolekülen und beschießen sie anschließend mit dem Synchrotronstrahl von BESSY II. Damit erhalten sie auf Detektoren ein sogenanntes Streubild. Es zeigt eine Vielzahl von Punkten aus denen sich, mit Hilfe einer mathematischen Operation, die Proteinstruktur rekonstruieren lässt.

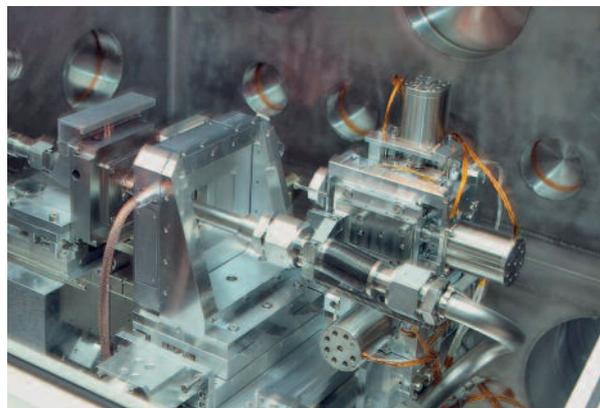
Mit dieser Methode bestimmten die Forscher gemeinsam mit Wissenschaftlern der FU Berlin im Januar 2003 die erste Proteinstruktur an den Beamlines von BESSY II. 2011 konnte bereits die 500ste dort entschlüsselte Struktur in der internationalen „Proteine Data Bank“ deponiert werden. Um künftig noch mehr Proteine darstellen und andere strukturelle Erkenntnisse gewinnen zu können, soll das MX-Labor die in Berlin vorhandene Kompetenz auf dem

Gebiet der makromolekularen Kristallographie bündeln und wissenschaftliche Kooperationen initiieren und vertiefen. Allein im Großraum Berlin gibt es ein Dutzend Forschungsgruppen für die Proteinstrukturforschung. Auf dem ersten Joint Berlin MX-Day, der am 23. August 2010 stattfand und künftig jedes Jahr organisiert wird, konnten sich 78 Teilnehmer über die Projekte anderer Teams informieren und erste gemeinsame Erfahrungen austauschen. *cn*

MAXYMUS – NEUE EINSICHTEN MIT RÖNTGENBLITZEN

Das Stuttgarter Max-Planck-Institut für Metallforschung betreibt seit Oktober 2010 ein modernes **Rasterröntgenmikrospektroskop** am HZB.

Am 10. und 11. November 2009 weihte das Stuttgarter Max-Planck-Institut für Metallforschung (MPI-MF) im Rahmen des internationalen Workshops „New Frontiers in Soft X-Ray Microscopy“ sein neues Rasterröntgenmikrospektroskop MAXYMUS an der Berliner Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II ein. MAXYMUS steht für „MAGnetic X-raY Micro- and UHV SpectroscopE“. Das Besondere an diesem neuartigen Gerät sind seine Probenumgebung und sein breites Anwendungsspektrum, denn MAXYMUS ist für biologische, weiche und harte Materie geeignet und zählt zu den weltbesten Rasterröntgenmikroskopen. Man kann mit ihm im Ultrahochvakuum arbeiten, unterschiedlich starke magnetische Felder anlegen und dabei ultraschnelle Prozesse beobachten. „Zum ersten Mal können wir mit einem Röntgenrastermikroskop selbst mit Röntgenlicht nicht-durchstrahlbare Proben untersuchen, wodurch sich neue und aufregende Möglichkeiten ergeben“, erläutert Prof. Gisela Schütz, Direktorin der Abteilung „Moderne magnetische Materialien“ am MPI-MF. So können mit MAXYMUS strukturelle, chemische und magnetische Veränderungen an kleinsten Strukturen mit einer räumlichen Auflösung von unter 25 Nanometern und einer zeitlichen Auflösung von weniger als 10 Pikosekunden beobachtet werden. Nach der offiziellen Einweihung des Geräts begann für die Wissenschaftler die übliche Vorbereitung des Geräts auf seine Nutzung. So wurden in der ersten Jahreshälfte 2010 Spezifikationen abgenommen und Testläufe durchgeführt. „Wir haben einen komplett neuen Aufbau entwickelt, der es uns ermöglicht, dynamische Untersuchungen im Gigahertz-



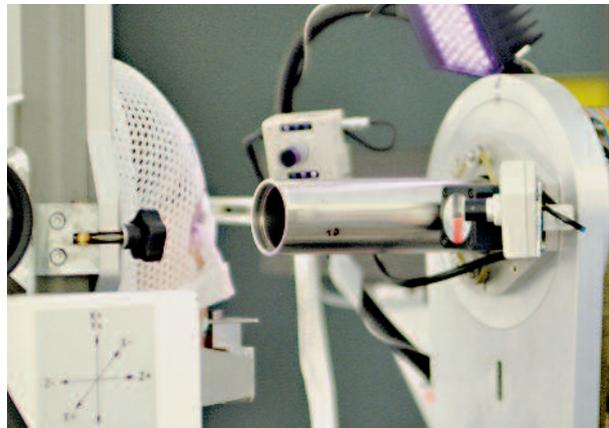
Das neue Rasterröntgenmikrospektroskop ist seit Kurzem im Nutzerbetrieb.

Bereich durchzuführen. Der erste Nutzerbetrieb begann daher erst im Oktober 2010“, sagt Dr. Eberhard Goering, der für das Gerät auf Seiten des MPI-MF verantwortlich ist. Im Rahmen ihrer Kooperation teilen sich das HZB und das MPI-MF die Aufgaben am neuen Gerät: Wartung und Betreuung von MAXYMUS erfolgen in enger Absprache. „Das HZB vergibt wie an anderen Geräten die Strahlzeit nach Bewertung der Anträge. Weil wir jedoch erhebliche Finanzmittel zur Verfügung stellen, stehen der Max-Planck-Gesellschaft 70 Prozent der Messzeiten zu, die ebenfalls über Anträge zugewiesen werden“, erläutert Goering. „Dabei gehen schon jetzt fast doppelt so viele Strahlzeitanträge ein als tatsächlich vergeben werden können“, so Goering weiter. *cn*

MEHR ALS 1600 PATIENTEN BEHANDELT

Das HZB kooperiert seit 1998 mit der Charité Berlin und liefert den **Protonenstrahl für die Augentumorthérapie**. Unter den behandelten Patienten war 2009 unter anderem ein Säugling mit einem Retinoblastom am linken Auge.

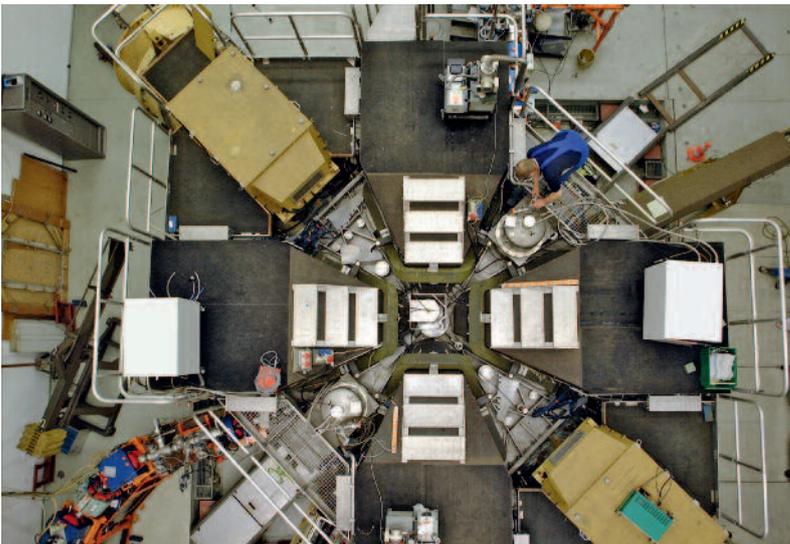
Der Anblick ging unter die Haut: Unter Vollnarkose und mit aufgesetzter Saugglocke, mit der der Blick über einen Stab künstlich gelenkt werden konnte, saß der neun Monate alte Junge auf dem eigens angefertigten Sitz vor dem Strahlrohr im Behandlungsraum des HZB. Vier Stunden dauerte die Vor- und Nachbereitung der nur wenige Sekunden dauernden Bestrahlung. „Wir hatten eine Gänsehaut als wir wussten, dass es geklappt hat“, berichtet Dr. Andreas Weber, Medizinphysiker der Charité Berlin. Die Behandlung des mit Abstand jüngsten Patienten war der außergewöhnlichste von bislang über 1600 Fällen in der langen Kooperation zwischen der Augenklinik und der Strahlentherapie der Charité am Campus Benjamin Franklin und dem HZB. Auf Berlin ruhen die Hoffnungen vieler der 500 bis 600 Menschen, die jedes Jahr in Deutschland an einem malignen Melanom der Aderhaut, einem bösartigen Augentumor, erkranken. Denn am HZB wird der Ionenbeschleuniger in Zusammenarbeit mit der Charité Berlin genutzt, um solche Augentumore mithilfe von Protonenstrahlen zu behandeln. Protonen sind die Kerne von Wasserstoffatomen und können



Die Bestrahlung dauert nur 30 Sekunden, die Vorbereitung eine halbe Stunde.

Tumore im Inneren des Augapfels zerstören, ohne das umliegende gesunde Gewebe wesentlich zu schädigen. Diese spezielle Art der Bestrahlung von Augentumoren ist bis heute eine in Deutschland einzigartige Therapiemöglichkeit, die weltweit auch an anderen Zentren mit großem Erfolg praktiziert wird.

Die Protonenbehandlung, die seit 2007 unter Federführung der Berliner Charité am HZB durchgeführt wird, erfordert von den Ärzten und Medizinphysikern Präzisionsarbeit. Um zu gewährleisten, dass der Teilchenstrahl genau den Tumor trifft, muss dieser gut vom gesunden Gewebe in dessen unmittelbarer Umgebung abgegrenzt sein. Der Augenarzt bestimmt daher zunächst mit Hilfe von Fotografien des Augenhintergrunds und mit Ultraschallaufnahmen die Lage, Ausdehnung und Form des Tumors. Während der Behandlung mit dem Protonenstrahl sitzen die Patienten in einem speziellen Behandlungsstuhl. Aufwendige Technik und die physikalischen Eigenschaften der Protonen sorgen dafür, dass der Protonenstrahl seine Wirkung fast nur im Tumor entfaltet. Die eigentliche Bestrahlung wird in der Regel an vier aufeinander folgenden Tagen durchgeführt und dauert jeweils rund 30 Sekunden.



Das Zyklotron des HZB ist Teil des Teilchenbeschleunigers, der den Protonenstrahl für die Augentumorthérapie liefert.

Ausreichende Kapazitäten

Die Augentumorthérapie am HZB rettet in den meisten Fällen das Auge des Patienten – ein entscheidender Pluspunkt im Vergleich zu anderen Therapien. Mehr als 1660 Patienten wurden bislang in Berlin behandelt und der Erfolg spricht für sich: In mehr als 97 Prozent der Fälle lässt sich der Tumor vollkommen zerstören. Zumeist wird damit nicht nur das Auge, sondern auch die Sehkraft in einem befriedigenden Maß erhalten. Und das selbst dann, wenn der Tumor sich in der Nähe eines empfindlichen Organs – wie dem Ort des schärfsten Sehens – befindet.

