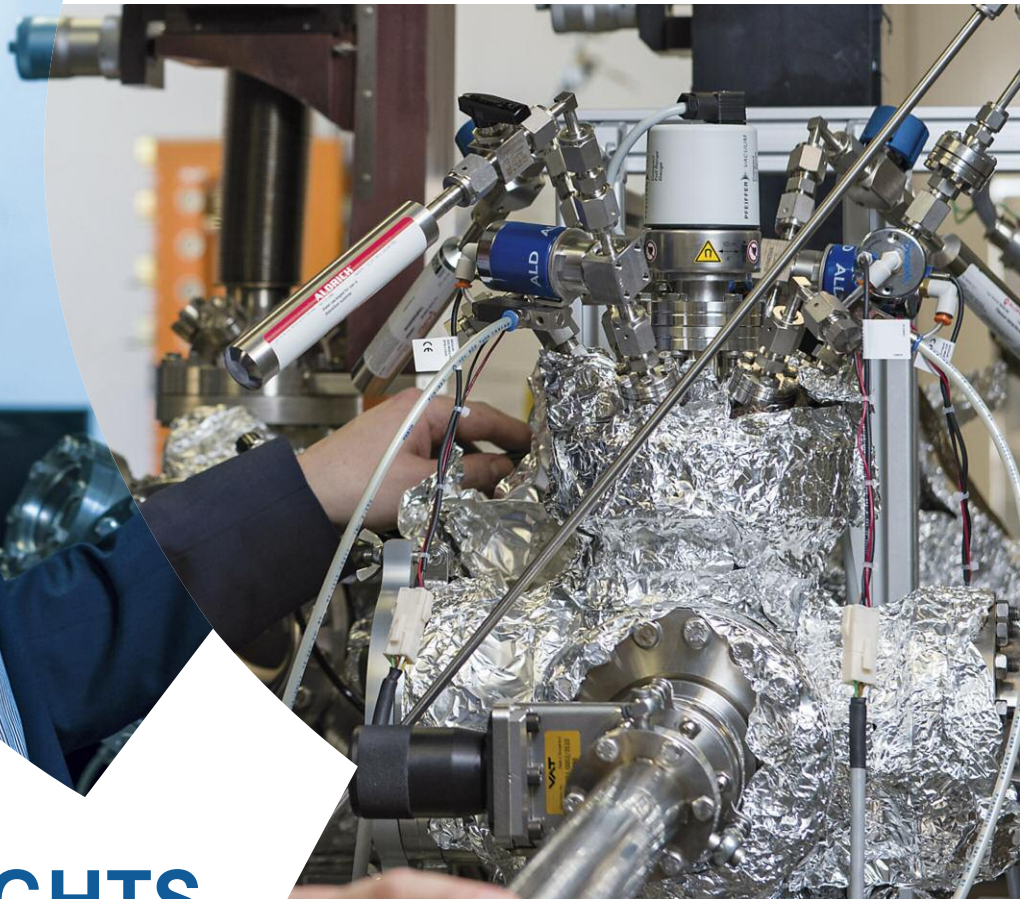


ENERGIEN BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN



# HIGHLIGHTS 2013

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









## INHALT

<b>Vorwort</b>	<b>04</b>	Pikosekunden schnelle Schalter	36
Interview: Das Institut für Solare Brennstoffe am HZB hat ehrgeizige Ziele	06	Elektronenspins mit Licht steuern	37
<b>Highlights aus den Nutzerexperimenten</b>	<b>08</b>	Vom Nanostäbchenteppich zur Solarzellen-Dünnschicht	38
Katalysatoren bei der Arbeit zugeschaut	10	Graphen bleibt Graphen, auch unter Silizium	39
Der Batterie ins Herz geblickt	11	Schnelle Entmagnetisierung durch Spintransport	40
Magnetoelektrische Kopplung beleuchtet	12	Magnetische Momente beeinflussen	41
Antike Münzen unter Neutronenbeschuss	14	<b>Kooperationen</b>	<b>42</b>
Etwas Aluminium bringt Methanol in den Tank	15	Durchbruch bei solarer Wasserstoffproduktion	43
Starre Ordnung konkurriert mit Supraleitung	16	Materialforschung mit Spektroskopie	44
Wasserströme unter der Neutronenlupe	17	Ultraschnelle Prozesse in Magneten	45
Medizinische Forschung an den MX-Beamlines	18	Neues Helmholtz-Institut für Erneuerbare Energien	46
Gedruckte Bildschirme	20	Schnappschüsse von der Photosynthese	47
Energiebarrieren im Neutronenstrahl	21	<b>Technologietransfer</b>	<b>48</b>
Die richtige Dotierung macht den Unterschied	22	Sägezähngitter für Photonenquellen	48
Destruktiven Radikalen auf der Spur	23	Technologietransfer-Preis für die Entwicklung optimierter Schneidwerkzeuge	49
Domänenwände als Informationsspeicher	24	<b>Zukunftsprojekte</b>	<b>50</b>
Magnetische Dipole: Kette statt Zickzack	25	EMIL nimmt Form an	50
<b>Highlights aus der eigenen Forschung</b>	<b>26</b>	Zieleinlauf für den Hochfeldmagneten	51
Spannung im Glas	28	<b>Vermischtes/Anhang</b>	<b>52</b>
Solarzellen beim Wachsen zugesehen	29	Vermischtes	52
Das Tor für die Festkörperphysik geöffnet	30	Organigramm des HZB	54
Gasumwandlung im Katalysator beobachtet	31	Lageplan, Impressum	55
Gesteuerte Kristallbildung	32		
Organische Elektronik: Gute Verbindungen	33		
Wandelnde Atomkerne im Sanidin verfolgt	34		
Neue Eigenschaften dank idealer Anordnung	35		



## EIN JAHR DER WEICHENSTELLUNGEN

Das Jahr 2013 war für das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie ein besonderes Jahr. Wir konnten auf die ersten fünf Jahre unseres Bestehens nach der Fusion von Hahn-Meitner-Institut und BESSY zurückblicken – und damit zugleich auf die erste gemeinsame Förderperiode im Rahmen der Helmholtz-weiten programmorientierten Förderpolitik (POF). 2014 läuft die aktuelle Förderperiode POF II aus. Die nächste, 2015 beginnende Runde (POF III) haben wir gemeinsam in den vergangenen Monaten intensiv vorbereitet. Unsere internationalen Gutachter haben die Programme im Frühjahr 2014 einem kritischen Blick unterzogen: Haben die Strukturänderungen gegriffen? Können die neuen Programme einen signifikanten Beitrag leisten zur Lösung der großen Herausforderungen, vor denen wir stehen – etwa nachhaltige Energieversorgung, Werkstoffe für die Computertechnologie der nächsten Generation oder Mobilität der Zukunft? Wo steht das HZB im Vergleich mit den anderen Helmholtz-Zentren? Ist unsere Zusammenarbeit mit ihnen und anderen Partnern, zum Beispiel den Universitäten, gut aufgestellt? Auf diese Fragen werden wir im laufenden Jahr 2014 schriftliche Antworten bekommen.

Wir müssen uns also noch ein bisschen gedulden, aber schon jetzt möchten wir uns bei allen an der Begutachtung Beteiligten herzlich für Ihre Arbeit bedanken. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben große Kraftanstrengungen auf sich genommen und das HZB in hervorragender Weise repräsentiert. Über einen langen Zeitraum, der sich bis ins erste Halbjahr 2014 erstreckte, haben sie in allen Phasen der Begutachtung exzellente



Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla und Thomas Frederking.

„Die Entscheidung, unsere Neutronenquelle BER II nur noch eine Förderperiode lang, bis Anfang 2020 zu betreiben, war nicht leicht. Aber sie eröffnet dem HZB die Möglichkeit, sich strategisch neu auszurichten und wissenschaftlich viel versprechende Felder in der Energie- und Materialforschung zu besetzen.“

Arbeit geleistet. Zunächst haben sie mit großem Engagement an den Programmanträgen gearbeitet und dabei die Strategien geschärft, mit denen wir unsere Wissenschaft voranbringen wollen. Danach, als es an die Vor-Ort-Präsentationen ging, hat das gesamte HZB-Team eine perfekte Organisation geliefert. Wir haben den Gutachtern eine

tolle Atmosphäre geboten und dabei kreative Präsentationen erlebt, die geeignet sind, mit großer Freude und Zuversicht in die nächsten Jahre zu gehen. Dies ist umso höher einzuschätzen, da wir erstmals einen Sprung gemacht haben von einer Beteili-

gung an zwei Helmholtz-Programmen auf nun sechs Programme, an denen das HZB mitwirkt.

Die einschneidendste Weichenstellung in dieser Zeit war sicher der Beschluss, unsere Neutronenquelle BER II nur noch eine Förderperiode lang, bis Anfang 2020 zu be-

treiben. Diese Entscheidung war nicht leicht, aber sie eröffnet dem HZB die Möglichkeit, sich strategisch neu auszurichten. Mit der frühzeitigen Bekanntgabe haben wir die Möglichkeit ergriffen, neue wissenschaftlich vielversprechende Felder in der Energie- und Materialforschung zu besetzen. Gerade die Forschung an neuartigen Konzepten zur nachhaltigen Energiegewinnung hat enorm an Fahrt gewonnen. Davon zeugen herausragende Berufungen, neu gegründete Institute und Abteilungen ebenso wie der Aufbau des Energy Materials In-situ Laboratory Berlin (EMIL). Zugleich fokussieren wir unser Großgeräte-Profil ab 2020 auf die Forschung mit Photonen.

Mit diesem geschärften Profil und der einzigartigen Expertise, die wir auf dem Gebiet der Beschleunigerphysik aufgebaut haben, werden wir bei Bewerbungen um große Ausbauinvestitionen wettbewerbsfähig sein. Dass wir gute Chancen auf diesem Weg haben, zeigt sich bereits bei der Entwicklung des Projekts BESSY-VSR (Variabler Pulslängen-Speicherring). Das Konzept, aus dem bestehenden Speicherring BESSY II einen Beschleuniger zu machen, der variable Lichtpulse anbietet – also kurze und lange Pulse in einem Ring – hat schon viele Experten überzeugt.

Auch in der Kommunikation solcher Projekte geht das HZB derzeit neue Wege. Interessierte können online in unserem Zukunftslogbuch #HZBzlog quasi live verfolgen, wie sich im Aufbau befindliche Projekte und Infrastrukturen entwickeln und welche Aufgaben sich den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie den Ingenieurinnen und

**„Mit einem geschärften Profil und der einzigartigen Expertise, die wir auf dem Gebiet der Beschleunigerphysik aufgebaut haben, werden wir bei Bewerbungen um große Ausbauinvestitionen wettbewerbsfähig sein. Dass wir gute Chancen auf diesem Weg haben, zeigt sich bereits bei der Entwicklung von BESSY-VSR.“**

Ingenieuren jeden Tag stellen. Während das #HZBzlog den Blick über die Schulter gestattet und somit ein offenes Fenster auf unsere aktuellen Tätigkeiten bietet, soll Ihnen dieser Highlight-Bericht wieder auf traditionelle Weise aus-

gewählte Forschungsarbeiten präsentieren, die publiziert und damit erfolgreich abgeschlossen wurden. In gewohnter Weise finden Sie hier erfolgreiche Nutzerexperimente und Experimente aus unserer Eigenforschung.

Sie werden in diesem Highlight-Bericht einerseits die gewohnte Struktur wiederfinden, jedoch auch etwas Besonderes vorfinden: Anlässlich des fünfjährigen Bestehens des HZB bieten wir Ihnen ein herausnehmbares Poster an. Auf diesem können Sie die Entwicklung des HZB in einem Zeitstrahl noch einmal nachvollziehen. Dabei haben wir uns auf übergeordnete Themen konzentriert, die für das HZB besonders wichtig sind, zum Beispiel die Themen Nachwuchsförderung und Kooperation mit Universitäten. Außerdem haben wir Projekte ausgewählt, die zeigen, dass das HZB mehr ist als die Summe der ehemaligen Teile Hahn-Meitner-Institut und BESSY GmbH. Projekte wie zum Beispiel EMIL, die keines der beiden Zentren allein hätte entwickeln können. Wir hoffen, dass Ihnen dieses Poster gefällt und Sie als Leserin oder Leser weiterhin interessiert die Entwicklung des HZB verfolgen werden. Wie immer wünschen wir Ihnen viel Spaß beim Lesen und vielleicht besuchen Sie uns auch einmal auf [www.hzbzlog.com](http://www.hzbzlog.com).