Im März 2010 ist Prof. Michael Foerster, der die Protonentherapie von Augentumoren auf medizinischer Seite in Berlin eingeführt und über Jahre erfolgreich betreut hat, in den Ruhestand gegangen. Prof. Antonia Jousen hat als Direktorin der Augenkliniken aller Charité Campi seine Nachfolge angetreten und ist bestrebt, die Therapie begleitende medizinische Grundlagenforschung weiter auszubauen. Die Kapazität des Beschleunigers am HZB ist auf jeden Fall ausreichend für alle Patienten in Deutschland, bei denen die Protonentherapie anderen Behandlungsformen überlegen ist. *cn*

HAND IN HAND FORTSCHRITTE ERZIELEN

Sieben gemeinsame Forschergruppen verstärken die Zusammenarbeit des HZB mit verschiedenen Universitäten. Ziel ist die beschleunigte Weiterentwicklung von Instrumenten und Methoden an den Großgeräten.

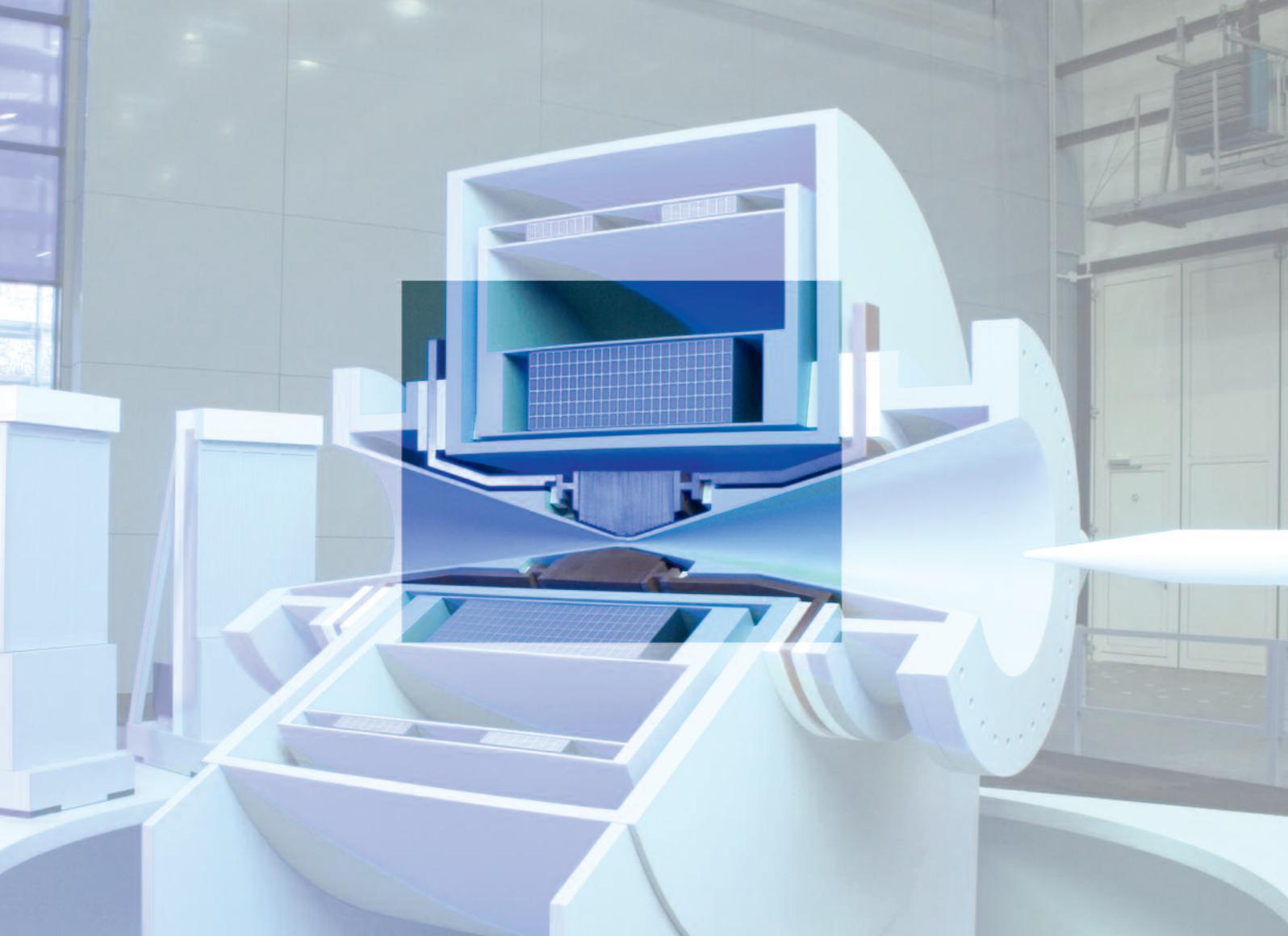
Nach der Fusion des ehemaligen Hahn-Meitner-Instituts und der Berliner Elektronenspeicherring – Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY) zum Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie Anfang 2009 wurde unter anderem das Helmholtz-Konzept der gemeinsamen Forschergruppen am HZB realisiert. Sie stellen eine besondere Art der Zusammenarbeit des HZB mit den beteiligten Universitäten dar. Ziel der gemeinsamen Forschergruppen ist es, das Know-how der Universitäten für das Helmholtz-Zentrum Berlin noch besser zu erschließen. Diese bringen ihre Kompetenzen bei der Nutzung der beiden Großgeräte und der Betreuung einzelner Instrumente ein, das HZB stellt die erforderliche Technik zur Verfügung und hilft bei der Finanzierung von wissenschaftlichem Nachwuchs. Durch die Arbeit der gemeinsamen Forschergruppen können die Großgeräte noch besser genutzt und neue Instrumente und bessere Methoden entwickelt werden. Grundlage für die bislang sieben gemeinsamen Forschergruppen (siehe Tabelle) ist jeweils ein Kooperationsvertrag zwischen dem HZB und der Universität. Die Gruppe wird zunächst für fünf Jahre installiert, und ihre Leitung wird nicht in einem gemeinsamen Berufungsverfahren gefunden, sondern einem Professor der Hochschule übertragen. Die Zusammenarbeit ist so gestaltet, dass ein Professor der Hochschule neben seinen Aufgaben an der Hochschule mit

einer kleinen, vom HZB finanzierten Gruppe das Forschungsprogramm des HZB unterstützt. Bei den gemeinsamen Professuren ist es genau umgekehrt.

Von den sieben zurzeit bestehenden gemeinsamen Forschergruppen arbeiten zwei an der Neutronenquelle BER II, vier an der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II und eine an der Neutronenquelle FRM II der TU München, wo sie die Betreuung des HZB-Instruments PANDA wahrnimmt. Die Pilotphase für die gemeinsamen Forschergruppen ist so angelegt, dass rechtzeitig vor Ende der jetzt laufenden Förderperiode die Effektivität dieser Form der Zusammenarbeit bewertet und über ihre Weiterführung entschieden werden kann.

Die gemeinsamen Forschergruppen am Helmholtz-Zentrum Berlin

Forschergruppe	Leiter	Hochschule
Molekulare Systeme (E-G1)	Prof. Dr. N. Koch	FU Berlin
Energiekatalyse (E-G2)	Prof. R. Schlögl	FUB / FHI
Neutronentomographie (G-G1)	Prof. Dr. W. Treimer	TFH Berlin
PANDA (M-G1)	Prof. Dr. M. Loewenhaupt	TU Dresden
Funktionale Nanomaterialien (F-G2)	Prof. Dr. S. Eisebitt	TU Berlin
Mikrostrukturanalyse (F-G3)	Prof. Dr. W. Theisen	Uni Bochum
Ultraschnelle Dynamik (F-G4)	Prof. Dr. M. Bargheer	Uni Potsdam



ZUKUNFTSPROJEKTE

Das Helmholtz-Zentrum Berlin betreibt den Forschungsreaktor BER II und den Elektronenspeicherring BESSY II. Diese Geräte und die damit verbundenen Instrumente, die Forscher aus aller Welt für Experimente nutzen, kontinuierlich zu verbessern und auszubauen, ist eine der wichtigsten Aufgaben der Wissenschaftler am HZB: Nur darüber kann das HZB auch in Zukunft attraktive Forschungsplätze anbieten. Deshalb befinden sich zurzeit eine Reihe wichtiger Projekte in der Realisierungsphase: Am Standort Berlin-Wannsee entsteht bis 2013 der mit einer Feldstärke von bis zu 30 Tesla weltweit stärkste Magnet für Neutronenexperimente. Technische Meilensteine, die der Forschung am

HZB zusätzlichen Schub verleihen, sind auch der Umbau der „kalten Quelle“ sowie das Flugzeitspektrometer NEAT, die derzeit realisiert werden. In Berlin-Adlershof soll in den nächsten fünf Jahren im Rahmen des Projekts *BERLinPro* ein supraleitender Linearbeschleuniger (Linac) entwickelt werden, der die Tür zu neuen Anwendungsbereichen aufstoßen wird. Das Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik Berlin (PVcomB) gilt ebenfalls als wichtiges Zukunftsprojekt des HZB und soll neuen Ideen im Bereich der Solarzellenentwicklung den Weg in die industrielle Umsetzung erleichtern.

Mehr zu unseren Zukunftsprojekten erfahren Sie auf den nächsten Seiten.

VORSTOSS IN NEUE TESLA-DIMENSIONEN

Mit dem neuen **Hochfeldmagneten**, der 2013 am HZB in Betrieb genommen werden soll, können Experimente mit einer Feldstärke von 25 bis 32 Tesla durchgeführt werden.

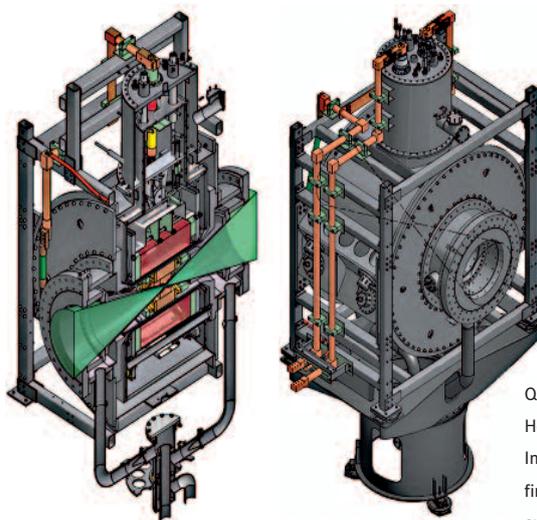
Experimente mit Neutronenstreuung in Kombination mit starken Magnetfeldern und tiefen Temperaturen sind eine besondere Stärke des Helmholtz-Zentrums Berlin. Nirgendwo sonst existiert mehr Know-how, um Proben innerhalb extrem starker Magnetfelder mit Neutronen zu beschießen und so aktuellsten Fragen aus der Wissenschaft nachzugehen. Mit Spannung erwarten die Forscher daher die Fertigstellung des weltweit stärksten Hochfeldmagneten für derartige Experimente der Strukturforschung – mit ihm werden sich am HZB Magnetfelder erzeugen lassen, die etwa eine Million Mal stärker als das Erdmagnetfeld sind.