Prof. Dr. A. Kaysser-Pyzalla  
Wissenschaftliche  
Geschäftsführerin



Thomas Frederking  
Kaufmännischer  
Geschäftsführer

---

## ZEIT FÜR EHRGEIZIGE ZIELE

Die Sonne strahlt mehr als genug Energie auf die Erde, um die Menschheit mit Energie zu versorgen. Um damit den Bedarf zu decken, muss Solarenergie aber gespeichert werden können, etwa in Form von Wasserstoff. Mit einem robusten System aus preisgünstigen Komponenten konnte das HZB 2013 einen ersten Durchbruch verkünden. Ein Gespräch mit **Prof. Dr. Roel van de Krol** über die Entwicklung dieses Forschungsfeldes und die Ziele, die sich das HZB dabei setzt.

### Herr van de Krol, Sie leiten seit einem Jahr das Institut für Solare Brennstoffe am HZB. Seit wann arbeiten Forscherteams eigentlich schon an Lösungen für die solare Wasserstoffproduktion?

Es begann 1972, als japanische Forscher demonstrierten, dass sich Wasser mit einem halbleitenden Oxid in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten lässt. 1973 kam die Ölkrise, daher war das Interesse zunächst enorm, Wasserstoff als Alternative zu fossilen Brennstoffen mit Sonnenlicht zu erzeugen. Doch ab den 1980er-Jahren verfolgten nur noch wenige Gruppen diese Forschung weiter. Erst seit etwa fünf Jahren explodiert das Feld geradezu. Das hängt natürlich stark mit dem Klimawandel und der Energiewende zusammen. Wir brauchen günstige und effiziente Lösungen, um Solarenergie zu speichern, da ist die Wasserstoffproduktion

eine sehr gute Option. Gleichzeitig gab es enorme Fortschritte, die diese Option sehr viel realistischer machen. So zeigte Michael Graetzel aus Lausanne 2006, dass nanostrukturierte Eisenoxide sehr gute Photoströme ermöglichen. Das ist im Grunde Rost, ein sehr preiswertes Material.

### Im Sommer 2013 konnten Sie mit der TU Delft zusammen einen Durchbruch verkünden. Worum ging es?

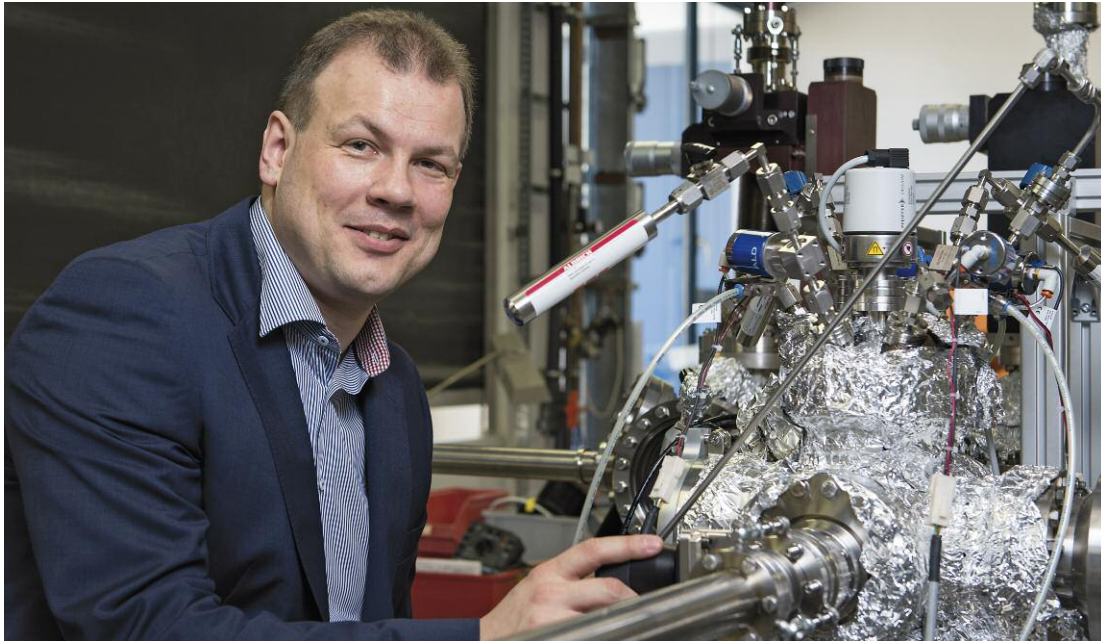
Wir haben ein relativ einfaches System gebaut, das einen Wirkungsgrad von fünf Prozent erreicht und eine gute Stabilität zeigt. Wir nutzen dafür eine konventionelle Dünnschichtsiliziumzelle und kombinieren sie mit einem Metalloxid. Das hat zwei Vorteile: Zum einen wandelt das Metalloxid noch einen anderen Teil des Lichtspektrums in Strom um, und zum anderen schützt es die empfindliche Siliziumzelle vor Korrosion. Damit kombinieren wir sozusagen das Beste aus zwei Welten. Wir bekamen eine Menge Aufmerksamkeit, auch von den Medien. Das zeigt, wie groß das Interesse an Speicherlösungen für erneuerbare Energien ist.

### Solche Systeme werden gerne als „Künstliches Blatt“ bezeichnet, weil sie – wie Pflanzen – Sonnenlicht nutzen, um Wasser zu spalten. Was ist der Unterschied zu biologischen Systemen?

Die Effizienz der Photosynthese ist mit etwa einem Prozent eher schlecht, denn die Natur hat andere Ziele als maximale Effizienz. Künstliche Systeme dagegen könnten theoretisch 25 bis 30 Prozent Effizienz erreichen. Schon 2001 hatten Forscher ein System gebaut, das rund 18 Prozent des Sonnenlichts chemisch speichern konnte. Es bestand allerdings aus mindestens 16 Schichten und war extrem teuer. Um ein praxistaugliches und marktfähiges System zu entwickeln, müssen wir nicht nur die Effizienz steigern, sondern auch die Stabilität erhöhen und gleichzeitig die Kosten senken. Außerdem müssen solche Anwendungen auch großflächig produzierbar sein. Die Herausforderung besteht darin, den besten Kompromiss zwischen diesen verschiedenen Anforderungen zu finden.

### HZB KOORDINIERT PECDEMO

In nur drei Jahren wollen die Forschungspartner des EU-Projekts PECDEMO ein praxistaugliches System entwickeln, das auf einer kleinen Fläche mindestens zehn Prozent der Sonnenenergie in Wasserstoff umwandelt. Sie wollen auch ein großflächiges Modul von 50 Quadratzentimetern produzieren, das eine Effizienz von mindestens acht Prozent erreichen soll und mehr als 1.000 Stunden stabil bleibt. Das könnte den Durchbruch für die praktische Anwendung bedeuten. Prof. Dr. Roel van de Krol koordiniert das internationale Forschungsprojekt und hat dafür renommierte Partner mit ins Boot geholt: PVcomB und DLR, die Gruppe um Michael Graetzel von der École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Schweiz, das Israel Institute of Technology in Haifa sowie die Universität Portugal. Die Industriepartner sind EVONIK Industries und Solaronix SA. Insgesamt wird PECDEMO in den drei Jahren Laufzeit mit 1,83 Mio. Euro gefördert, das HZB erhält davon rund 440.000 Euro.



Prof. Dr. Roel van de Krol leitet das Institut für Solare Brennstoffe am HZB.

### Wo liegen die großen ungelösten Fragen und welche davon möchten Sie angehen?

Ich denke, bei den Solaren Brennstoffen sind wir aktuell da, wo die Photovoltaik vor 40 Jahren stand. Unser größtes Ziel wird sein: Das ideale, magische Material zu finden, wie das Silizium bei den Solarzellen. Es muss ein sehr guter Lichtabsorber sein, chemisch stabil bleiben und darf nicht teuer sein. Ich hoffe, dass wir in den nächsten fünf bis zehn Jahren ein oder zwei solcher wirklich neuen Materialien entwickeln können. Außerdem wissen wir noch nicht genau, wie sich Defekte bilden und welche Rolle sie für die Effizienz des Systems insgesamt spielen. Das wollen wir nun in sehr vielen unterschiedlichen Metalloxiden systematisch untersuchen. Und wir beobachten natürlich, was die anderen machen und verfolgen dann einen eigenen Ansatz. So gehen die Amerikaner von sehr guten Solarzellen aus und versuchen sie stabiler gegen die Korrosion zu machen. Wir dagegen starten mit billigen und robusten Materialien wie den Metalloxiden und versuchen, die Effizienz zu steigern.

### Wo steht das HZB im internationalen Vergleich?

Die USA haben mit dem EnergyHub-Programm seit 2010 sehr viel Schwung in die Forschung gebracht. Das Joint Center for Artificial Photosynthesis (JCAP) am CalTech in Kalifornien, mit dem wir auch zusammenarbeiten, ist die größte Initiative auf dem Planeten für Solare Brennstoffe. Auch in Brasilien, Korea und Schweden gibt es eigene Forschungszentren zur Künstlichen Photosynthese. Das HZB stellt mit dem Institut für Solare Brennstoffe inzwischen schon eine der größeren Gruppen in Europa. Wir sind um die 50 Personen, aber es kommt natürlich nicht nur auf die Größe an: Wir haben Zugriff auf eine tolle Infrastruktur, zum Beispiel an BESSY II und demnächst an EMIL. So werden wir an EMIL hunderte Proben mit leichten Variationen in der Zusammensetzung herstellen und gleichzeitig

charakterisieren können. Das ist unser Alleinstellungsmerkmal und das hilft uns im Wettbewerb.

### Was sind Ihre konkreten Ziele für die nächsten Jahre?

Als Helmholtz-Zentrum haben wir auch den Auftrag, über die Grundlagenforschung hinaus zu gehen und zu demonstrieren, dass solche Systeme machbar sind. Im April 2014 haben wir am HZB als Koordinator das EU-Projekt PECDEMO gestartet. In den nächsten drei Jahren wollen wir ein System entwickeln, das mindestens acht Prozent der Solarenergie speichern kann und dabei 1.000 Stunden stabil bleibt. Das ist die magische Zahl, um die Industrie für die Technologie zu gewinnen. Natürlich ist es riskant, solche klaren Ziele festzulegen. Aber wir wollen das Risiko eingehen. Seit den 1970er-Jahren sprechen wir von dieser Technologie, seit fünf Jahren haben sich die Fortschritte enorm beschleunigt. Jetzt sollten wir ehrgeizige Ziele setzen.

*Das Gespräch führte Antonia Rötger*

## ZUSAMMENGEFASST

- Solarenergie in Form von Wasserstoff speichern zu können, gilt als Schlüssel zur Realisierung einer umweltfreundlichen Energieversorgung.
- Forschern vom HZB und der TU Delft gelang es 2013, ein einfaches und stabiles System zu bauen, mit dem fünf Prozent der Solarenergie in Wasserstoff umgewandelt werden kann.
- Theoretisch könnten bis zu 30 Prozent der Energie des Sonnenlichts chemisch gespeichert werden.
- Das HZB und seine Partner peilen in den nächsten drei Jahren ein System an, das acht Prozent der Solarenergie speichern kann und mindestens 1.000 Stunden stabil bleibt.







# HIGHLIGHTS AUS DEN NUTZEREXPERIMENTEN

**Mehr als 3.400 Nutzerbesuche** konnten 2013 am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof registriert werden. Sie verteilten sich auf fast 400 Forschergruppen aus 31 Ländern.

**Über 7.000 Stunden** wurde die Speicherringanlage BESSY II im vergangenen Jahr für die wissenschaftliche Nutzung betrieben. Abzüglich der Zeit für Beschleunigerstudien und unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit von einzelnen Strahlrohren und Experimentierstationen konnten circa 12.000 Schichten zu je 8 Stunden an den 38 Strahlrohren und Experimentierstationen von den Messgästen genutzt werden.

**Rund 84 Prozent** der an BESSY II zur Verfügung stehenden Schichten konnten Wissenschaftler für die Forschung nutzen: Etwa 70 Prozent wurden für externe wissenschaftliche Projekte genutzt, HZB-Wissenschaftler verwendeten circa 14 Prozent der Messzeit im Rahmen der Eigenforschung. Auf technische Ausfälle und Training entfielen circa 16 Prozent.