Das Projekt wurde Anfang 2007 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung bewilligt und umfasst Investitionen von rund 20 Millionen Euro. „Mit dem Technikum wurde das neue Infrastrukturgebäude für Energieversorgung, Heliumkälteanlage und Wasserkühlung bereits im November 2010 fertig gestellt“, sagt der technische Projektleiter Dr. Peter Smeibidl: „Lieferung und Test der drei Komponenten sollen bis Ende 2011 abgeschlossen sein. Der Einbau des Hochfeldmagneten in der angrenzenden Neutronenleiterhalle soll bis März 2013 erfolgen, so dass erste Experimente damit bis Ende desselben Jahres stattfinden können.“

Der Hybridmagnet ist das Kernstück des Projekts. Er wird in Zusammenarbeit mit dem National High Magnetic Field Laboratory in Tallahassee/Florida entwickelt. Die Projektrealisierung erfolgt in mehreren Schritten. In Kombination mit einer supraleitenden Außenspule wird zunächst ein Magnetsystem mit einer resistiven 4-Megawatt Innenspule installiert, das Felder von 25 bis 26 Tesla ermöglicht. Durch den Austausch der Innenspule und der Erweiterung der dazu notwendigen Kühlanlage könnten später bei einer Anschlussleistung von 8 Megawatt Magnetfelder von 31 bis 32 Tesla erreicht werden.

Starke Magnetfelder für Experimente mit Neutronen

Die Erzeugung extrem starker Magnetfelder, so die Hoffnung der Wissenschaftler, wird das Tor zu neuen Erkenntnissen öffnen. Alle Stoffe, selbst scheinbar unmagnetische,



Querschnitt des Hochfeldmagneten: Im Magnetkonus (grün) finden die Neutronenexperimente statt.

reagieren auf Magnetismus. Deshalb gelten Magnetfelder neben Temperatur und Druck als Schlüsselparameter für Experimente – allerdings nur, wenn das Magnetfeld auch stark genug ist, um Wirkung zu erzielen. Experimente mit Neutronen und Neutronenstreuung wiederum sind ideal geeignet, um gerade diese magnetischen Materialstrukturen zu untersuchen, da auch Neutronen ein magnetisches Moment besitzen. Dieses wird wie eine Kompassnadel von einem Magnetfeld ausgerichtet. In der physikalischen Grundlagenforschung und auch in der Materialwissenschaft ist daher die Kombination aus Neutronen und starken Magnetfeldern bei Versuchen von großem Nutzen. Bislang ermöglicht keine Forschungseinrichtung Neutronenexperimente oberhalb eines Magnetfelds von 17 Tesla. Damit bleibt der Zugang zu vielen interessanten Phänomenen, die erst bei höheren Feldern eintreten, verwehrt. „45 Tesla ist die höchste Magnetfeldstärke, die bislang, allerdings nur in sehr kleinen Volumina, technisch erzeugt werden kann. Aufgrund der geometrischen Anforderungen die notwendig sind, um Experimente mit Neutronen durchzuführen, können wir in der letzten Ausbaustufe etwas über 30 Tesla erreichen“, so Peter Smeibidl. Damit würde das HZB weit in neue Dimensionen des Magnetismus für die Strukturforschung vordringen.

cn

KOMPAKTE ELEKTRONENPAKETE FÜR BRILLANTES LICHT

Mit dem **Projekt BERLinPro** soll unter Federführung des HZB in den nächsten fünf Jahren eine neuartige Beschleunigertechnologie weiterentwickelt werden.

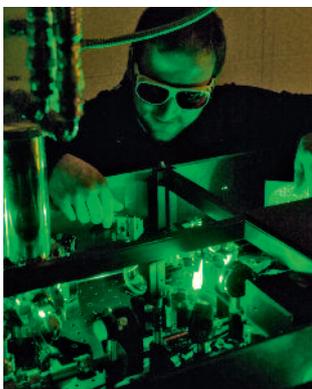
Am Ende der Beratungen stand ein einstimmiger Beschluss: Der Helmholtz-Senat, das oberste Entscheidungsgremium der Helmholtz-Gemeinschaft, votierte geschlossen für die Realisierung der strategischen Ausbauinvestition BERLinPro. Die Finanzierung des insgesamt 25 Millionen Euro schweren Vorhabens, an dem sich neben der Helmholtz-Gemeinschaft auch das Land Berlin und das HZB beteiligen, ist damit bis Ende 2015 sichergestellt. Mit dem Projekt BERLinPro verfolgt das HZB zusammen mit seinen Partnern in der Helmholtz-Gemeinschaft und aus aller Welt das Ziel, eine neuartige Beschleunigertechnologie weiterzuentwickeln und das Prinzip des „Energy Recovery Linac“ (ERL, deutsch: Linearbeschleuniger mit Energierückgewinnung) auf eine neue technologische Basis zu stellen.

Im Energy Recovery Linac Prototype werden Elektronenpakete in einem Injektor erzeugt und in einem langen, geraden und supraleitenden Linearbeschleuniger (Linac) beschleunigt. Die Elektronen werden dann durch Magnete, sogenannte Undulatoren, geführt und erzeugen dort Röntgenstrahlung wie in einer Synchrotronstrahlungsquelle, jedoch mit einer höheren Brillanz, da die Elektronenpakete im Linac kompakter bleiben als in einem Kreisbeschleuniger. Die Elektronenpakete werden kontinuierlich injiziert und laufen nach ihrem

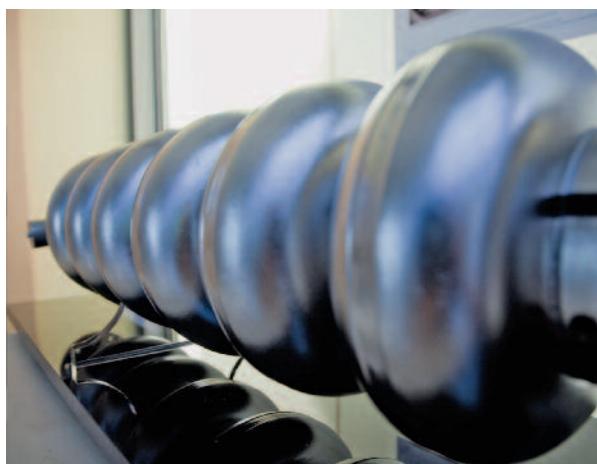
Umlauf wieder in den Linac zurück, wo sie abgebremst werden. Dadurch gewinnt man nahezu die gesamte Energie zurück, wodurch erst die Beschleunigung hoher Ströme möglich wird.

BERLinPro – hohe Ströme und kleine Emittanzen

Das ERL-Prinzip wurde weltweit bisher nur für Ströme bis zu 10 mA gezeigt. Im Rahmen von BERLinPro soll nun eine kompakte Anlage aufgebaut werden, die alle Schlüsselemente einer Hochstromquelle enthält.



Präzisionsarbeit – BERLinPro ermöglicht die Rückgewinnung der Energie, die in den Elektronenpaketen steckt.



Ein Modell des Linearbeschleunigers (Linac) mit supraleitenden Kavitäten.

Während der 2011 beginnenden Bauphase sollen sämtliche kritischen Komponenten entwickelt und erprobt werden – zum Beispiel die hochbrillante Elektronenquelle, supraleitende Beschleunigersektionen sowie Magnetsysteme zur Injektion und Strahlrückführung, ohne dass die Strahlqualität abnimmt. Bei bisher unerreicht hoher Strahlleistung und Brillanz sollen das ERL-Prinzip demonstriert und die Aspekte von Strahlstabilität, Kontrolle des Strahlverlusts und Flexibilität der Strahlparameter studiert werden.

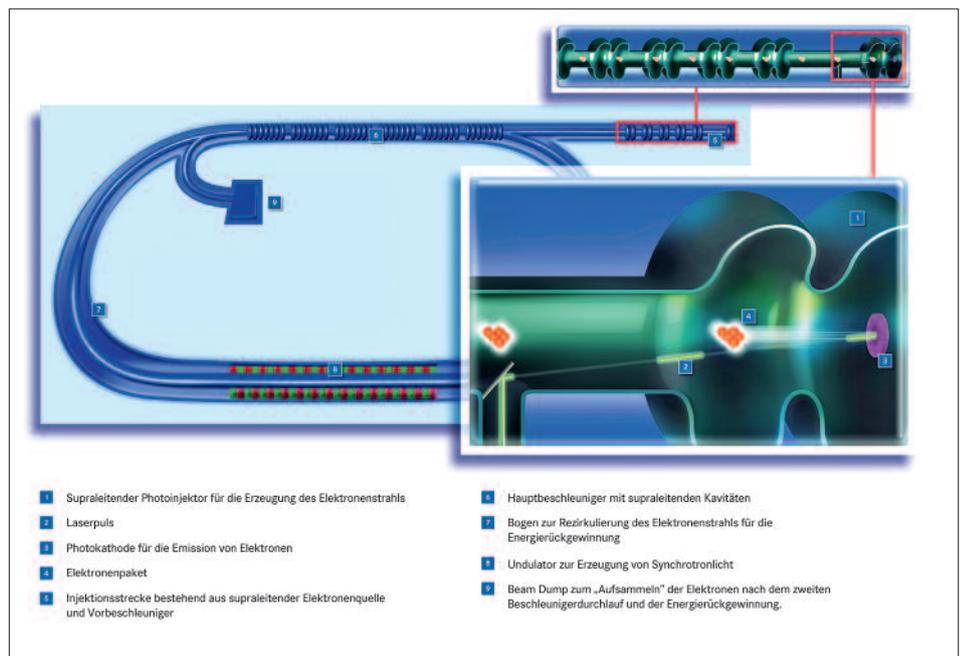
Im BERLinPro wird ein supraleitender Linearbeschleuniger einen Elektronenstrahl erzeugen, der in sogenannten Kavitäten beschleunigt wird – das sind Niob-Metallröhren, die mit flüssigem Helium auf eine Temperatur von zwei Kelvin (-271 Grad Celsius) und damit nur knapp über dem absoluten Nullpunkt gekühlt werden. Die tiefen Temperaturen sind Voraussetzung für den Betrieb des supraleitenden Beschleunigers, der die Elektronenpakete mit einer Rate von 1,3 Gigahertz erzeugt – und das unentwegt. Die durch die Beschleunigung erreichte Energie entspricht dem Durchlaufen einer Spannung von 100 Millionen Volt. Mit dieser Energie fliegen die Elektronen in ein Strahlführungssystem, das sie auf eine „Rennbahn“ zwingt. Von dort werden sie ein zweites Mal in den LINAC zum Abbremsen in-

jiziert. Auf dieser Strecke können Undulatoren eingebaut werden, in denen Synchrotronlicht erzeugt wird. Probleme entstehen dabei vor allem durch den Umstand, dass sich die Elektronenpakete aufgrund ihrer Ladung gegenseitig abstoßen und somit nicht mehr so kompakt bleiben. Die Elektronenoptik der Anlage muss sicherstellen, dass sich die Qualität der Elektronenpakete während des Umlaufs nicht ändert. Gleichzeitig sorgen die magnetischen Bauelemente der Anlage dafür, dass sich die umgelaufenen Pakete exakt zwischen zwei zu beschleunigenden Paketen im LINAC einfädeln – wie bei einem Reißverschluss.