**171,5 Tage** mit elf Reaktorzyklen war die Neutronenquelle BER II in Berlin-Wannsee im vergangenen Jahr auf Leistungsbetrieb. 15 Instrumente mit über 2.500 Instrumenttagen standen in dieser Zeit zur Verfügung. Davon benötigten die Wissenschaftler circa 430 Tage für Wartung und Instrumentierung. An mehr als 2.000 Instrumenttagen konnten die Forscher Experimente durchführen.

**Circa 61 Prozent** der verfügbaren Messzeit an BER II nutzten externe Messgäste für Kurzzeitprojekte und etwa 12 Prozent für Langzeitprojekte. HZB-Wissenschaftler konnten fast 560 Instrumenttage (rund 27 Prozent) für die Eigenforschung nutzen.

**248 Projekte** wurden 2013 an BER II mit Messzeit be-  
dacht – das entsprach 75 Prozent aller Projekte, für die Messzeitanträge gestellt wurden. Davon stammten jeweils 91 Projekte aus den Themenschwerpunkten Magnetismus und Supraleitfähigkeit bzw. Materialwissenschaften, Kristallographie und Archäometrie. 61 Projekte kamen aus dem Bereich Soft Condensed Matter, Biologie und Life Sciences.



## KATALYSATOREN BEI DER ARBEIT ZUGESCHAUT

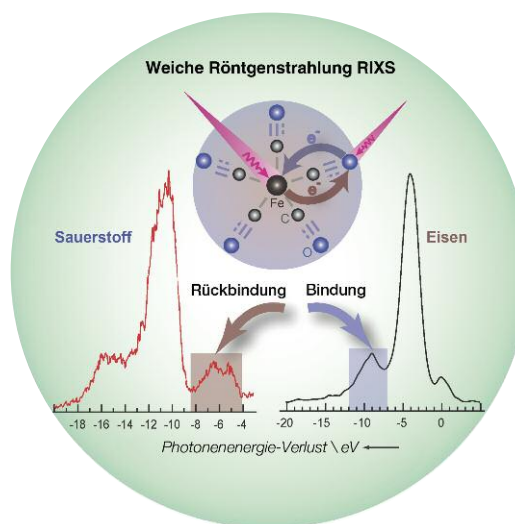
Einer Gruppe von Wissenschaftlern ist es am HZB durch eine innovative Methodenkombination gelungen, **katalytische Prozesse auf atomarer Ebene** zu beobachten. Ihre Kenntnisse sollen dazu beitragen, neue Katalysatoren zu entwickeln.

Die Entwicklung von Materialien mit neuartigen katalytischen Eigenschaften hat gerade in der Energieforschung große Bedeutung. Besonders wichtig ist dabei das Verständnis dynamischer Vorgänge beim Katalyseprozess auf atomarer Ebene, wie beispielsweise die Bildung und das Aufbrechen chemischer Bindungen oder sogenannte Ligandenaustauschreaktionen. Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) haben gemeinsam mit Kooperationspartnern ein als RIXS bezeichnete spektroskopische Methode mit der sogenannten *ab initio*-Theorie kombiniert, um diese Prozesse an einem für die Katalysatorforschung bedeutenden metallischen Molekülkomplex – dem Eisen-carbonylkomplex – detailliert zu beschreiben.

### Direkte Untersuchung chemischer Verbindungen

Eisencarbonylkomplexe werden bei einer großen Anzahl chemischer Reaktionen und industrieller Prozesse eingesetzt, wie beispielsweise in der lichtinduzierten Wasserreduktion oder der katalytischen Kohlenmonoxid (CO)-Entfernung aus Abgasen. Die Katalyse erfolgt durch den schnellen Aufbau und das anschließende Lösen chemischer Bindungen zwischen dem Metallzentrum und dem Carbonylliganden. „Für uns ist es essentiell, die Stärke von Orbital-Wechselwirkung in Carbonylkomplexen durch eine direkte Untersuchung der Metallzentren und des Liganden bestimmen zu können“, sagt Prof. Dr. Emad Flear Aziz, Gruppenleiter der HZB-Nachwuchsgruppe `Struktur und Dynamik funktionaler Materialien`. Bisher war diese Untersuchung in homogener Katalyse in Lösung nicht möglich. Die Entwicklung der neuen „LiXEdrom“ Versuchsstation für Messungen an einem Mikro-Flüssigkeitsstrahl in der HZB-Nachwuchsgruppe hat die RIXS-Experimente (Resonant Inelastic X-ray Scattering) an funktionalen Materialien unter in situ-Bedingungen ermöglicht.

Am Elektronenspeicherring BESSY II ist es dem Team um Aziz gemeinsam mit Wissenschaftlern aus verschiedenen Universitäten gelungen, unter Bedingungen, bei denen auch in der Realität die Katalyse abläuft (in-situ), sowohl das Metall als auch die Liganden mittels der RIXS-Spektroskopie zu untersuchen. Sie stellten eine sehr starke Orbital-Wechselwirkung



Elementarste Prozesse im Rampenlicht: Donor- und Akzeptorbindungseigenschaften des Modellkatalysators  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  in Lösung werden mithilfe von resonanter, inelastischer Röntgenstreuung untersucht.

zwischen dem Metall und dessen Liganden fest, die zu einer Schwächung und Verlängerung der chemischen Bindung während der RIXS-Anregungen führte.

### Kombination von Theorie und Forschung

Die experimentellen Ergebnisse wurden durch theoretische *ab initio*-Verfahren von der Universität Rostock unterstützt. „Mit dieser neuen Methodenkombination haben wir grundlegende Einsichten in die elektronische Struktur von Eisencarbonyl-Komplexen unter katalyserelevanten Bedingungen erhalten“, sagt Aziz: „Unser Ansatz kann zu einem besseren Verständnis von Reaktionsdynamiken und Metall-Liganden-Lösungsmittel-Wechselwirkungen auf sehr kurzen Zeitskalen beitragen. Das führt zu einer verbesserten Kontrolle von katalytischen Eigenschaften – und birgt großes Potential für die Herstellung neuer katalytisch aktiver Materialien.“ Die Arbeiten fanden in Kooperation mit Prof. Dr. M. Bauer (Fachbereich Chemie, TU Kaiserslautern), Prof. Dr. J.-E. Rubensson (Dept. of Physics and Astronomy, Uppsala University) und Prof. Dr. O. Kühn (Institut für Physik, Universität Rostock) statt.

hs

Angewandte Chemie, International Edition, Vol. 52, Is. 37, pp. 9841-9844 (DOI: 10.1002/anie.201303310): Direct Observation of Molecular Orbital Mixing in a Solvated Organometallic Complex, E. Suljoti, R. Garcia-Diez, S. I. Bokarev, K. M. Lange, R. Schoch, B. Dierker, M. Dantz, K. Yamamoto, N. Engel, K. Atak, O. Kühn, M. Bauer, J.-E. Rubensson and E. F. Aziz



## DER BATTERIE INS HERZ GEBLICKT

Lithium-Ionen-Batterien verlieren mit jedem Ladevorgang an Kapazität. Ein Forscherteam am HZB hat die chemischen Prozesse **beim Ladevorgang** untersucht und einen Effekt entdeckt, der dieses Phänomen erklären könnte.

Lithium-Ionen-Batterien sind die Stars unter den chemischen Energiespeichern. Wenn es darum geht, Smartphones oder Tablet-Computer mit Strom zu versorgen, sind sie die erste Wahl. Und auch die Hersteller von Elektroautos setzen auf die robusten Zellen auf Lithium-Ionen-Basis. Doch für die anspruchsvolle automobilen Anwendung müssen die Batterien noch deutlich an Können zulegen – vor allem bei der Energiedichte, die über das Gewicht der Batterie und die Reichweite des Elektrofahrzeugs bestimmt. „Entscheidend dafür sind mikroskopische Prozesse, die beim Laden und Entladen an den Elektroden der Zellen ablaufen“, sagt Roland Steitz, Chemiker am HZB-Institut für Weiche Materie und Funktionale Materialien. Dort reagiert Lithium reversibel mit anderen Substanzen zu chemischen Verbindungen, oder Lithium-Atome werden im Elektrodenmaterial eingebettet und wieder herausgeführt. „Das läuft recht langsam ab, weshalb das Laden der Akkus lange dauert“, sagt Steitz. Und: „Die atomaren Vorgänge lassen die Batterie allmählich altern.“ Was dabei genau an der Grenzfläche zwischen Elektrode und dem Elektrolyt – der leitfähigen Substanz, die die beiden Elektroden trennt – geschieht, ist bislang offen. Ein Grund sind die hohen Hürden, die die Experimentatoren zu überwinden haben, um die atomaren Abläufe in situ – also vor Ort und an einer intakten Zelle – verfolgen zu können. Doch gemeinsam mit Harald Schmidt, dem Leiter der Arbeitsgruppe Mikrokinetik am Institut für Metallurgie der TU Clausthal, und weiteren Wissenschaftlern aus mehreren Forschungseinrichtungen konnte Steitz per Neutronenstreuung an Lithium-Atomen tief ins Herz einer Batterie blicken.

### Ladevorgang mit Neutronen untersucht

Mit den Neutronen nahmen die Forscher am HZB eine Batterie-Elektrode aus amorphem Silizium unter die Lupe – ein Werkstoff, der als aussichtsreicher Kandidat für eine neue Generation von Lithium-Ionen-Batterien mit besonders hoher Kapazität gilt. Dazu trugen sie eine Schicht aus diesem Material auf ein Quarz-Substrat auf, das sie in eine luftdichte Kapsel einschlossen. Als Gegenelektrode diente metallisches Lithium. Während sie eine elektrische Spannung an die Batterie anlegten, durchleuchteten die Wissenschaftler



Um die Lithium-Ionen-Batterien von Elektrofahrzeugen zu verbessern, haben Wissenschaftler am HZB den Ladevorgang auf atomarer Ebene untersucht.

die Zelle mit einem Neutronenstrahl. Simulationsrechnungen halfen, die Messdaten der Streuung direkt mit den mikroskopischen Strukturen in der Zelle in Verbindung bringen. „Dadurch konnten wir unmittelbar beobachten, wie Lithium in die Elektrode eindrang und sich dort verteilte“, berichtet Steitz. „Zudem konnten wir verfolgen, wie sich die Elektrode, während das Lithium eingebettet wurde, ausdehnte – weil sich dabei die Struktur des Siliziums veränderte.“ Überrascht waren die Forscher von der Erkenntnis, dass beim umgekehrten Vorgang, als die Lithium-Ionen das amorphe Silizium verließen, eine wenige Nanometer dünne, feste und an Lithium reiche Schicht an der Oberfläche der Elektrode entstand. „Sie könnte ein Grund dafür sein, dass Lithium-Ionen-Batterien beim Laden und Entladen nach und nach irreversibel an Kapazität einbüßen“, sagt der HZB-Forscher. Dieser Entdeckung wollen er und seine Kollegen in neuen Experimenten detailliert auf den Grund gehen. Damit hoffen sie, einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien leisten zu können – und das Tor zu einem breiten Spektrum von Anwendungen aufzustoßen. *rb*

Phys. Chem. Chem. Phys., 2013, 15, 7777 (DOI: 10.1039/c3cp44438d): Neutron reflectometry studies on the lithiation of amorphous silicon electrodes in lithium-ion batteries, B. Jerliu, L. Dörrer, E. Hüger, G. Borchardt, R. Steitz, U. Geckle, V. Oberst, M. Bruns, O. Schneider and H. Schmidt



## MAGNETOELEKTRISCHE KOPPLUNG BELEUCHTET

Ferroelektrische und -magnetische Eigenschaften voneinander abhängig in einem System zu nutzen: Das ist einem Team vom Center for Nanointegration (CENIDE) der Universität Duisburg-Essen (UDE) in einem **Komposit-System** gelungen, das sie an BESSY II untersucht haben.

**S**chon Ende der 1950er-Jahre prophezeite der amerikanische Physiker und spätere Nobelpreisträger Richard Feynman, alles Wissen der Welt könne irgendwann in einem Speicher von der Größe eines kleinen Sandkorns hinterlegt werden. Nun passen zwar heute schon Terabyte in das Volumen einer Butterbrot-dose, während erste Computer mit nur wenigen Kilobyte Speicherleistung vor 70 Jahren noch ganze Hallen füllten. Doch auch den heutigen Möglichkeiten der Speichertechnik sind Grenzen gesetzt – das System ist nicht mehr beliebig zu verkleinern oder zu beschleunigen. Für die immer komplexeren Anforderungen müssen neue Techniken her.