BERLinPro soll nun zeigen, dass ein Elektronenstrahl höchster Intensität und Dichte durch dieses Strahlführungssystem geleitet und dann so zum Linearbeschleuniger zurück transportiert werden kann, dass die Elektronen dort im elektromagnetischen Feld abgebremst werden und ihre Energie an das Feld zurückgeben. Die zurück gewonnene Energie des Strahls steht dann zur Verfügung, um einen frisch erzeugten Elektronenstrahl zu beschleunigen – der wiederum die gleichen exzellenten Parameter aufweist wie der Strahl aus dem Umlauf zuvor.

Grundlage für neue Anwendungsmöglichkeiten

Gelingt BERLinPro, werden die Leistungsparameter von ERLs um Größenordnungen gesteigert. Für die Wissenschaftler kommt es bei der ERL-Technologie vor allem darauf an, in Synchrotronquellen kurze, hochbrillante Lichtpulse bei sehr hohen Strömen zu erzeugen. Damit wären zahlreiche neue Anwendungen in der Zukunft möglich. Zum Beispiel könnten solche Technologien als sogenannte „Inverse Compton Strahlungsquelle“ in der medizinischen Therapie und Diagnostik eingesetzt werden. Für die Teilchenphysik könnten neue Elektronenkühler entwickelt werden, die die Grenzen der konventionell eingesetzten elektrostatischen Kühler überwinden. Des Weiteren ließe sich die Technologie nutzen, um die Isotopenzusammensetzung radioaktiver Abfälle in ihrem Containment vor der Lagerung oder



Im Energy Recovery Linac Prototype (BERLinPro) werden Elektronenpakete in dem Injektor erzeugt und in einem langen geraden supraleitenden Beschleuniger (Linac) beschleunigt, ehe sie durch Magnete geführt werden und dort Röntgenstrahlung wie in einer Synchrotronstrahlungsquelle erzeugen.

Weiterbehandlung zweifelsfrei zu bestimmen. „Die Entwicklung der ERL-Technologie könnte aber auch das Fenster zu ganz neuen Anwendungen aufstoßen, von denen wir bisher noch gar nichts wissen“, gibt Prof. Jens Knobloch, Leiter des Instituts SRF – Wissenschaft und Technologie, zu Bedenken. Schließlich sei die heutige wissenschaftliche Nutzung der Röntgenstrahlung auch ein Aspekt gewesen, der bei der Entwicklung der ersten Lichtquellen in den 1950er-Jahren keine Rolle gespielt habe. Insofern wird mit der Entwicklung von BERLinPro ein Stück weit Neuland betreten. cn



HOBICAT

Hinter der Abkürzung HoBiCaT verbirgt sich die Testanlage für supraleitende Kavitäten, englisch: Horizontal Bi-cavity Test-facility. Als Kavitäten werden Hohlraumresonatoren bezeichnet, die das Herzstück von Linearbeschleunigern (LINAC) bilden. Das sind „Metallröhren“ mit bauchigen Hohlräumen, in denen starke elektrische Felder erzeugt werden. Bisher wurden meist Kupferkavitäten verwendet, mit denen aber aufgrund der Energieverluste im Dauerstrichbetrieb nicht so starke Felder erzeugt werden konnten. Künftig soll daher supraleitendes



des Niob eingesetzt werden, mit dem eine Tausend Mal höhere Leistung erzielt werden kann. Doch dafür müssen die Niobkavitäten auf Temperaturen von zwei Kelvin (-271,15 Grad Celsius) gekühlt und zusätzlich vor äußerer Wärmezufuhr geschützt werden. HoBiCaT ist ein wichtiger Bestandteil des Zukunftsprojekts BERLinPro. Auch die neue Elektronenquelle des ERL-Beschleunigers, ein Photoinjektor, basiert auf einer supraleitenden Kavität. Der erste Prototyp wird 2011 in der HoBiCaT in Betrieb genommen.

NEUER VORBESCHLEUNIGER FÜR BESSY II

Der **LINAC** löst Mitte 2011 das Microtron als Vorbeschleuniger von BESSY II ab. Damit kann der Elektronenspeicherring Synchrotronlicht mit noch flexibleren Pulsformen liefern.

Zum Glück haben die Nutzer von dem Vorfall nichts bemerkt“, sagt Dr. Ernst Weihreter, der das Umbauprojekt am Elektronenspeicherring leitet. Der „Vorfall“ ereignete sich im November 2010, als eine undichte Stelle bei einer Lötung in einer zentralen Komponente des neuen Linearbeschleunigers festgestellt wurde. Der LINAC war erst zwei Monate zuvor während eines „shut downs“ des Speicherrings eingebaut worden und befand sich mitten in der Einfahrphase. Nach mehrmonatiger Überlegung und Diskussion mit dem Hersteller entschied man sich zur Reparatur an Ort und Stelle, nicht ohne eine mit zwölf Jahren ungewöhnlich lange Garantiezeit zu vereinbaren. „Wir gehen davon aus, dass die Reparatur erfolgreich war und der LINAC nun den Betrieb aufnehmen kann“, betont Ernst Weihreter.

Dauerhafter „Top up“-Modus möglich

Für den neuen Injektor wurde bereits vor über drei Jahren ein detailliertes Konzept ausgearbeitet, um das alte Microtron langfristig ganz abschalten und abbauen zu können. Die Aufgabe des Vorbeschleunigers besteht darin, einen

Elektronenstrahl zu erzeugen und in das Synchrotron zu schießen. Dort werden die Elektronen auf 1700 Megaelektronenvolt, ihre Endenergie, beschleunigt und dann in den eigentlichen Speicherring entlassen. Die insgesamt rund 3,7 Millionen Euro teure Investition ermöglicht es, die Strahleigenschaften des BESSY-Lichts weiter zu verbessern. Damit können die Elektronenverluste im sogenannten „Top up“-Modus wäh-

rend des laufenden Betriebs etwa alle ein bis zwei Minuten ausgeglichen werden, in dem Elektronenpakete nachgeschossen werden. Dadurch ist die beim Experimentator ankommende Lichtintensität nahezu konstant – ein großer Vorteil für die Stabilität der sehr empfindlichen Röntgenoptiken. Im vorher gefahrenen Normalbetrieb wurden die Elektronenverluste dagegen nur alle acht Stunden durch Nachinjektion ausgeglichen.

Parallelbetrieb bis Sommer 2011

Von der Technik her wäre auch das Microtron dazu in der Lage gewesen, den „Top up“-Modus zu fahren, wie die BESSY-Beschleunigergruppe in einer Testwoche Anfang 2008 zeigen konnte. Doch für einen dauerhaften Betrieb in diesem Modus braucht man den LINAC, weil er flexibel Elektronenpulse für das jeweilige Füllmuster des Synchrotrons erzeugen kann. Vor allem die Nutzer, die zeitaufgelöste Experimente durchführen, profitieren vom Einbau des LINAC. Für das Femtoslicing lassen sich zum Beispiel künftig Experimente mit noch größeren Zählraten durchführen.

Nach der Reparatur des LINACs begann die letzte Stufe des Projekts, die Einfahrphase. Für die Nutzer bedeutet sie keinerlei Einschränkungen, denn der neue LINAC wird eingefahren, während das Microtron wie gewohnt seinen Dienst verrichtet. Bis zum Sommer 2011 werden beide Vorbeschleuniger mindestens ein Vierteljahr im Parallelbetrieb arbeiten. Erst wenn der LINAC seine volle Leistung bringt wird entschieden, ob und wann das Microtron abgeschaltet und ausgebaut wird. Schließlich ist der Unterhalt eines zweiten Vorbeschleunigers auch eine Kostenfrage, denn wie jedes technische Gerät bedarf er der Wartung, um funktionstüchtig zu bleiben. Doch als zuverlässige Sicherheitsreserve ist er für das HZB in der Probezeit des LINACs von Vorteil. „Durch die Verzögerung in der Einfahrphase werden die Nutzer nun erst etwas später in den vollen Genuss der Vorteile des LINAC kommen“, bedauert Ernst Weihreter, der sich Ende Mai 2011 in den „aktiven“ Ruhezustand verabschiedete.



Der neue Injektor mit verbesserten Strahleigenschaften wurde in den Elektronenspeicherring eingebaut.

cn

NACHGERÜSTET FÜR DIE ZUKUNFT

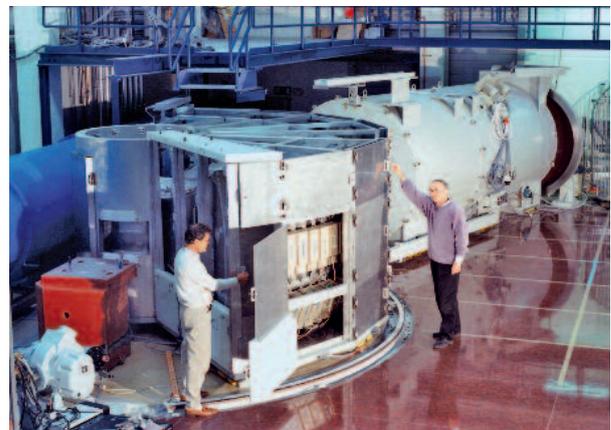
Mit dem **Umbau der kalten Quelle** des Forschungsreaktors BER II bis Sommer 2011 bringt das HZB das Großgerät auf den aktuellsten Stand der Technik. Zudem wird bis 2014 ein neues **Flugzeitspektrometer** aufgebaut.

Seit Oktober 2010 ruhen die Experimente an BER II, doch für die Wissenschaftler bedeutet das nicht, dass sie die Hände in den Schoß legen können. Im Gegenteil, mit dem Umbau der kalten Quelle (siehe Kasten) wird der Reaktor einer umfangreichen Ertüchtigung unterzogen. Ziel ist es, die Qualität der Anlage so zu verbessern, dass sie weltweit konkurrenzfähig bleibt.