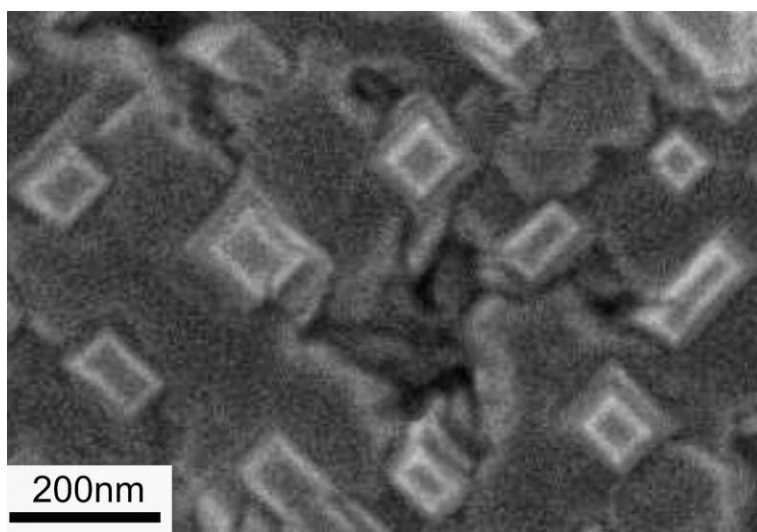
### Grundlagenforschung für künftige Speichermedien

Die CENIDE-Wissenschaftler beschäftigen sich mit Forschungen, die einmal die Grundlage neuer Speichermedien sein könnten: Das vom Team um die Experimentalphysiker Prof. Dr. Heiko Wende, Prof. Dr. Wolfgang Kleemann und Dr. Carolin Schmitz-Antoniak untersuchte System besteht aus einer Schicht aus Bariumtitanat, in der winzige, nur wenige Nanometer große Säulen aus Cobaltferrit eingebettet sind. Beide Bestandteile dieses Komposits unterscheiden sich: Die Säulen sind ferrimagnetisch, das heißt sie richten sich wie kleine Kompassnadeln an einem Magnetfeld aus. Zusätzlich werden sie durch ein Magnetfeld verformt. Die umgebende Schicht hingegen, auch Matrix genannt, ist ferroelektrisch und baut eine elektrische Spannung auf, wenn sie unter mechanischem Druck steht. Diesen sogenannten piezoelektrischen Effekt nutzt man übrigens auch bei Feuerzeugen ohne Zündstein: Beim Druck auf den Knopf schlägt eine Feder einen Stößel auf den Piezokristall und erzeugt so eine große elektrische Spannung. Dadurch entsteht an den anliegenden Metallkontakten ein Funke, der das Feuerzuggas entzündet.

### Gezielte Stauchung von nanoskaligen Säulen

Das Ziel der Wissenschaftler ist es, die nanoskaligen Säulen über ein Magnetfeld zu verformen und so mechanischen Druck auf die Matrix auszuüben. Man spricht dabei auch von der „magnetoelektrischen Kopplung eines multiferroischen Kompositsystems“, einem weltweit aktuellen Forschungsgebiet mit hoher Anwendungsrelevanz. Die magnetoelektrische Kopplung beruht tatsächlich auf winzigen Bewegungen der Atome im Komposit: Legt man entlang der langen Säulenachse ein Magnetfeld an, so ziehen sich die Säulen in dieser Richtung zusammen. Ihr Umfang vergrößert sich dabei, um das Volumen konstant zu halten – und so drücken sie an allen Seiten auf die umgebende Matrix. Unter dem Druck baut diese elektrische Spannung auf.

Verläuft das Magnetfeld hingegen senkrecht zu den Säulen, ziehen sich diese in Feldrichtung zusammen, während sie sich quer dazu ausdehnen. So wird die Matrix nur quer zum



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Schicht aus Bariumtitanat, in der die winzigen, nur wenige Nanometer großen Säulen aus Cobaltferrit eingebettet sind. Während die Schicht ferroelektrisch ist, sind die Säulen ferrimagnetisch.





Für ihre Experimente nutzten die Forscher weiche und harte Röntgenstrahlung, die an zwei verschiedenen Strahlrohren an BESSY II zur Verfügung steht.

Magnetfeld gestaucht und bildet eine asymmetrische elektrische Polarisationsverteilung aus, die in diesem System zuvor noch niemand beobachtet hat. Für die digitale Datenspeicherung wird das System dadurch interessant, dass die elektrische Polarisation auch noch erhalten bleibt, wenn das Magnetfeld wieder ausgeschaltet ist. So haben die Forscher bereits eine Strategie entwickelt, einzelne Säulen durch Strompulse in Längs- und Querrichtung gezielt zu stauchen, um so Informationen bitweise einzuschreiben.

### Spannung statt Stromfluss

Grundsätzlich sollte das Prinzip auch umgekehrt funktionieren: Nur über eine elektrische Spannung, also ohne Stromfluss, kann die Magnetisierungsrichtung umgeschaltet und so ein Bit geschrieben werden. Das Auslesen der Information würde wie bislang über die magnetische Struktur möglich sein. „Natürlich sprechen wir hier noch von Zukunftsmusik“, sagt Arbeitsgruppenleiter Heiko Wende, „doch das magnetoelektrische Speicherprinzip bietet grundsätzliche Vorteile.“ So ist es auf lange Sicht sehr energieeffizient, weil nur Spannung, aber kein Stromfluss benötigt wird. Auf diese Weise würde auch keine Wärme produziert, die gerade für die Datensicherheit der extrem dicht gepackten Speicherelemente äußerst schädlich wäre. Magnetoelektrische Speicher funktionieren zudem im Gegensatz zu manch anderen High-Tech-Visionen ohne zusätzliche Kühlung bei Zimmertemperatur und sichern die in ihnen gespeicherten Daten extrem stabil. Doch bis gestauchte magnetische Nanosäulen tatsächlich unsere Daten bewahren, werden noch viele Speicherzellen gelöscht und wieder beschrieben.

### Forschung mit weicher und harter Röntgenstrahlung

Für die Untersuchungen an BESSY II wurde in der Hochfeldkammer am Strahlrohr UE46-PGM1 weiche Röntgenstrahlung verwendet und die einzigartige Möglichkeit genutzt, die die Kammer bietet: Man kann dort das angelegte Magnetfeld relativ zu der Polarisationsrichtung des verwendeten Röntgenlichts drehen. Unter Ausnutzung der

Kombination des sogenannten Zirkulardichroismus und des Lineardichroismus bekamen die Wissenschaftler Informationen über den Magnetismus sowie über die elektrische Polarisation der beteiligten Atome. Die Experimente wurden in Kooperation mit Dr. Detlef Schmitz vom Institut Komplexe Magnetische Materialien durchgeführt. Darüber hinaus wurden in Kooperation mit Dr. Esther Dudzik und Dr. Ralf Feyerherm vom selben HZB-Institut Untersuchungen mit harter Röntgenstrahlung am MAGS-Strahlrohr durchgeführt. Die dabei gewonnenen Informationen über die Kristallstruktur bestätigten die Deformation der Matrix durch das angelegte Magnetfeld, die auch noch nach Abschalten des Magnetfelds teilweise erhalten bleibt. *ih*

Nature Communications 4:2051, 2013 (doi: 10.1038/ncomms3051): Electric in-plane polarization in multiferroic  $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{BaTiO}_3$  nanocomposite tuned by magnetic fields; C. Schmitz-Antoniak, D. Schmitz, P. Borisov, F. M. F. de Groot, S. Stienen, A. Warland, B. Krumme, R. Feyerherm, E. Dudzik, W. Kleemann and H. Wende

## ZUSAMMENGEFASST

- Die aktuelle Technik zur Datenspeicherung stößt bei der Größe der Speicher und der Geschwindigkeit des Speichervorgangs an ihre physikalischen Grenzen.
- Materialien, in denen sich ferroelektrische und ferromagnetische Eigenschaften voneinander unabhängig steuern lassen, könnten einen Weg zur weiteren Miniaturisierung von Speichern eröffnen.
- Einem CENIDE-Forscherteam ist die Steuerung von nur wenige Nanometer großer Säulen innerhalb eines Komposit-Materials gelungen, das sie an BESSY II untersuchten.
- Bis zum praktischen Einsatz des magnetoelektrischen Speicherprinzips ist aber noch weitere Forschung notwendig.



## ANTIKE MÜNZEN UNTER NEUTRONENBESCHUSS

Wissenschaftler um Gerald Eisenblätter haben bei der Untersuchung antiker römischer Münzen mittels Computertomographie **Defekte im Münzkern** entdeckt. Sie weisen auf Zersetzungsprozesse hin, die es für Restauratoren zu stoppen gilt.

**E**infach so in das Innere antiker Münze schauen zu können – davon haben die Pioniere der Archäometrie, also der naturwissenschaftlichen Methoden in der Archäologie, Anfang des 19. Jahrhunderts nur geträumt. Gerald Eisenblätter von der Universität Leipzig untersucht genau diese Möglichkeit. Er nutzt die Röntgencomputertomographie, um alte Münzen auf die Zusammensetzung des Metalls, die Dichteverteilung im Inneren und damit auch den Erhaltungszustand zu analysieren. Wichtig dabei: Die durchleuchteten Objekte werden nicht beschädigt.

2D-Röntgencomputertomographieschnittbild des Sesterz des Tiberius aus der Sammlung des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig. Münzmitte mit dem Bohrloch früherer Untersuchung (unten links) und zwei Stellen mit Zinkverarmungen (runde Flächen).



In der Medizin oder in den Materialwissenschaften wird die Röntgencomputertomographie bereits häufig eingesetzt – etwa zur zerstörungsfreien Untersuchung von Bauelementen. In der Archäometrie findet sie hingegen noch selten Anwendung. Gerald Eisenblätter erklärt das bildgebende Verfahren: „Wenn wir Röntgenstrahlen durch ein Objekt schießen, absorbiert dieses einen Teil davon, die polychromatischen Röntgenstrahlen werden abgeschwächt.“ Durch die Dichteunterschiede im untersuchten Gegenstand entsteht beim Austritt der Strahlen ein spezifisches Bild. Nimmt man von dem untersuchten Objekt viele Projektionen aus unterschiedlichen Winkeln auf, erhält man ein sehr genaues dreidimensionales Abbild, das zudem Auskunft über die innere Beschaffenheit gibt.

### Zweite Messmethode zur Kontrolle

Auf diese Weise hat das Team um Gerald Eisenblätter im Arbeitskreis von Prof. Dr. Klöß Zweifel an der Echtheit der untersuchten römischen Kupfermünzen ausgeräumt. Und auch der Schwachpunkt eines früheren Gutachtens ist nun offensichtlich. „Wir konnten zeigen, dass die Bohrung bei der ersten Analyse in Bereichen stattgefunden hat, die innerlich korrodiert waren.“ Allerdings hatten die Wissenschaftler selbst mit Problemen zu kämpfen: Etwa dem Auftreten störender Effekte, sogenannter Aufhärtungsartefakte. Dabei zeigt sich ein helles Leuchten im Röntgenbild, das zu Fehlinterpretationen führen kann. „Diesen Effekt gibt es bei der Neutronentomographie nicht, weil die Messgeometrie eine andere ist“, erklärt Eisenblätter. Die Lösung des Problems fanden die Forscher am HZB. Gemeinsam mit den HZB-Wissenschaftlern Alexandra Franz, Nikolay Kardjilov und Stefan Zander ermittelten sie am Neutronencomputertomographen CONRAD (V7) und dem Neutronenpulverdiffraktometer FIREPOD (E9) die fehlenden Informationen zur inneren Beschaffenheit der Münze. Es zeigte sich, dass sich die Messlegierung komplett entmischt hatte. Einzelne Bereiche bestanden aufgrund des Verwitterungsprozesses nur noch aus Kupfer. Dies hatte zu den irreführenden Ergebnissen der ersten Untersuchung geführt. „Für uns ein Hinweis, dass Analysen, die mittels invasiver oder ausschließlich mit oberflächensensitiven Methoden entstanden sind, immer noch einmal kontrolliert werden müssen“, sagt Eisenblätter.

Die für Historiker und Restauratoren sicher interessante Erkenntnis aus seiner Forschungsarbeit: „Etwa 20 Prozent der bisher untersuchten 120 Münzen haben im Inneren Defekte“, so Eisenblätter. In einem Fünftel der Münzen laufen also Zersetzungsprozesse ab, die sich womöglich weiter fortsetzen. Eine Aufgabe wird nun sein, Auslöser für diesen Prozess, beispielsweise spezielle Ionen, zu identifizieren. Möglicherweise kann der Zersetzungsprozess in historischen Münzen dann gezielt unterbunden werden. ht

Arbeitstitel – Forum für Leipziger Promovierende, Bd 5, Heft 1 (2013), S. 30–37, Ein Blick in das Innere antiker römischer Kupfermünzen. Eine Analyse mittels 3D-Röntgencomputertomographie, Gerald Eisenblätter

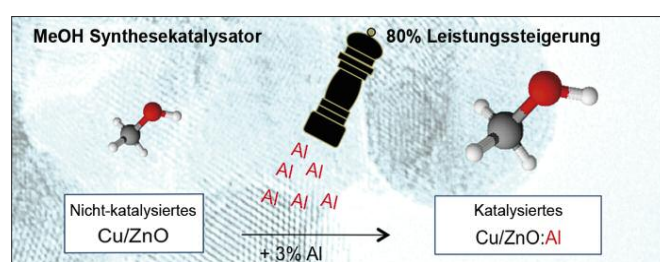
## ETWAS ALUMINIUM BRINGT METHANOL IN DEN TANK

Methanol kann zur **Speicherung regenerativer Energien** genutzt werden. Wissenschaftler um Prof. Dr. Malte Behrens vom Fritz-Haber-Institut forschen an der Verbesserung von Katalysatoren zur Methanolsynthese.

**W**indräder und Solarzellen liefern zu bestimmten Zeiten so viel Strom, dass es dafür nicht genug Abnehmer gibt. Da sich die überschüssige Elektrizität nur zum Teil speichern lässt, könnte man damit Methanol herstellen. Schließlich braucht die chemische Industrie für eine Reihe ihrer Produkte weltweit jedes Jahr 50.000 Tonnen dieses Alkohols. Obendrein kommt Methanol zunehmend als Beimischung zu Benzin zum Einsatz. Stellt man diesen Alkohol aus Wasserstoff und Kohlendioxid her, verbrennt das Methanol im Motor sogar klimaneutral, weil nur die Menge Kohlendioxid freigesetzt wird, die vorher bei der Methanolherstellung gebunden wurde. Diese Methode bietet noch einen weiteren Vorteil: Die Industrie kennt längst Katalysatoren, mit deren Hilfe sie Methanol relativ günstig produziert. Nur wusste bisher niemand so genau, wie diese Katalysatoren funktionieren. Genau das ändern jetzt Malte Behrens vom Berliner Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und seine Kollegen mit Hilfe der weichen Röntgenstrahlung aus der Synchrotronquelle BESSY II am HZB. Hergestellt werden die Katalysatoren aus einer Mischung von Kupferoxid und Zinkoxid, aus der Wasserstoff einen Teil des Sauerstoffs entfernt. Bisher nahmen die Forscher an, dass dabei nur das Kupferoxid in reines Kupfer umgewandelt würde. Dieses Metall sollte dann den Wasserstoff so aktivieren, dass dieser gut mit Kohlendioxid reagiert. Das Zinkoxid hatte wiederum die Aufgabe, ein Verklumpen des Kupfers und damit einen schnellen Abfall der Leistung des Katalysators zu verhindern.

### Ungleiche Verteilung aufgedeckt

Ersetzen Malte Behrens und seine Kollegen das Zinkoxid aber durch das ähnliche Magnesiumoxid, funktioniert der Katalysator nicht mehr. Deshalb gingen die Forscher der Frage nach, welche Rolle das Zinkoxid genau spielt. Dazu durchleuchteten sie den funktionierenden Katalysator mit weichen Röntgenstrahlen von BESSY II. Je höher die Energie dieser Strahlen ist, umso tiefer dringen sie in die Oberfläche des Materials ein. Dabei aber zeigen sich erstaunliche Unterschiede: Das Innere des Katalysators



Drei Prozent Aluminium steigern die Leistungsfähigkeit des Methanol-Katalysators um bis zu 80 Prozent.

enthält rund 80 Prozent Kupfer und 20 Prozent Zink, an seiner Oberfläche gibt es dagegen mehr Zink als Kupfer. Malte Behrens kann sich diese Verteilung am besten so erklären: Beim Herstellen des Katalysators entfernt der Wasserstoff auch ein klein wenig Sauerstoff vom Zink. So entsteht eine Mischung aus Zink und Zinkoxid, die langsam an die Oberfläche kriecht. Das darin enthaltene Zink aktiviert anscheinend das Kohlendioxid, das so leichter in Methanol umgewandelt wird. Diese These wird von der Tatsache unterstützt, dass die Zugabe von etwas Aluminium die Leistung eines solchen Methanol-Katalysators deutlich verbessert. Das Aluminium lagert sich in den besten Katalysatoren vor allem am Zinkoxid an. Behrens vermutet, dass das Aluminium die Beweglichkeit der Mischung aus Zink und Zinkoxid steigert, die so leichter an die Oberfläche des Katalysators gelangt. Aktuell forscht Behrens an der weiteren Verbesserung der Katalysatoren zur Methanolsynthese – etwa durch die Beigabe des Metalls Zirkon, von dem Behrens vermutet, dass es die Beweglichkeit der Zink- und Zinkoxid-Mischung weiter erhöhen kann.

rk

Angewandte Chemie, Vol. 125/Is. 25, p. 6664–6669 (DOI: 10.1002/ange.201301419): Die Rolle der Oxidkomponente für die Entwicklung von Kupfer-Komposit-Katalysatoren zur Synthese von Methanol, S. Zander, E.L. Kunkes, M.E. Schuster, J. Schumann, G. Weinberg, D. Teschner, N. Jacobsen, R. Schlögl and M. Behrens



## STARRE ORDNUNG KONKURRIERT MIT SUPRALEITUNG

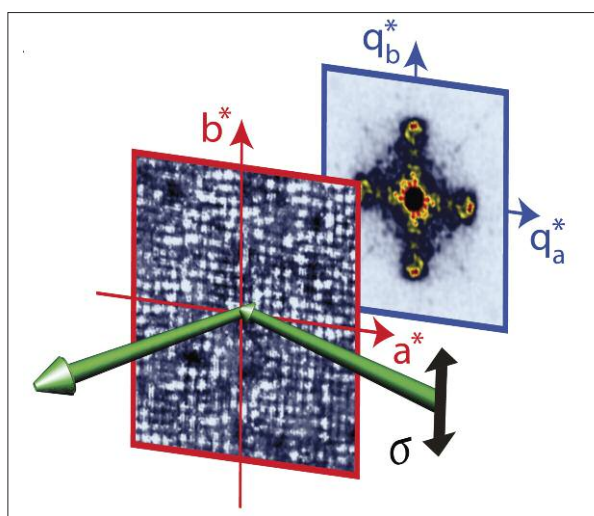
In Hochtemperatursupraleitern wie den Cupraten können die Ladungsträger sich zu **winzigen „Nanostreifen“** anordnen. Dass dadurch die Supraleitung unterdrückt wird, haben Gastforscher aus Princeton und Vancouver an BESSY II gezeigt.

**S**upraleiter sind Materialien, die elektrischen Strom ohne Energieverlust leiten. Klassische Supraleiter müssen dafür jedoch bis fast zum absoluten Nullpunkt (minus 273 Grad Celsius) heruntergekühlt werden, und selbst die „Hochtemperatur-Supraleiter“ benötigen noch sehr tiefe Temperaturen von minus 200 Grad Celsius. Obwohl diese Kühlung aufwändig ist, werden Supraleiter bereits in vielen Bereichen eingesetzt, beispielsweise in der Medizin für die Magnetresonanztomographie. Materialien, die auch bei Raumtemperatur Strom verlustfrei leiten, gibt es trotz großer Anstrengungen noch immer nicht. Hochtemperatursupraleiter sind seit 1986 bekannt, nur ein Jahr später erhielten ihre Entdecker, der Schweizer Karl Alexander Müller und der Deutsche Johannes Georg Bednorz, den Physik-Nobelpreis. Hochtemperatursupraleitung findet man in der Materialklasse der Cuprate – das sind komplexe Verbindungen aus Kupfer und Sauerstoff sowie weiteren Elementen. Doch trotz intensiver Forschung sind entscheidende Prozesse noch immer nicht verstanden. Denn in diesen Materialien hängen die Eigenschaften der Ladungsträger von vielen subtilen Details ab, und es gibt eine Reihe von Mechanismen, die sie daran hindern, den supraleitenden Zustand einzunehmen. So konkurrieren offenbar auch andere Materialzustände mit der Supraleitung.

### Nanostrukturen in der Ladungsanordnung untersucht

Einer dieser Zustände ist die regelmäßige Anordnung der Ladungsträger in streifenförmigen Strukturen auf der Nanoskala. Diese Anordnung macht die Ladungsträger unbeweglich und unterdrückt so die Supraleitung. Bereits 2012 konnten Gastforscher mit Hilfe von Experimenten an BESSY II zeigen, dass dieser Mechanismus in einer relevanten Gruppe von Cupraten auftritt und die Supraleitung verhindert. Unter der Führung von zwei Forschergruppen aus Vancouver und Princeton haben internationale Teams diese sogenannte Ladungsanordnung nun auch in weiteren Cupraten gefunden und als eine grundlegende Eigenschaft dieser Materialien identifiziert.

Sie nutzten dafür das am HZB entwickelte XUV-Diffraktometer an der UE46\_PGM1-Beamline an BESSY II. Mit Synchro-



Streifenanordnung von Ladungsträgern in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ . Die Abbildung zeigt die Struktur mit einer Periode von etwa einem Nanometer (vorn) und das zugehörige Beugungsbild (hinten) in Form einer sogenannten Fouriertransformation.

tronstrahlung im weichen Röntgenbereich gelang es ihnen, diese schwer nachweisbaren Nanostrukturen in der Ladungsanordnung mit hoher Präzision zu messen und damit wesentlich zum Verständnis dieses Phänomens beizutragen. Dabei arbeiteten sie eng mit Wissenschaftlern der Abteilung Quantenphänomene in neuen Materialien am HZB zusammen. „Mit der Identifizierung und dem Verständnis der Konkurrenzprozesse zur Supraleitung verbindet sich die Hoffnung, die konkurrierenden Wechselwirkungen gezielt ausschalten zu können und auf diese Weise Supraleitung bei Raumtemperatur zu ermöglichen“, erklärt Dr. Eugen Weschke, der die Messungen an BESSY II betreut hat. arö

Science, 2013 (doi: 10.1126/science.1243479): Ubiquitous Interplay between Charge Ordering and High-Temperature Superconductivity in Cuprates; E. H. da Silva Neto et al.

Science, 2013 (doi: 10.1126/science.1242996): Charge order driven by Fermi-arc instability in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{CuO}_{6+\delta}$ ; R. Comin et al.

## WINZIGE WASSERSTRÖME UNTER DER NEUTRONENLUPE

Um die Vorgänge, die im Inneren von Brennstoffzellen ablaufen, besser untersuchen zu können, haben Forscher am HZB die **Neutronen-Bildgebung** maßgeblich verbessert.

In Brennstoffzellen reagiert Wasserstoff kontrolliert mit Sauerstoff aus der Luft. Dabei wird elektrischer Strom erzeugt, der einen Elektromotor betreiben kann. Als Reaktionsprodukt entsteht Wasser. Für Anwendungen in Autos oder kleinen Brennstoffzellen-Kraftwerken favorisieren die Ingenieure sogenannte PEM-Brennstoffzellen. Darin trennt eine dünne Haut – eine Polymerelektrolyt-Membran (PEM) – Wasserstoff und Sauerstoff voneinander. Nur Protonen, die Wasserstoff-Atomkerne, können sie für die chemische Reaktion durchdringen. Die PEM muss ständig feucht gehalten werden, um eine optimale Protonen-Leitung zu garantieren. Allerdings: Das Wasser, das sich auf einer Seite der Membran bildet und ansammelt, kann die Funktion der Zelle beeinträchtigen, indem es die Reaktionsgase blockiert. Um diesen störenden Effekt weitgehend verhindern zu können, modellieren und simulieren die Entwickler die Vorgänge in der Zelle. Dazu ist eine präzise Kenntnis nötig, wie Wasser in die Membran eindringt und sich dort verteilt. Ein Wissenschaftlerteam um Nikolay Kardjilov, André Hilger und Ingo Manke vom Institut für angewandte Materialforschung des HZB hat nun gemeinsam mit Forscherkollegen von der University of Tennessee in Knoxville (USA) gezeigt, dass langsame Neutronen sich exzellent eignen, um das mit hoher Auflösung zu analysieren. Dazu bestrahlten sie eine PEM, über die mit Wasserdampf angereicherter Stickstoff strömte, mit „kalten“ (energiearmen) Neutronen. Diese stehen am Instrument CONRAD (Cold Neutron Tomography and Radiography) des HZB zur Verfügung.