Um das zu erreichen, werden vier aufeinander abgestimmte Maßnahmen durchgeführt: Die kalte Quelle erhält eine neue Geometrie und ein neues konisches Strahlrohr, eines der wichtigsten Bauteile des Reaktors. „Damit werden wir eine Flussteigerung der Neutronen von 60 Prozent erreichen“, sagt der kommissarische Hauptabteilungsleiter Dr. Norbert Stüßer. Als zweite Maßnahme werden die Neutronenleiter erneuert, durch die die Neutronen vom Reaktor zu den Experimentierplätzen gelangen. „Durch ihren größeren Querschnitt sowie einer neuen Oberflächenbeschichtung können wir damit den Neutronenfluss bis zum Fünffachen steigern“, erklärt Stüßer den Vorteil. Außerdem werden einige Instrumente wie etwa der Tomographiemessplatz (Conrad) und das Dreiachsenspektrometer FLEX umgestellt und können so besser genutzt werden. FLEX erhält nun eine attraktive Leiterendposition und darüber hinaus ein neues Primärspektrometer. Im Sommer 2011 soll der Reaktor wieder in Betrieb gehen. Die Maßnahmen an den Instrumenten werden im Herbst abgeschlossen werden.

Das neue Flugzeitspektrometer

Als vierte Maßnahme wird ein neues Flugzeitspektrometer NEAT aufgebaut, dessen Leistungsfähigkeit das Vierzigfache des alten Instruments betragen und so neue Forschungsfelder auf den Gebieten Magnetismus, Materialwissenschaften und Weiche Materie eröffnen soll. Wesentliche Elemente des Umbaus sind der Einsatz modernster Superspiegelleiter und die Vergrößerung des Strahlquer-



Das Flugzeitspektrometer wird umgebaut und in einem Anbau untergebracht.

schnitts. Zudem wird die Reichweite des Detektorwinkels durch ortsauflösende Detektoren vergrößert. Sie ermöglichen Untersuchungen von Einkristallen und bieten optimale Möglichkeiten für extreme Probenumgebungen. Durch einen Anbau an die Neutronenleiterhalle wird für das modernisierte Instrument, dessen Übergabe in den Nutzerbetrieb für 2014 geplant ist, eine optimale Probenanbindung gewährleistet.

cn

BER II UND DIE „KALTE QUELLE“

Forschungsreaktoren zeichnen sich durch einen sehr kompakten Reaktorkern aus, um einen möglichst großen Neutronenfluss aus einem kleinen Volumen an spaltbarem Material zu erzielen. So verbraucht BER II gerade einmal 2,5 Kilogramm spaltbares Uran-235 pro Jahr. Der Reaktorkern von BER II besteht aus 30 bis 40 Brennelementen, die von Wasser umgeben sind. Es dient nicht nur zur Kühlung, sondern auch als Moderator für die Neutronen, das heißt sie werden durch das Wasser verlangsamt und so erst für Experimente nutzbar. Während in der Experimentierhalle mit

diesen sogenannten thermischen Neutronen geforscht wird, werden sie für die Experimente in der Neutronenleiterhalle noch weiter verlangsamt. Dies geschieht in der als „kalte Quelle“ bezeichneten Moderatorzelle, einer etwa zehn Zentimeter dicken Schicht aus gasförmigem Wasserstoff, der auf -245 °C abgekühlt wird und unter einem Druck von 13 bar steht. Die so erzeugten „kalten“ Neutronen eignen sich für spezielle wissenschaftliche Untersuchungen und können durch Neutronenleiter auch zu weiter entfernten Experimentierplätzen geführt werden.

PVCOMB ERFOLGREICH GESTARTET

Das **Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik Berlin (PVcomB)** erleichtert als Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie neuen Ideen den Weg in die industrielle Umsetzung.

Das PVcomB wurde 2007 gemeinsam vom Helmholtz-Zentrum Berlin und der Technischen Universität Berlin (TUB) gegründet. Sein Ziel ist, die industrielle Anwendung von Dünnschichtsolarzellen durch einen effizienten Technologie- und Wissenstransfer schneller in die industrielle Anwendung zu bringen. Am PVcomB werden Produktionstechniken zur Herstellung von Dünnschichtmodulen aus Silizium- und CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Sulfid/Selenid) entwickelt und erprobt. Wenig Energie- und Materialverbrauch und eine großflächige Produktion – das sind nur einige der Vorteile der Dünnschicht-Photovoltaik, die nach Expertenmeinung zu niedrigeren Kosten für Solarstrom führen. Man geht davon aus, dass die Dünnschicht-Technologie in den nächsten Jahren einen überproportional wachsenden Anteil am weltweiten PV-Markt ausmachen wird. „Am PVcomB arbeiten wir mit Partnern und Firmen daran, die Marktanteile der Dünnschicht-Photovoltaik erheblich zu erhöhen. In unserer HZB-internen Forschung arbeiten wir schon an der übernächsten Generation von Solarzellen, die wir später über das PVcomB zur Marktreife

bringen werden“, so Prof. Wolfgang Eberhardt, Geschäftsführer für den Bereich Energie am HZB und Professor an der TUB. Der Technologie- und Wissenstransfer erfolgt dabei in Forschungsprojekten gemeinsam mit industriellen Partnern und durch die Ausbildung von hochqualifizierten Fachkräften.

Die Förderung zeigt erste Erfolge

Die Weichen für den Ausbau des Forschungszentrums wurden bereits gestellt. Am 18. Mai 2009 erhielt das PVcomB den Zuschlag für die Förderung im Rahmen des Programms „Spitzenforschung und Innovationen in den neuen Ländern“. Das Programm wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit zwölf Millionen Euro gefördert, der Senat Berlin fügt 25 Prozent der Fördersumme hinzu. „Mit der Förderung des BMBF können wir das PVcomB mit unseren Partnern zügig ausbauen. Wir haben schon Millionen Euro an Industrieverträgen und -zusagen eingeworben, aber ein Teil der Anschubfinanzierung war bisher noch offen – nun können wir richtig Gas geben“, sagte Dr. Rutger Schlattmann, Direktor des PVcomB, nach der Bekanntgabe durch das Ministerium. Zu den Anschaffungen, die mit den Mitteln des BMBF ab Sommer 2010 finanziert werden konnten, gehört auch der „Super Solar Simulator“ der Firma Wacom. Er liefert mit seinen Xenon- und Halogen-Lampen Licht, das dem Spektrum der Sonne sehr nahe kommt. Damit kann die Leistung einer Solarzelle unter standardisierten Bedingungen genau bestimmt werden.

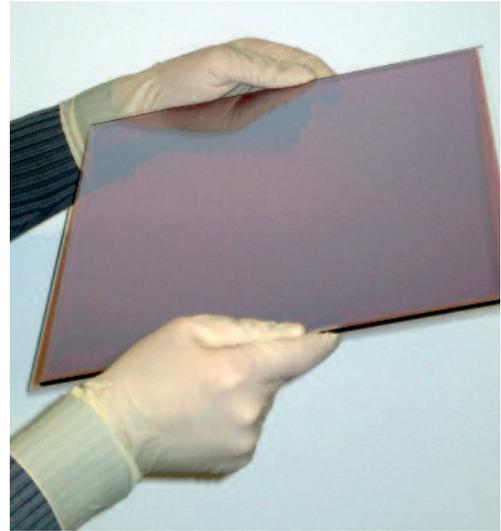
Die ersten Erfolge ließen auch nicht lange auf sich warten: Am 15. November 2010 haben die Kolleginnen und Kollegen die ersten 30 x 30 Quadratzentimeter großen Glasmodule mit amorphem Silizium beschichtet. Die Deposition erfolgte an einer PECVD-Clusteranlage der Firma Applied Materials. PECVD steht für plasma enhanced chemical vapour deposition (plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung). Für industrielle



Dr. Rutger Schlattmann, Direktor des PVcomB, erläuterte bei einem Vortrag auf der im April 2010 in Berlin abgehaltenen „Photovoltaik Thin-Film Week“ die Vorzüge des neuen Zentrums.



Die neue Clusteranlage des PVcomB ist mittlerweile in Betrieb. HZB-Wissenschaftlern gelang es mit dieser Forschungslinie, die ersten größeren Photovoltaik-Module herzustellen.



Die 30 x 30 Quadratzentimeter großen Module sind ein wichtiger Schritt auf dem Weg von der Laborzelle zum Industriemodul.

Silizium-Anwendungen ist die Clusteranlage derzeit die Technik der Wahl. Am PVcomB bildet sie das Herzstück der Forschungslinie für Dünnschicht-Silizium, die gegenwärtig dort aufgebaut wird.

In dem Cluster-Tool werden hauchdünne amorphe und mikrokristalline Siliziumschichten (a-Si/ μ c-Si) auf Trägermaterialien wie Glas aufgebracht. Diese Materialkombination weist im Vergleich zur „klassischen“, auf Wafern basierenden Silizium-Technologie viele Vorteile auf, zum Beispiel sind der Material- und Energieverbrauch deutlich niedriger. Allerdings wollen die Entwickler für Photovoltaik-Module dieser Art höhere Wirkungsgrade erreichen. Das PVcomB hat sich deshalb Wirkungsgradziele auf Weltrekordniveau gesetzt. Der Weg vom Labormaßstab in die Massenproduktion ist für die Dünnschicht-Silizium-Technologie im Vergleich zu den anderen Dünnschicht-technologien am besten verstanden und kontrolliert.

Höhere Prozessstabilität als Ziel

Für die CIGS Zellen, die ebenfalls am HZB und am PVcomB untersucht werden, sind die bislang erreichten Wirkungsgrade deutlich höher als bei Dünnschicht Silizium-Zellen. Für diese Technologie ist aber die industrielle Umsetzung, etwa Homogenität oder Prozessstabilität, noch nicht ganz so weit. Auch auf diesem Gebiet plant das PVcomB einen wichtigen Beitrag zu liefern. Die enge Verbindung zu der längerfristig angelegten Grundlagenforschung am HZB ist auch hier eine

wichtige Voraussetzung für den gewünschten Erfolg.

An der PVcomB Forschungslinie wird eine industriennahe Produktion von Photovoltaik-Modulen möglich. Die Module sind 30 x 30 Quadratzentimeter groß. Sie schließen damit eine Lücke zwischen den kleinen, manchmal nur wenige Millimeter kleinen Laborzellen und den großen, oftmals mehrere Quadratmeter messenden Industriemodulen.

„Mit den beiden Forschungslinien arbeiten wir am PVcomB unter ähnlichen Bedingungen wie die Industrie. So bilden wir eine direkte Brücke zwischen der Grundlagenforschung und der Industrie und können die Unternehmen unterstützen, sowohl mit Forschungsergebnissen als auch mit praktisch ausgebildeten Wissenschaftlern“, erläutert Dr. Rutger Schlatmann.

cn

PHOTOVOLTAICS THIN-FILM WEEK ETABLIERT

Im April 2009 fand die erste Photovoltaics Thin-Film Week in Berlin-Adlershof statt. Sie wurde gemeinsam vom PVcomB und der Solarpraxis AG veranstaltet. Das PVcomB bot Workshops an, die sich speziell an die Technologen und Wissenschaftler im Bereich Photovoltaik richten, die Solarpraxis AG hat ein praxisnahes Industrieforum organisiert. Dort konnten sich Wissenschaftler, Führungskräfte und Investoren der Solarindustrie über die künftigen Entwicklungen austauschen. Mit rund 450 Teilnehmern war die erste PV Thin-Film Week ein voller Erfolg, weshalb eine Fortsetzung beschlossen wurde. Obwohl genauso

gut besucht wie 2009, wurde die zweite PV Thin-Film Week im April 2010 jedoch im wahrsten Sinne des Wortes vom Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull überschattet. So mussten einige Referenten aus Asien und den USA ihre Teilnahme kurzfristig absagen. Trotzdem fand der 1. Internationale Workshop zur CIGS Solarzellen-Technologie wie geplant statt. Vom 19. bis 21. April präsentierten dort Referenten aus Forschung und Industrie die neuesten Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Bereich der chalkopyritbasierten Solarzellen (Kupfer-Indium-Gallium-Sulfid/Selenid – CIGS).

DAS JAHR DER ENERGIE – INFORMATIV UND WITZIG

DAS WISSENSCHAFTSJAHR 2010 STAND UNTER DEM MOTTO „DIE ZUKUNFT DER ENERGIE“. DAZU GAB ES AUCH AM HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN ZAHLREICHE VERANSTALTUNGEN.

Die Träger des Wissenschaftsjahres Energie waren das Bundesministerium für Bildung und Forschung, die Initiative Wissenschaft im Dialog und die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Den Auftakt bildeten vier Helmholtz-Humboldt-Sonntagsvorlesungen, die von der HU Berlin und dem HZB gemeinsam veranstaltet wurden. Die dritte Vorlesung hielten Prof. Dr. Bernd Rech, Leiter des Instituts Silizium Photovoltaik des HZB, sowie Prof. Dr. Norbert Koch vom Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin am 28. März 2010 zum Thema „Die Energie der Zukunft: die neuen Dünnschicht-Solarzellen“. Dabei stellten sie den aktuellen Stand der Photovoltaik vor und gaben auch einen Ausblick auf die Solarzellen von morgen, die statt aus Silizium auf Basis organischer Moleküle und Polymere hergestellt werden könnten.

Leinen los hieß es bereits am 18. Mai 2010 für das Energieschiff „MS Wissenschaft“, das bis zum 7. Oktober von Berlin nach Würzburg unterwegs war. Auf dem Schiffsdach war eine Photovoltaik-Solaranlage montiert, die die Möglichkeiten dieser erneuerbaren Energiegewinnungsform eindrucksvoll demonstrierte. Die Anlage bestand aus 32 schwarzen Modulen der Firma Sulfurcell, einer Ausgründung des HZB, und hatte eine Kapazität von 1700 Kilowattstunden pro Jahr – ungefähr so viel elektrische Energie wie eine Person in Deutschland in einem Haushalt pro Jahr verbraucht. Der Clou an Bord waren vier Batterien, in denen die erzeugte Energie gespeichert werden konnte, sowie ein Staubsauger, der über eine mit Solarstrom versorgte Steckdose von den Besuchern bedient werden konnte.

Den Höhepunkt des Wissenschaftsjahres 2010 bildete der „Tag der Energie“, für den am 25. September zahlreiche Unternehmen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Museen, Stadtwerke und Energieeinrichtungen in ganz Deutschland ihre Pforten öffneten und aktuelle Einblicke in neue Entwicklungen,



Der Solarkäfer zeigte Kindern am „Tag der Energie“, wie Licht in Strom umgewandelt wird.

Forschungsprojekte und Produktionsprozesse gaben. Das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie beteiligte sich am Standort Adlershof unter dem Thema „Licht ist Energie“ mit Führungen, Vorträgen, Exponaten und dem Schülerlabor an dem Tag. Den Auftakt machte Erik Zürn mit seinem Vortrag zur „Zukunftstechnologie Photovoltaik“, ehe es den ganzen Tag über Führungen durch den Elektronenspeicherring BESSY II und das Institut für Silizium Photovoltaik gab, bei denen die Besucher die Forschung an Dünnschicht-Solarzellen hautnah erleben konnten. Am Nachmittag erläuterte Prof. Dr. Wolfgang Eberhardt die „Forschung für eine sichere und klimaverträgliche

Energieversorgung der Zukunft“. Im Schülerlabor „Licht ist Energie“ konnten große und kleine Besucher bei verschiedenen Mitmachexperimenten selbst die Rolle von Forschern übernehmen.

Das Thema Energie bildete auch den Schwerpunkt der an den beiden Tagen zuvor veranstalteten „Tage der Forschung“, die ebenfalls am Standort Adlershof stattfanden. Bereits zum siebzehnten Mal strömten rund 1000 Schülerinnen und Schüler aus Berlin und Brandenburg in die Institute, Labore und Hörsäle der im Technologiepark ansässigen Unternehmen und Einrichtungen. Am 23. September führten Tobias Sontheimer und Mark Wimmer 20 Schüler durch das Institut für Silizium Photovoltaik und erklärten ihnen, wie aus Sonnenlicht Strom erzeugt wird. Tags darauf bot Johannes Wolf bei BESSY II ein Laborpraktikum an, bei dem die Schüler mit lithographischen Verfahren experimentieren konnten, um aus Licht kleinste Bauteile herzustellen.

Dass das Thema Energie aber nicht nur informativ, sondern auch lustig und unterhaltsam vorgetragen werden kann, zeigten die Teilnehmer des vom Helmholtz-Zentrum Berlin als Partner unterstützten „Energy Slams“. Zahlreiche junge Wissenschaftler stellten in jeweils zehn Minuten auf der Bühne ihr Forschungsthema auf spannende, witzige und vor allem verständliche Weise dar. Im Anschluss bewertete das Publikum die Darbietungen mit Punkten und kürte so den Slam Champion des Abends. Das Finale am 9. Dezember 2010 in Berlin gewann Martin Buchholz mit seinem Vortrag „Energie – Wie verschwendet man etwas, das nicht weniger werden kann“.

EINBLICKE INS FORSCHERDASEIN BIETEN

MIT EINEM ZWEITEN **SCHÜLERLABOR**, DEM **GIRLS DAY** UND DEM **SOMMERSTUDENTENPROGRAMM** WILL DAS HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN JUNGE MENSCHEN FÜR DIE WISSENSCHAFT BEGEISTERN.

Am 7. September 2010 widmete das ZDF heute journal dem brisanten Thema „Fachkräftemangel in Deutschland“ einen Beitrag, in dem die junge Doktorandin Kathrin Lange zu Wort kam, die zurzeit in der Nachwuchsgruppe für Funktionale Materialien in Flüssigkeiten am HZB arbeitet. Sie gehört zu den gerade einmal 24 Prozent aller 25- bis 34-Jährigen in Deutschland, die nach Angaben der Wirtschaftsentwicklungsorganisation OECD ein Studium abgeschlossen haben. Damit liegt Deutschland nicht nur weit abgeschlagen hinter Spitzenreiter Südkorea, wo 60 Prozent dieser Altersklasse ein Studium abgeschlossen haben, sondern auch deutlich unter dem Durchschnitt der 34 OECD-Länder von 41 Prozent.

Die Notwendigkeit, bei Schülerinnen und Schülern das Interesse für ein Studium oder einen Beruf im Bereich Naturwissenschaft und Technik zu wecken, hat das HZB schon vor Jahren erkannt: Bereits seit 2004 besteht ein Schülerlabor in Berlin-Wannsee, das mittlerweile von über 5000 Kindern und Jugendlichen besucht wurde. Am 28. Oktober 2010 eröffnete das HZB am Standort Berlin-Adlershof ein zweites Schülerlabor. Im Schülerlabor „Blick in die Materie“ können die Schüler nun in der Umgebung des Elektronenspeicherrings BESSY II die Faszination der Physik erleben. Die dort angebotenen Experimente drehen sich rund um das Thema „Licht und Farbe“ und sind für Kinder und Jugendliche in den Grund- und Sekundarschulen gedacht. Demnächst sollen Projektstage für die Oberstufe hinzukommen. „Wir hoffen, in Adlershof an die guten Erfahrungen aus Wannsee anknüpfen zu können“, sagt Kerstin Berthold, die Leiterin des HZB-Schülerlabors.



Ob im Schülerlabor (oben) oder beim Girls' Day – die Kinder und Jugendlichen können im HZB selbst experimentieren. Ziel ist es, das Interesse für Naturwissenschaft und Technik zu wecken.



Um vor allem Mädchen den Zugang zu den Naturwissenschaften zu erleichtern, gibt es seit 2001 den bundesweiten Girls' Day, an dem sich das HZB auch 2010 wieder mit großem Erfolg beteiligte. So kamen am 22. April 70 Mädchen aus den Klassenstufen 5 bis 10 an die beiden Standorte, um eher „männertypische“ Berufe und Arbeitsplätze kennenzulernen: Während 50 Mädchen am Wannsee Solarzellen untersuchten, Kristalle selbst herstellten oder in das Innenleben eines Computers blickten, entdeckten 20 Mädchen am Adlershof



Verborgenes mit Terahertz-Strahlung und machten sich mit den Herausforderungen der Solarenergieforschung sowie der Forschung mit Licht vertraut.

Für junge Studierende aus aller Welt, die den Schritt in die Wissenschaft bereits gewagt haben, veranstaltete das HZB vom 2. August bis 24. September 2010 bereits das 22. internationale Sommerstudentenprogramm. Das achtwöchige Programm bot 27 jungen Forschern aus 14 Nationen die Möglichkeit, in enger Kooperation mit Wissenschaftlern des HZB an ihren Projekten zu arbeiten. Eine Seminarreihe führte die Studenten in ausgesuchte Arbeitsfelder des HZB ein. Zudem besichtigten sie die beiden Großgeräte sowie die Labore für Solarenergieforschung.

BUNDESVERDIENSTKREUZE FÜR PROF. STEINER UND PROF. JAESCHKE

IM FRÜHJAHR 2010 ERHIELTEN DIE EHEMALIGEN GESCHÄFTSFÜHRER VON HMI UND BESSY DIE HOHE AUSZEICHNUNG FÜR IHRE VERDIENSTE UM DIE WISSENSCHAFT IN DEUTSCHLAND.

Das Helmholtz-Zentrum Berlin, hervorgegangen aus Fusion des ehemaligen Hahn-Meitner-Instituts (HMI) und der Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY), konnte sich im März und April 2010 gleich doppelt freuen: Mit Prof. Dr. Michael Steiner und Prof. Dr. Eberhard Jaeschke wurden die beiden ehemaligen Geschäftsführer von HMI und BESSY ausgezeichnet, die sich am Ende ihrer Tätigkeit für die Fusion der von ihnen geleiteten Institute zum HZB eingesetzt hatten.

Prof. Dr. Michael Steiner, 1998 bis 2008 Wissenschaftlicher Geschäftsführer des Hahn-Meitner-Instituts, erhielt am 18. März 2010 das Bundesverdienstkreuz 1. Klasse. Mit dieser Auszeichnung würdigte der Bundespräsident vor allem Steiners Beiträge „zur Weiterentwicklung des deutschen Wissenschaftssystems über die bestehenden Grenzen hinaus“. Steiner habe sich mit unermüdlichem Engagement für die Stärkung der europäischen Wissenschaftsinfrastruktur eingesetzt und dabei die Wissenschafts- und Technologieentwicklung eng vernetzt, hieß es in der Begründung. Betont wurde dabei, dass Steiner für die am HMI etablierte Solarenergieforschung neue Strukturen geschaffen hat, die es erleichtern, wissenschaftliche Ergebnisse in die Technologieentwicklung zu überführen. Unter Prof. Steiner, der bereits seit 1994 den Nutzerbetrieb am Forschungsreaktor verantwortlich leitete, erlangte der Nutzerservice seinen bis heute bestehenden guten Ruf, im täglichen Experimentierbetrieb besonders gefragte technische Bedingungen wie hohe Magnetfelder und tiefe Temperaturen anzubieten.