### Kalte Neutronen für präzise Messungen

„Neutronen werden von den Wasser-Molekülen absorbiert, während sie andere Materialien weitgehend ungehindert durchdringen“, erklärt Ingo Manke, Leiter der Tomographie-Gruppe am HZB. „Aus der Veränderung der Neutronendichte beim Durchdringen der Probe ließ sich somit die Menge und räumliche Verteilung des Wassers bestimmen.“ Die Physiker sprechen bei diesem Verfahren von Neutronen-Bildgebung. Weil die Brennstoffzellen-Entwickler an immer effektiveren und dünneren Membranen arbeiten, sind für deren Untersuchung sehr empfindliche Messungen erforderlich. Um das

mit kalten Neutronen zu schaffen, entwickelten die Forscher gemeinsam mit Ingenieuren von General Motors eine spezielle, luftdichte Feuchtigkeitszelle. Sie enthielt die Membran, die zwischen zwei Aluminiumplatten befestigt wurde. Über feine Kanäle führten die Forscher den feuchten Stickstoff an die Membran heran und beschossen sie gleichzeitig mit Neutronen. Den gesamten Aufbau erwärmten sie auf 80 Grad Celsius, der üblichen Betriebstemperatur einer PEM-Brennstoffzelle. Um die zeitliche Veränderung der Wasserverteilung verfolgen zu können, erstellten die Wissenschaftler im Abstand von etwa 30 Sekunden eine Folge von zahlreichen



Das Instrument CONRAD auf dem Lise-Meitner-Campus in Wannsee.

Neutronenaufnahmen. Jede dieser Aufnahmen hat eine räumliche Auflösung von rund 30 Mikrometern. Damit konnten die Materialforscher winzige Wassermengen von lediglich 10 Nanogramm im Inneren der Membran nachweisen. „Eine so hohe Messempfindlichkeit ist bislang einzigartig“, freut sich Ingo Manke. „Die Resultate demonstrieren die Leistungsfähigkeit der Bildgebung mit kalten Neutronen – und sie sind vielversprechend für künftige Untersuchungen an PEM-Brennstoffzellen mit noch dünneren Membranen.“ *rb*

Appl. Phys. Lett. 102, 234102, 2013 (doi: 10.1063/1.4811246): Detection of water with high sensitivity to study polymer electrolyte fuel cell membranes using cold neutrons at high spatial resolution; J. R. Bunn, D. Penumadu, R. Woracek, N. Kardjilov, A. Hilger, I. Manke and S. Williams

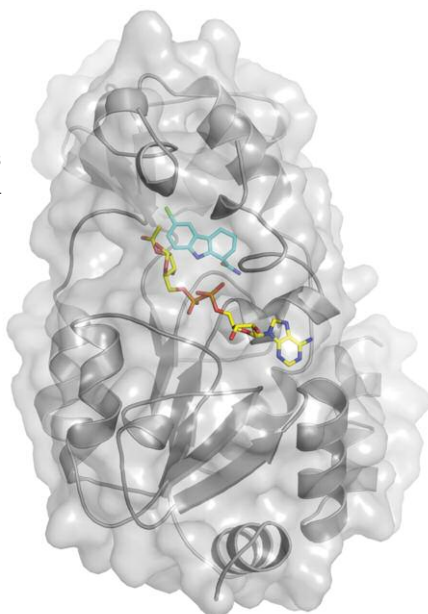


## MEDIZINISCHE FORSCHUNG AN DEN MX-BEAMLINES

Die MX-Beamlines von BESSY II eignen sich perfekt, um Proteinstrukturen zu analysieren. 2013 wurde die **1000. Proteinstruktur** veröffentlicht, deren Daten in Berlin gemessen wurden. Die so gewonnenen Erkenntnisse bilden oft die Grundlage für bessere Behandlungsmethoden.

**P**roteine spielen in vielen Prozessen im Körper eine wichtige Rolle. Um zu verstehen, welche Aufgaben sie erfüllen und wie sie mit anderen Molekülen interagieren müssen Forscher ihre genaue dreidimensionale Gestalt kennen. Diese Faltung lässt sich mit der Methode der Röntgenstrukturanalyse an Proteinkristallen herausfinden. Sie erfordert extrem brillantes Röntgenlicht und besondere Messbedingungen, wie sie seit rund zehn Jahren an den MX-Beamlines an BESSY II zur Verfügung stehen. „In den letzten Jahren haben wir den Messplatz mehrfach erheblich verbessern können, das zeigt sich auch in dem

Der Inhibitor Ex-527 bindet einerseits an das Enzym Sirt 3 (hellgraue Oberfläche), andererseits an acetylierte ADP-Ribose. Diese Substanz ist ein Produkt der von Sirt 3 zunächst ausgelösten Deacetylierung. Damit ist das Aktivzentrum des Sirtuins blockiert, so dass weitere Deacetylierungsprozesse gestoppt sind. So hat sich das Sirtuin gleich beim ersten Mal eine Falle gestellt, in der es gefangen bleibt.



rasant angestiegenen Durchsatz“, sagt Dr. Uwe Müller, der die MX-Beamlines bei BESSY II aufgebaut hat und diese wissenschaftlich und instrumentell betreut. Erst 2010 hatten Forscher der Bayer Healthcare Pharmaceuticals Berlin die 500. Struktur bestimmt. „Nur zwei Jahre später, im Mai 2012, wurden von der Steegborn-Gruppe die Daten gemessen, die im Sommer 2013 zur Veröffentlichung der 1000. Struktur geführt haben“, sagt

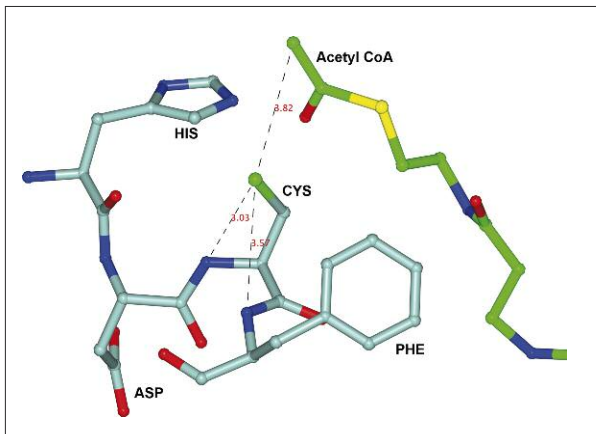
Dr. Manfred Weiss, der zusammen mit Müller als HZB-Wissenschaftler für die MX-Beamlines verantwortlich ist.

### Medizinisch spannende Einblicke

Die Analyse des 1000. Proteins war auch deshalb ein besonderes Highlight, weil das Ergebnis große Relevanz für die medizinische Forschung haben könnte: Sirtuine regulieren Stoffwechsel, Stressantworten und Alterungsprozesse im Körper. Einige Sirtuine – etwa Sirt-1 und Sirt-3 – spielen auch bei der Krebsentstehung eine Rolle. Ihre Aktivität gezielt mit einem Wirkstoff zu hemmen, gilt als interessanter Ansatz für neue Tumorthérapien. Mit ihrer Analyse hat die Forschungsgruppe um Prof. Dr. Clemens Steegborn an der Universität Bayreuth aufklären können, wie die Aktivität von Sirt-1 und Sirt-3 durch das Molekül Ex-527 unterdrückt wird. „Unsere Forschungsergebnisse zeigen, dass Ex-527 ein Inhibitor mit einer ungewöhnlichen und zugleich sehr Sirtuin-spezifischen Wirkungsweise ist“, erklärt Steegborn. „Wenn es mit Hilfe unserer Einsichten gelingt, gezielt nur die Aktivität eines einzigen Sirtuins zu hemmen, könnte dies ein Ansatz für eine wirksame Therapie mit nur minimalen Nebenwirkungen werden“, hofft Steegborn. Diese Ergebnisse aus der Grundlagenforschung sind daher für die medizinische Forschung und die Entwicklung von Wirkstoffen hoch interessant. Im Oktober 2013 feierten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der MX-Beamline die 1.000 Veröffentlichung mit einem Symposium und übergaben Clemens Steegborn dabei einen Preis.

### Aktives Zentrum der Thiolase blockieren

Einen weiteren Erfolg konnten Wissenschaftler der finnischen Universität Oulu und des HZB verbuchen: Sie haben mit ihrer Forschung an der MX-Beamline neue Wege zur Medikamentenentwicklung gegen die afrikanische Schlafkrankheit und andere von Parasiten übertragene, tropische Erkrankungen aufgezeigt. An ihnen erkranken Jahr für Jahr Millionen von Menschen, tausende sterben daran. Medikamente gegen die Parasiten sind teuer und haben häufig starke Nebenwirkungen. Zudem sind seit Jahrzehnten keine neuen, wirksamen Therapeutika entwickelt worden. Die



Das aktive Zentrum des Enzyms Thiolase, das für den Lipid-Stoffwechsel der Parasiten, die die afrikanische Schlafkrankheit auslösen, unverzichtbar ist. Ein Hauptmerkmal des aktiven Zentrums der trypanosomalen Thiolase ist eine spezifische Windung im Proteinmolekül, der sogenannte HDCF-Loop (HIS-ASP-CYS-PHE), dargestellt in hellem Blau.

Weltgesundheitsorganisation WHO misst Forschungen zur Entwicklung entsprechender Wirkstoffe deshalb besondere Bedeutung zu.

Wissenschaftler um Prof. Rik Wierenga von der Universität Oulu haben dafür die Grundlage geschaffen und die Struktur des Enzyms Thiolase aufgeklärt. Thiolase ist für den Lipid-Stoffwechsel der Parasiten unverzichtbar. „Entscheidend ist der Aufbau des aktiven Zentrums des Enzyms“, sagt Wierenga: „Hier docken die für den parasitären Stoffwechsel wichtigen Lipide an. Und hier finden die chemischen Reaktionen statt, mit denen die Lipide umgebaut werden.“ Kennt man die Struktur und die Funktion des

aktiven Zentrums, kann man Substanzen entwickeln, die die Lipide imitieren, fest an das aktive Zentrum des Enzyms andocken und es damit blockieren. Die entsprechenden Moleküle sind hervorragende Ausgangspunkte für die Entwicklung neuer Pharmazeutika.

Die Untersuchungen der Thiolase am BESSY haben ein sehr detailliertes Bild vom aktiven Zentrum der Thiolase ergeben: „Die Vermessung kristalliner Thiolase-Proteine an unserer MX-Beamline hat die Geometrie des aktiven Zentrums im Enzym aufgedeckt“, sagt Dr. Manfred Weiss vom HZB. Dabei hat eine spezifische Windung im Proteinmolekül eine besondere Bedeutung, der sogenannte HDCF-Loop. Die Struktur, die sehr tief im Inneren der Thiolase liegt, war bisher unbekannt. „Die Kenntnis der HDCF-Struktur ist ein idealer Ausgangspunkt zur Entwicklung neuer Medikamente gegen die Parasiten“, fasst Rik Wierenga zusammen.

hs/arö

PNAS 2013; July 8, 2013 (doi: 10.1073/pnas.1303628110): Ex-527 inhibits Sirtuins by exploiting their unique NAD<sup>+</sup>-dependent deacetylation mechanism; M. Gertz, F. Fischer, G. T. Tuyet Nguyen, M. Lakshminarasimhan, M. Schutkowski, M. Weyand and C. Steegborn

Biochem J., 455, 119-130 (doi: 10.1042/BJ20130669): Crystal structures of SCP2-thiolases of Trypanosomatidae, human pathogens causing widespread tropical diseases: the importance for catalysis of the cysteine of the unique HDCF loop; R. K. Harijan, T. R. Kiema, M. P. Karjalainen, N. Janardan, M. R. Murthy, M. S. Weiss, P. A. Michels and R. K. Wierenga

## ÄNDERUNGEN AN DEN MX-BEAMLINES

Seit Februar 2013 ermöglicht der neue Detektor PILATUS-6M an der MX-Beamline BL 14.1 sehr genaue Einblicke in die komplexen Faltungen der Lebensbausteine. „Für unsere Nutzer ist der PILATUS-Detektor ein weiterer Riesenfortschritt. Aufgrund seiner Größe, seiner Rauschfreiheit und seiner Schnelligkeit ist PILATUS-6M das Beste, was es momentan im Bereich Detektoren für Röntgenkristallographie auf dem Markt gibt“, sagt Dr. Uwe Müller, Leiter der HZB-Arbeitsgruppe Kristallographie. Entwickelt und gefertigt wurde das neue Gerät von der Schweizer Firma Dectris. Das HZB investierte 1,2 Millionen Euro in dieses Projekt. Das MX-Team um Dr. Uwe Müller und Dr. Manfred Weiss baut darüber hinaus die MX-Beamline BL 14.2 zu einer dedizierten Fragment-Screening-Beamline aus. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit 640.000 Euro geförderten Verbundforschungsprojekt „Frag2Xtal“ wird die MX-Beamline BL 14.2 so entwickelt, dass sie einen hohen Automatisierungsgrad aufweist. Dieser wird die aufwändige Aufnahme und Auswertung von Hunderten bis hin zu Tausenden von kristallografischen Datensätzen wesentlich erleichtern und damit Experimente, etwa zur Entwicklung von Medikamenten, in vielen Fällen überhaupt erst realisierbar machen.



Uwe Müller (li.) und Thomas Frederking, kaufmännischer Geschäftsführer des HZB, durchtrennen im Februar 2013 das Band für den neuen Pilatus 6M-Detektor.



## GEDRUCKTE BILDSCHIRME

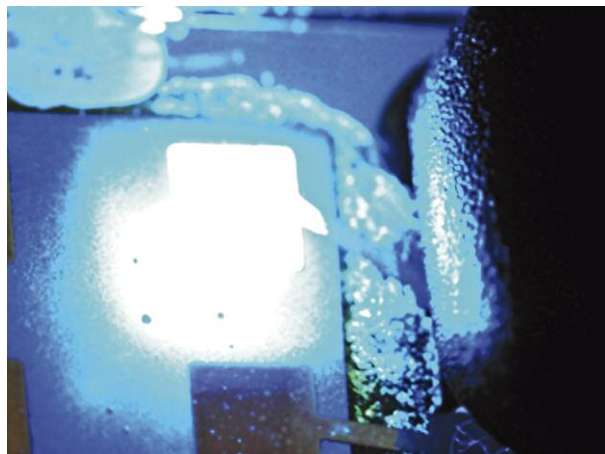
**Organische Leuchtdioden (OLED)** verbrauchen deutlich weniger Energie als herkömmliche Bildschirme. Wie man sie günstiger herstellen kann, hat ein Team um Prof. Dr. Emil List-Kratochvil von der Technischen Universität Graz erforscht.

**E**in Viertel der auf der Erde erzeugten Elektrizität fließt durch Lampen und Bildschirme. Um diesen Verbrauch zu senken, kommen immer öfter die kurz LED genannten Leuchtdioden zum Einsatz. Während Solarzellen Licht in elektrischen Strom verwandeln, drehen LEDs diese Reaktion um und erzeugen Licht aus elektrischem Strom. Anfangs wurden solche Leuchtdioden meist aus Halbleitermaterialien wie etwa Galliumverbindungen hergestellt. Inzwischen kommen aber auch OLEDs auf den Markt, in denen organische Moleküle aus Elektrizität Licht erzeugen. „Ein OLED-Display braucht nicht nur halb so viel Energie wie herkömmliche Flüssigkristall-Anzeigen, sondern ist auch deutlich heller und hat einen höheren Kontrast“, erklärt Emil List-Kratochvil, der an der TU Graz und am NanoTechCenter Weiz in der Steiermark diese organischen Leuchtdioden erforscht.

Erste OLED-Produkte sind bereits auf dem Markt, die Produktion liegt bei 20 Millionen solcher Displays pro Monat. Bisher werden diese OLEDs aber im Vakuum aufgedampft und sind daher relativ teuer. Deutlich billiger ließen sich die organischen Leuchtdioden produzieren, wenn man die benötigten Moleküle in einer Flüssigkeit lösen und wie eine Tinte aufdrucken könnte. Diese Möglichkeit untersuchen Emil List-Kratochvil und seine Mitarbeiter gemeinsam mit Kollegen wie Prof. Dr. Klaus Müllen vom Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz und Prof. Dr. Norbert Koch vom HZB.

### Drucken ist billiger als Aufdampfen

Die Tücken dieser Technik stecken im Detail: So liegen in OLEDs zwei ultradünne Schichten übereinander. Die erste Schicht lässt sich problemlos drucken. Da sich die verwendeten Moleküle aber in ähnlichen Flüssigkeiten lösen, macht das Aufbringen der zweiten Schicht Probleme, weil die Tinte gleichzeitig die tiefere Lage aufzulösen beginnt. Diese Zersetzung verhindern die Forscher mit einem Zwischenschritt: Sie heizen die erste Schicht in einer Argon-Atmosphäre, die sie gegen den aggressiven Sauerstoff der Luft schützt, eine Stunde lang auf 200 Grad Celsius auf. Dabei vernetzen sich die Moleküle der Schicht untereinander und lösen sich nicht mehr, wenn die zweite Schicht aufgedruckt wird. Den gleichen Effekt erreichen die Forscher, wenn sie die Moleküle



Organischen Leuchtdioden (OLED) sind effizient und können gedruckt werden.

einer Schicht so verändern, dass sie sich in bisher nicht für diese Zwecke verwendeten Flüssigkeiten wie Alkohol lösen. Legen die Forscher nun Strom an diese aufgedruckte OLED, strömen von der einen Schicht Elektronen auf die andere Schicht zu, während von dieser sogenannte Löcher in die andere Richtung unterwegs sind. Um zu verhindern, dass negativ geladene Elektronen und positiv geladene Löcher einfach durch beide Schichten durchfließen ohne Licht zu erzeugen, besteht jede Lage aus einem anderen Material. Die Grenze zwischen beiden Schichten bildet so eine Energie-Barriere, die Elektronen und Löcher gleichermaßen aufhält. Dadurch haben beide Zeit, sich miteinander zu vereinigen und bei diesem Vorgang rasch ein Lichtteilchen auszustrahlen. Um möglichst viel Licht aus Elektrizität zu gewinnen, müssen nicht nur die einzelnen Schichten exakt aufeinander liegen, sondern es muss auch die Energie-Barriere zwischen beiden optimal eingestellt werden. Genau das messen die Wissenschaftler um Emil List-Kratochvil an BESSY II. rk

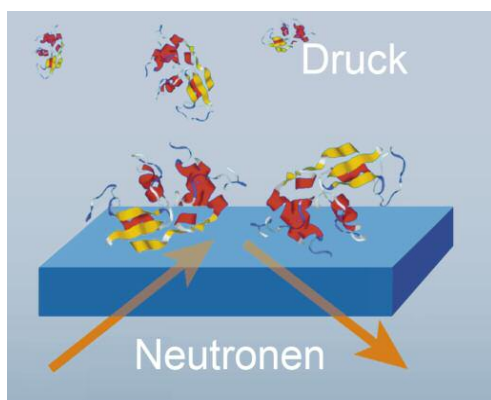
Advanced Functional Materials; Vol. 23/Is. 39, p. 4897–4905; (DOI: 10.1002/adfm.201300360): Bright Blue Solution Processed Triple-Layer Polymer Light-Emitting Diodes Realized by Thermal Layer Stabilization and Orthogonal Solvents; R. Trattng et al.

## ENERGIEBARRIEREN IM NEUTRONENSTRAHL

Die **Entfaltung von Proteinen** führt in verschiedensten Anwendungsbereichen zu Problemen. Wissenschaftler um Dr. Roland Steitz versuchen daher, diesen Prozess besser zu verstehen.

**W**er einmal versucht hat, Eier in einer gusseisernen Pfanne zu braten, kennt das Problem, das sich fast zwangsläufig einstellt. Biochemiker sprechen von Proteinen, die in der Hitze denaturieren. Diese aufgefalteten Eiweiße backen an der Pfanne fest und können nur mit Kraftaufwand wieder aus ihr herausgelöst werden. Ähnliches kann passieren, wenn Ärzte die Herzkranzgefäße eines Patienten mit Hilfe eines sogenannten Stents offen halten wollen. An dieses Gittergerüst aus Metall oder Kunststoff heften sich aus dem Blut Proteine an. Unter Umständen droht dann ein Gefäßverschluss, den der Stent ja eigentlich verhindern sollte. Da sich Proteine noch in etlichen anderen Zusammenhängen an Oberflächen anlagern, haben Physikochemiker wie Roland Steitz vom HZB und Claus Czeslik von der TU Dortmund gute Gründe, die dabei ablaufenden Prozesse seit Jahren genauer zu untersuchen.

Unter hohem Druck von bis zu 2.500 bar lässt sich das Verhalten von mit Fluoreszenzfarbstoff (gelb) markierten Proteinen (rot) an Oberflächen (blau) mithilfe von Neutronen besonders gut und schonend messen.



„Zunächst brauchen die Proteine Energie, um sich zu entfalten“, erklärt Roland Steitz. Im natürlichen Zustand lagern sich die langen Eiweißketten nämlich zu kompakten Knäueln zusammen. Die Hitze in der Pfanne liefert aber genug Energie, um daraus wieder eine Kette zu machen, die sich besonders gut an die Oberfläche des Gusseisens anschmiegen kann. Meist reichen bereits die elektrostatischen Anziehungskräfte eines Materials, um das Protein so weit aufzulösen, dass es gut zur Oberfläche passt. Sogenannte weiche Proteine müssen relativ wenig aufgefaltet werden und

benötigen dafür auch weniger Energie. „Harte Proteine“ müssen dagegen erheblich weiter verformt werden. „Bei ihnen muss eine höhere Energiebarriere überwunden werden“, beschreibt Roland Steitz. Dazu muss das Protein nicht unbedingt aufgeheizt werden, auch höherer Druck faltet Proteine ein wenig auf. Die Lebensmittelindustrie nutzt diesen Vorgang beim Pasteurisieren von Milch – sie wird schnell auf 60 oder 70 Grad Celsius aufgeheizt, sodass sich die Eiweiße von gefährlichen Keimen so weit aufrollen, dass diese abgetötet werden. Das Gleiche gelingt mit hohem Druck – ein Verfahren, das die gesunden Proteine der Milch besser schützt.

### Wie hoch ist die Energiebarriere?

Die Energiebarriere selbst können Physikochemiker mit klassischen Methoden nur über Umwege messen. Claus Czeslik und seine Mitarbeiter markieren dazu zum Beispiel eines von 500 Proteinen mit einem Fluoreszenzfarbstoff. Je stärker die Oberfläche des Proteins leuchtet, umso mehr Farbstoff hängt daran. Und ähnlich wie ein Hobbykoch aus der Färbung der Eimasse in seiner Pfanne auf die Temperaturen schließen kann, errechnen die Forscher aus der Helligkeit des Fluoreszenzfarbstoffs die Energiebarriere, die zur Teil-Entfaltung des Proteins überwunden werden muss. Mit den Neutronen von BER II können die Forscher am Beispiel des Proteins Lysozym dagegen direkt messen, wie viel davon in jeder einzelnen Schicht auf der Oberfläche enthalten ist und wie viele dieser Lagen übereinander liegen. Damit können sie die gemessene Energiebarriere direkt mit der Veränderung an den anhaftenden Proteinen in Verbindung bringen. Das gibt zum Beispiel den Herstellern von Stents Hinweise für die Entwicklung von Beschichtungen, die Proteine abweisen. Gleichzeitig zeigen die Forscher auch, dass sich unter hohem Druck das Verhalten von Proteinen an Oberflächen besonders gut und schonend messen lässt. Zumindest, wenn sie Messkammern besitzen, die dafür stabil genug sind.

rk

ACS, Langmuir, 2013, 29 (25), pp 8025–8030 (DOI: 10.1021/la401296f); Pressure-Induced Protein Adsorption at Aqueous–Solid Interfaces; J. Koo, M. Ertlkamp, S. Grobelny, R. Steitz and C. Czeslik



# DIE RICHTIGE DOTIERUNG MACHT DEN UNTERSCHIED

Wissenschaftler um Prof. Dr. Norbert Koch haben herausgefunden, warum eine schwache Dotierung **polymerbasierte Feldeffekttransistoren** verbessert. Das könnte zur Verbesserung aktiv gesteuerter Displays führen.