Prof. Dr. Michael Steiner leitete elf Jahre lang das Hahn-Meitner-Institut in Berlin-Wannsee.

Viele internationale Wissenschaftlergruppen wurden damit nach Berlin geholt und 2007 erhielt das HMI schließlich den Zuschlag, den weltweit stärksten Magneten für die Neutronenforschung bauen zu dürfen. Seit Oktober 2009 ist Michael Steiner Sprecher der European Neutron Scattering Association (ENSA), einem Zusammenschluss von etwa 4500 Forschern, die die europäischen Neutronenquellen für ihre Experimente nutzen.

Prof. Dr. Eberhard Jaeschke, 1991 bis 2008 Technischer Geschäftsführer der Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY), wurde am 21. April ebenfalls mit dem Bundesverdienstkreuz 1. Klasse ausgezeichnet. Mit dieser Ehrung würdigte der Bundespräsident Jaeschkes „herausragende Beiträge zur Physik und Technologie von Teilchenbeschleunigern und seine Verdienste um die nationale und weltweite Forschung mit Synchrotronstrahlung“. Prof. Jaeschke war es ganz wesentlich mit



Prof. Dr. Eberhard Jaeschke war 17 Jahre lang Technischer Geschäftsführer von BESSY.

zu verdanken, dass BESSY II ab 1994 gebaut wurde und ihren Standort im Ostteil der Hauptstadt, in Adlershof, bezog. Zuvor war er bereits Leiter anderer Beschleunigerprojekte, etwa am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. Dort konzipierte er einen Schwerionen Linearbeschleuniger, und von 1986 bis 1988 baute er den weltweit ersten Schwerionen Kühlring mit Laser- und Elektronenkühlung auf. Auch nach seinem Ausscheiden als Geschäftsführer ist Prof. Jaeschke weiterhin in zahlreichen Gremien tätig und ein gefragter Berater beim Konzipieren von Strahlungsquellen der nächsten Generation. Am Helmholtz-Zentrum Berlin ist dies ein sogenannter Energy Recovery Linac (ERL), eine Kombination aus Linearbeschleuniger und Speicherring. Eberhard Jaeschke hatte noch als Geschäftsführer von BESSY die Arbeiten an dem Prototyp (BERLin-Pro) so weit vorangetrieben, dass das Projekt von allen wissenschaftlichen Begutachtungsgremien die besten Noten erhielt und nun am HZB realisiert wird.

EU-KOMMISSION EHRT PROF. SCHOCK

DER HZB-WISSENSCHAFTLER ERHIELT DEN RENOMMIERTEN **BEQUEREL-PREIS** FÜR SEINE LANGE UND ERFOLGREICHE FORSCHUNG IM BEREICH DER PHOTOVOLTAIK.

Prof. Dr. Hans-Werner Schock, Institutsleiter und Bereichssprecher Solarenergieforschung am HZB, konnte am 9. September 2010 im Rahmen der 25. „European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition“ in Valencia den Becquerel-Preis entgegennehmen. Die EU-Kommission würdigte damit den HZB-Wissenschaftler für sein Lebenswerk im Bereich der Photovoltaik und seine herausragenden Leistungen im Bereich der Solarenergietechnik und der Entwicklung von Dünnschicht-Solarzellen. Die zu den hochrangigsten Solar-Auszeichnungen zählende Ehrung ist nach dem französischen Wissenschaftler Alexandre Edmond

Becquerel (1820-1891) benannt, der 1839 den photovoltaischen Effekt entdeckt hatte. Der Becquerel-Preis wurde von der EU-Kommission erstmals 1989 anlässlich des 150-jährigen Jubiläums dieser Entdeckung vergeben. Die Preisverleihung fand im Anschluss an den von Prof. Schock gehaltenen Plenarvortrag zum Thema „Status und Weiterentwicklung der CIS und verwandten Solarzellen“ statt.

Unter der Leitung von Prof. Schock fanden bereits in den 1980er Jahren die ersten Pionierversuche zu Chalkopyrit-basierten Solarzellen statt, die die Solarenergie effizienter und kostengünstiger machten. Aktuell forscht



Prof. Dr. Hans-Werner Schock

die Gruppe um Prof. Schock zu neuen Materialkombinationen aus häufig vorkommenden und umweltfreundlichen chemischen Elementen und entwickelt die Solarzellen weiter. Ziel ist es, dass „Solarzellen beispielsweise bei Gebäuden kein Hauptinvestitionsgut mehr sind, sondern selbstverständlich integriert werden“, so Schock.

WICHTIGE BERUFUNGEN

EINE REIHE VON WISSENSCHAFTLERN DES HZB HABEN IN DEN LETZTEN BEIDEN JAHREN BERUFUNGEN AN LEHRSTÜHLE IN BERLIN UND ANDEREN STANDORTEN ERHALTEN.

Prof. Dr. Jens Knobloch ist seit September 2010 Inhaber des Lehrstuhls für „Beschleunigungsphysik“ an der Universität Siegen. Das Forschungsgebiet von Prof. Knobloch ist die Entwicklung supraleitender Hochfrequenz-Systeme für neue Lichtquellen und zukünftige Beschleuniger, kurz „Superconducting Radio-Frequency (SRF) Technology“. Seit 2009 ist er Leiter des HZB-Instituts „SRF Wissenschaft und Technologie“.

Prof. Dr. Emad Aziz erhielt im April 2010 eine Juniorprofessur an der Freien Universität Berlin. Im Fachbereich Physik beschäftigt sich der HZB-Wissenschaftler schwerpunktmäßig mit funktionalen Materialien in Lösung und an Grenzflächen.

Prof. Dr. Roland Scheer, zuvor stellvertretender Institutsleiter am HZB, hat am 1. Juni 2010 die Stiftungsprofessur

des Photovoltaik-Unternehmens Q-Cells an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU) übernommen.

Prof. Dr. Bert Stegemann vom PVcomB ist seit Mai 2009 Professor für Photovoltaik an der HTW Berlin.

Der Photovoltaikforscher **Prof. Dr. Christian-Herbert Fischer** vom HZB-Institut für Heterogene Materialsysteme ist am 11. Januar 2010 zum Honorarprofessor an der Freien Universität Berlin (FUB) bestellt worden.

Prof. Dr. Marcus Bär wurde im September 2010 zum Adjunct Assistant Professor des Departments of Chemistry am College of Science der Universität Nevada in Las Vegas berufen.

Prof. Dr. Sebastian Fiechter, kommissarischer Leiter des Instituts Solare Brennstoffe und Energiespeichermaterialien am HZB, erhielt im Dezember 2009 eine außerplanmäßige Professur an der TU Berlin.

Prof. Dr. Norbert Nickel, stellvertretender Institutsleiter am Institut Silizium Photovoltaik am HZB, erhielt im Oktober 2009 eine außerplanmäßige Professur an der TU Berlin.

DREI NEUE INSTITUTSLEITER AM HZB

MIT **PROF. MATTHIAS BALLAUFF**, **PROF. ALEXANDER FÖHLISCH** UND **PROF. ANDREAS JANKOWIAK** WURDEN 2009 UND 2010 DREI INSTITUTE AM HZB NEU BESETZT.

Im März 2009 erging der Ruf an **Prof. Dr. Matthias Ballauff** als Universitätsprofessor der Humboldt Universität Berlin und Leitender Wissenschaftler am HZB. Seit Mitte Juli 2009 hat er die Leitung des Instituts „Soft Matter und Funktionale Materialien“ inne und damit die Verantwortung für ein Kerngebiet der Nutzung der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II sowie des Forschungsreaktors BER II. Zuvor war der studierte Chemiker unter anderem an der Universität Karlsruhe, dem Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz und an der Stanford University beschäftigt. Zuletzt war Prof. Ballauff an der Universität Bayreuth Lehrstuhlinhaber für Physikalische Chemie I, ehe er an das HZB wechselte.

Ausschlaggebend für seine Entscheidung war die Vielzahl an Forschungsmöglichkeiten für Experimente mit Neutronen und Synchrotronstrahlung am HZB. Das Engagement in der Lehre ist ihm besonders wichtig, und so möchte er möglichst viele junge Leute an die Forschung mit Großgeräten heranführen. Seine Forschungsinteressen gelten der Analyse von kolloiden Strukturen, die auf polymeren Materialien basieren. Prof. Ballauff leitet zudem die Themenkommission der Deutschen Bunsengesellschaft und ist seit 2011 Mitglied im Ständigen Ausschuss der Gesellschaft.

Prof. Dr. Alexander Föhlisch leitet seit dem 1. Oktober 2009 das Institut für „Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung“ am HZB. Am 22. Juli des Jahres hatte er den Ruf an die Universität Potsdam und das HZB angenommen. Prof. Föhlisch studierte Physik in Tübingen, Stony Brook und Hamburg und promovierte an der Universität



Prof. Dr. Matthias Ballauff



Prof. Dr. Alexander Föhlisch



Prof. Dr. Andreas Jankowiak

Uppsala/Advanced Light Source in Berkeley. Vor seinem Wechsel nach Berlin war er als Privatdozent am Institut für Experimentalphysik der Universität Hamburg sowie am Centre for Free-Electron Laser Science (DESY) tätig.

Sein wissenschaftliches Interesse gilt der Weiterentwicklung innovativer Röntgenmethoden, um die elektronische Struktur und Dynamik auf atomaren Skalen sichtbar zu machen. Über die daraus resultierenden Erkenntnisse von physikalischen und chemisch relevanten Prozessen erhält man ein besseres Verständnis funktionaler Materialien für ultraschnelles Schalten, der Photovoltaik sowie der molekularen Dynamik und der heterogenen Katalyse.

Prof. Dr. Andreas Jankowiak hat Anfang März 2010 die Leitung des Instituts für Beschleunigerphysik und der Abteilung Beschleunigerbetrieb am HZB übernommen. Bereits im Februar des Jahres folgte er einem Ruf der Humboldt Universität zu Berlin und hat am Institut für Physik die Professur „Experimentelle Physik/Beschleunigerphysik“ übernom-

men. Der studierte Physiker hatte zuvor als Leiter der Arbeitsgruppe für Beschleunigerbetrieb und Entwicklung am Mainzer Mikrotron an der Universität Mainz gewirkt. Vor seiner Tätigkeit in Mainz leitete Prof. Jankowiak die Arbeitsgruppe für Hochfrequenzsysteme der Synchrotronstrahlungsquelle DELTA an der Universität Dortmund. Am HZB bringt sich der gebürtige Recklinghäuser in den Betrieb und die Weiterentwicklung der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II, aber auch der Metrology Light Source (MLS) ein. Ein wichtiges Projekt, dessen Leitung Prof. Jankowiak übernommen hat und bei dem er eng mit dem stellvertretenden Projektleiter Prof. Jens Knobloch vom Institut SRF - Wissenschaft und Technologie am HZB zusammenarbeitet, ist der BERLinPro - der Prototyp des Energy Recovery Linacs. In den nächsten fünf Jahren soll unter Federführung des HZB diese neuartige Beschleunigertechnologie weiterentwickelt werden.

KURZ GEMELDET

Am 11. und 12. Oktober 2010 fand in Berlin die **Jahrestagung des Forschungsverbands Erneuerbare Energien (FVEE)** statt, zu dessen Mitgliedern das HZB zählt. HZB-Geschäftsführer Prof. Dr. Wolfgang Eberhardt leitete die Jahrestagung, bei der auch das 20-jährige Jubiläum des Dachverbandes gefeiert wurde. Ziel der Mitglieder des FVEE ist es, die Technologien für eine vollständige Energieversorgung mit Erneuerbaren Energien zu entwickeln.

Im Rahmen der Wissenschaftstagung „**Falling Walls Conference 2010**“ in Berlin besuchte eine Gruppe von Nachwuchswissenschaftlern am 7. November 2010 den HZB-Standort Adlershof. Die „Falling Walls Conference“ fand erstmals 2009 anlässlich des 20. Jahrestags des Falls der Berliner Mauer statt. Die Veranstaltung wird von einer Reihe angesehener wissenschaftlicher Einrichtungen unterstützt, darunter der Helmholtz-Gemeinschaft.

Prof. Dr. Anke-Rita Kaysser-Pyzalla, Sprecherin der Geschäftsführung des HZB, organisierte im Rahmen der von der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde veranstalteten Konferenz „**Materials Science and Engineering 2010**“ das Schwerpunktthema „Characterization“. Die Konferenz fand vom 24. bis 26. August 2010 in Darmstadt statt.

VIELE BESUCHER BEI DER KLÜGSTEN NACHT DES JAHRES

DAS HZB NAHM IM SOMMER 2010 AN DER ZEHNTEN „LANGEN NACHT DER WISSENSCHAFTEN“ TEIL.

Wie kommuniziert man schwierige Wissenschaftsthemen verständlich einer interessierten Öffentlichkeit? In dem man sie in die Forschungseinrichtungen einlädt und zeigt, was dort gemacht wird. Diese Idee wurde in Berlin erstmals in Form einer „Langen Nacht der Wissenschaften“ im Sommer 2001 umgesetzt. Das Format erwies sich als überaus erfolgreich: Am 5. Juni 2010 konnte die



zehnte Ausgabe der Langen Nacht der Wissenschaften gefeiert werden – mit mehr als 2000 Veranstaltungen an 70 Instituten in Berlin, Potsdam und Wildau. Natürlich nahm auch das HZB an seinen beiden Standorten mit einem umfangreichen Programm daran teil: Bei sommerlichem Wetter besuchten etwa 4600 Besucher das Zentrum und ließen sich von den zahlreichen Wissenschaftlern am Wannsee und in Adlershof die Experimentierplätze der Großgeräte sowie die Labore der Solarenergieforschung zeigen. Im Schülerlabor konnte wieder viel experimentiert werden, denn Neugier zu wecken und zu befriedigen, komplizierte Zusammenhänge verständlich zu erklären, populäre Fragen zu stellen und Sinne und Gefühle anzusprechen – all das erreichen die Forscher Jahr für Jahr mit der „Langen Nacht der Wissenschaften“.

HZB RICHTETE SNI 2010 AUS

MEHR ALS **700 WISSENSCHAFTLER** DER FORSCHUNG MIT SYNCHROTRON-, NEUTRONEN- UND IONENSTRAHLEN TRAFEN SICH IM FEBRUAR 2010 IN BERLIN.

Die Forschung mit Synchrotron-, Neutronen- und Ionenstrahlen (SNI) gestattet Einblicke in die kleinsten Strukturen, aus denen Materie besteht. Wissenschaftler, die mit solchen Methoden arbeiten, finden am



HZB nicht nur die entsprechenden Großgeräte, sondern auch einen regelmäßigen Erfahrungsaustausch. So trafen sich rund 700 Forscher, neben Naturwissenschaftlern auch Mediziner und sogar Geisteswissenschaftler, vom 24. bis 26. Februar 2010 auf der Konferenz SNI 2010.

Die Konferenz wurde vom HZB in enger Kooperation mit den Berliner Universitäten und der Universität Potsdam ausgerichtet. Nach der SNI 2006 war sie erst die zweite Veranstaltung in dieser Reihe. Neben einer Industrieausstellung wurden etwa 80 wissenschaftliche Vorträge gehalten und 560 Posterbeiträge gezeigt, mit denen vor allem Doktoranden und Nachwuchswissenschaftler ihre Arbeiten präsentieren konnten. Zu den Höhepunkten der SNI 2010 gehörten die beiden öffentlichen Abendvorträge von Prof. Dr. Michael H. Foerster von der Augenklinik der Charité über „Zwölf Jahre Protonentherapie in Berlin“ sowie von Dr. Ina Reiche vom CNRS Louvre über Kulturgüter im Blickfeld wissenschaftlicher Großgeräte.

Betriebsrat

Vorsitzende: E. Lesner

Wissenschaftlich-Technischer Rat

Vorsitzender: Prof. Dr. A. Föhlich

Geschäftsführung

Prof. Dr. A. Kaysser-Pyzalla (Sprecherin), Prof. Dr. W. Eberhardt, Dr. U. Breuer

Aufsichtsrat

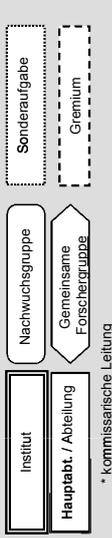
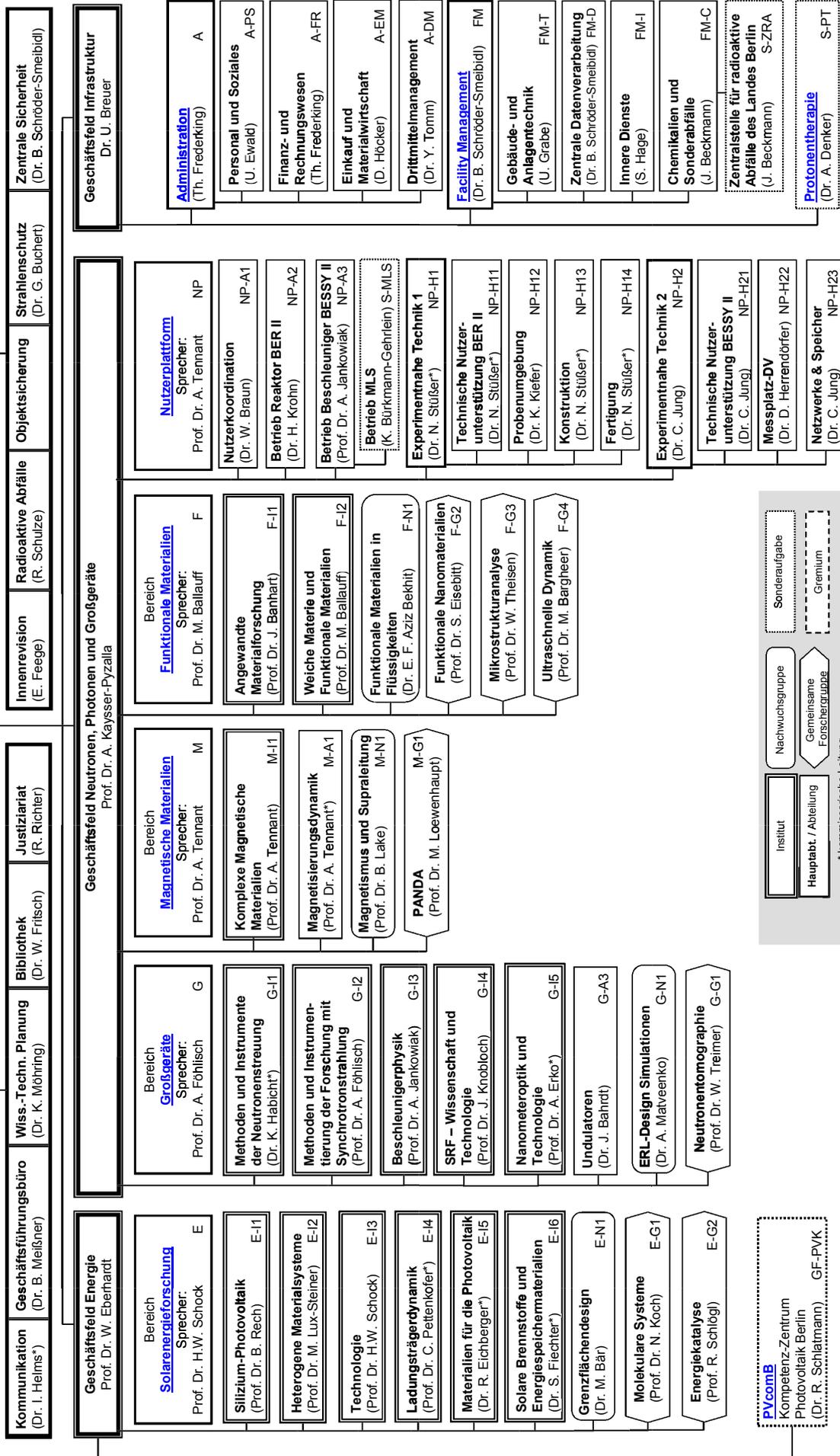
(Vorsitzender: Prof. Dr. J. Treusch)

Gesellschafterversammlung

(Bund und Land Berlin)

Wissenschaftlicher Beirat

Vorsitzender: Prof. Dr. E. Rühl



*kommissarische Leitung

Lageplan

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



IMPRESSUM

HZB-Highlightbericht 2009/2010 des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie GmbH. Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.
Redaktionsschluss: Juni 2011

Herausgeber:

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

Redaktion:

Dr. Ina Helms (verantwortlich), Hannes Schlender
E-Mail: 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), Volker Eidems (ve), Sabine Letz (sl), 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: Feller, Rheinstraße 15 b, 14513 Berlin

Fotonachweis: Alle Fotorechte beim HZB, außer: Seite 10: fotolia, Seite 12: fotolia, Seite 14: Prof. Paris, Seite 15: fotolia, Seite 16: Prof. Dörner, Seite 19: fotolia, Seite 21: Dr. Nowotny/IIMCB, Seite 22/23: Dr. Mühlbauer, Seite 24: Dr. Bernien, Seite 25: Dr. Gahl, Seite 26: HZB/B. Schurian, Seite 37: HZB/Schneider, Seite 55: Grafik: Britta Mießen

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
E-Mail: info@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
E-Mail: info@helmholtz-berlin.de

Institut für Silizium Photovoltaik

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

PVcomB

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