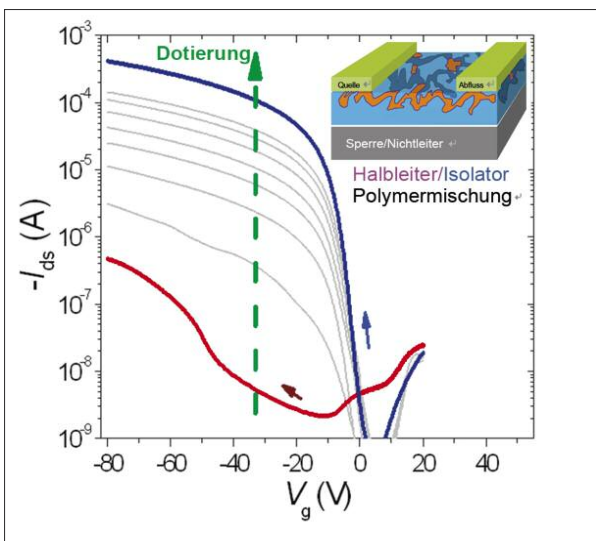
In der organischen Elektronik haben sich Mischsysteme, in denen halbleitende Makromoleküle in einer isolierenden Polymermatrix eingebettet sind, als besonders geeignet für die Herstellung von Transistoren erwiesen. Bislang waren die Gründe dafür nicht genau bekannt. Nun konnten Wissenschaftler aus mehreren Forschungseinrichtungen die komplexe Morphologie dieser Mischsysteme aufklären und damit die elektronischen Eigenschaften erklären. Organische Halbleitermaterialien, die auf konjugierten Polymeren basieren, erreichen inzwischen Ladungsträgermobilitäten, die denen von amorphem Silizium vergleich-

Luftsauerstoff dotiert, was zu schlechten An/Aus-Verhältnissen der Transistoren führt. Vor einigen Jahren wurde gezeigt, dass die Einmischung geringer Mengen halbleitender Makromoleküle in eine isolierende Polymermatrix, etwa aus Polystyrol und Polymethylmethacrylat (PMMA), die Herstellung von Transistoren mit sehr guten elektrischen Eigenschaften erlaubt, die zudem eine ausgezeichnete Stabilität an Luft aufweisen. Das überraschende Verhalten dieser Polymermischungen war bisher nicht verstanden.

## Dank Dotierung: Leitfähige Pfade für den Transport von Ladungen

Wissenschaftlern von der Universität Potsdam und der Humboldt-Universität zu Berlin ist es in Zusammenarbeit mit Gruppen am Helmholtz-Zentrum Berlin, am Max-Planck Institut für Polymerforschung in Mainz und an der Stanford Universität gelungen, die strukturellen und elektrischen Eigenschaften dieser Mischsysteme konsistent zu erklären. Es zeigte sich, dass in diesen Mischsystemen die Dotierung der halbleitenden Komponente zu einer drastischen Verbesserung des Transistorverhaltens führt. In Schichten reiner konjugierter Polymere ist dies nicht zu beobachten. Ursache dafür ist die komplexe Morphologie der Schichten: Dabei sind kleine Kristallite des halbleitenden Polymers inhomogen über das Schichtvolumen verteilt. In dieser komplexen Struktur führt die Dotierung dazu, dass sich leitfähige Perkolationspfade für den Transport der Ladungen entlang des Transistorkanals bilden. Auf der anderen Seite genügt die Verarmung einiger weniger Halbleiterdomänen, um den Transistor komplett abzuschalten. Durch Optimierung der Mischsysteme konnten nahezu transparente organische Feldeffekttransistoren mit Mobilitäten bis zu  $0.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  und sehr hohen An/Aus-Verhältnissen realisiert werden.

arö



Die Kurven zeigen, wie sich mit zunehmender Dotierung in der halbleitenden Schicht das Transistorverhalten drastisch verbessert. Als Ursache machten die Forscher die Bildung leitfähiger Perkolationspfade aus, die den Transport von Ladungen entlang des Transistorkanals ermöglichen.

bar sind oder diese sogar übertreffen. Ein besonders interessantes Anwendungsfeld dieser Materialien sind Dünnschichttransistoren, wie sie zum Beispiel als Backplanes in aktiv gesteuerten Displays Anwendung finden. Halbleitende Polymere sind jedoch nicht transparent, sondern stark gefärbt. Zudem werden viele dieser Materialien durch

Nature Communications, Vol. 4, 1588, (doi: 10.1038/ncomms2587): Moderate doping leads to high performance of semiconductor/insulator polymer blend transistors; G. Lu, J. Blakesley, S. Himmelberger, P. Pingel, J. Frisch, I. Lieberwirth, I. Salzmann, M. Oehzelt, R. Di Pietro, A. Salleo, N. Koch and D. Neher

## DESTRUKTIVEN RADIKALEN AUF DER SPUR

**Lithium-Luft-Batterien** gelten als Hoffnungsträger der Elektromobilität, doch bislang sinkt ihre Kapazität mit jedem Entladungsvorgang. Ein Forscherteam um Dr. Lada Yashina hat am HZB die Ursachen für diesen Defekt entdeckt.

Die Zukunft der Mobilität liegt im Elektroantrieb, doch bislang haben Autos mit Elektroantrieb einen Makel: die Batterie. Die bislang verwendeten Lithium-Ionen-Batterien besitzen eine zu geringe Energiedichte und ermöglichen daher nur eine begrenzte Reichweite von 100 bis 200 Kilometern. Eine deutliche Verbesserung könnten Lithium-Luft-Batterien bringen, deren Energiedichte rund zehnmal so groß ist. Doch dieser Batterie-Typ krankt an einem anderen Defekt: Seine Kapazität sinkt mit jedem Entladevorgang deutlich und ist bereits nach wenigen Zyklen weitgehend aufgezehrt. Die Zellen enthalten eine Lithium-Elektrode und eine Elektrode aus einem Kohlenstoff-Material wie Graphit oder Graphen. Diese Werkstoffe zeichnen sich durch eine hohe elektrische Leitfähigkeit und eine große spezifische Oberfläche aus. Daran reagieren Lithium-Ionen mit Sauerstoff aus der Luft zu Lithiumperoxid. „Zugleich bildet sich auch eine isolierende Schicht aus Karbonat“, sagt Lada Yashina vom Chemischen Institut der Staatlichen Universität Moskau. Die Karbonatschicht ist der Grund für die Verschlechterung der Batteriekapazität.

Yashina hat diesen destruktiven Prozess untersucht, denn bislang war unklar, welche chemischen Reaktionen dabei in der Zelle ablaufen. Gemeinsam mit einem internationalen Wissenschaftlerteam gelang es ihr, das Rätsel zu lösen – durch Experimente am Röntgen-Photoelektronen-Spektrometer (XPS) des HZB. „Die Messungen erfolgten im Rahmen einer seit rund zehn Jahren bestehenden engen Zusammenarbeit zwischen den beiden Forschungseinrichtungen in Moskau und Berlin“, berichtet die Chemikerin. „Die Voraussetzungen dafür sind am HZB fast einzigartig – denn es gibt nur wenige geeignete Spektrometer auf der Welt.“

### Tiefer Blick ins Innere der Batterie

Um die chemischen und elektrochemischen Vorgänge an der Elektrode zu ergründen, luden und entluden die Forscher um Lada Yashina und ihrem Moskauer Kollegen Daniil Itkis eine Lithium-Luft-Zelle immer wieder – und nahmen gleichzeitig den Verlauf der Photoelektronenspektren auf. So konnten sie erstmals die Veränderungen an der Oberfläche des Kohlenstoffs im Detail verfolgen. Das Ergebnis liefert ein neues Bild



Noch verwenden Automobilhersteller in Elektrofahrzeugen wie diesem Nissan Leaf Lithium-Ionen-Batterien, doch die Forschung nach besseren Alternativen läuft – nicht zuletzt durch Experimente am HZB – auf Hochtouren.

vom Innersten der Batterie: Während des Entladens entstehen an der Elektrode für kurze Zeit hochreaktive Superoxid-Radikale, die sich mit Kohlenstoff zu anderen chemischen Substanzen verbinden – unter anderem zu dem störenden Karbonat. „Dabei spielen offenbar Defekte in dem Kohlenstoff-Material eine entscheidende Rolle, die mit sogenannten funktionellen Gruppen verbunden sind“, sagt Daniil Itkis. Sie scheinen den zerstörerischen Attacken der Superoxide eine bevorzugte Angriffsfläche zu bieten. Das belegten die Forscher durch Messungen an unterschiedlichen Kohlenstoff-Varianten: Graphit mit relativ wenigen Defekten zersetzte sich beim Entladen deutlich langsamer als Graphen-Oxid, das wesentlich mehr strukturelle Fehler besitzt.

„Das nährt die Hoffnung, dass sich Lithium-Luft-Batterien so weit optimieren lassen, dass sie sich künftig für eine praktische Anwendung eignen“, resümiert Lada Yashina. Man müsse dazu aber möglichst defektfreie Materialien verwenden oder den Kohlenstoff während des Entladens vor den aggressiven Superoxiden schützen. Wie sich das realisieren lässt, will das Forscherteam in weiteren Experimenten herausfinden.

rb

Nano Letters 2013, 13, 4697–4701, (doi: 10.1021/nl4021649): Reactivity of Carbon in Lithium–Oxygen Battery Positive Electrodes; D. M. Itkis et al.



# DOMÄNENWÄNDE ALS INFORMATIONSSPEICHER

Eine Forschergruppe von der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz hat am HZB erstmals die **Bewegung von magnetischen Domänen** in winzigen Nanodrähten abgebildet. Ihre Erkenntnisse könnten das Tor zu neuen Anwendungen aufstoßen.

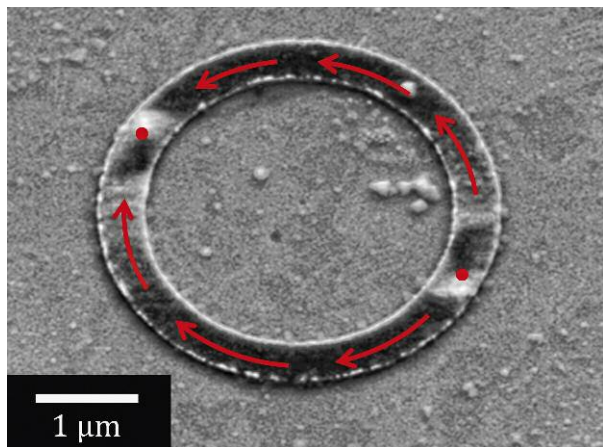
In ferromagnetischen Materialien bilden sich sogenannte Domänen, in denen die Magnetisierung einheitlich ist. Wo solche Domänen aneinander grenzen, bilden sich Domänenwände, die beweglich sind und sich auch gezielt beeinflussen lassen. Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Matthias Kläui an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz hat solche Domänenwände untersucht, die sich in winzigen magnetischen Ringen von etwa vier Mikrometer Durchmesser bilden. Die Ringe bestehen aus Permalloy, einer leicht zu magnetisierenden ferromagnetischen Nickel-Eisen-Legierung.

Die Mainzer Physiker arbeiteten dabei eng mit Wissenschaftlern um Prof. Dr. Gisela Schütz am MPI für Intelligente Systeme in Stuttgart und um Prof. Dr. Stefan Eisebitt, der die gemeinsame Forschergruppe „Funktionale Nanomaterialien“ von HZB und TU Berlin leitet. Durch Messungen an den Synchrotronquellen BESSY II am HZB sowie an der Advanced Light Source in Berkeley, USA, konnten sie die Bewegung der Domänenwände an speziellen Röntgenmikroskopen direkt beobachten. So auch am Röntgenmikroskop MAXYMUS, das von der Abteilung Schütz betrieben wird. Damit gelang es ihnen, die Vorgänge in Bildsequenzen festzuhalten. Sie konnten so theoretisch vorhergesagte Effekte experimentell nachweisen und außerdem neue Eigenschaften feststellen, die interessante Anwendungen in der Informationstechnologie versprechen, zum Beispiel als Informationsspeicher oder als Lagesensoren.

## Schnellere Bewegungen verringern die Wirkung von Defekten

Den Forschern gelang es außerdem, mit rotierenden Magnetfeldern, die sie durch Strompulse erzeugten, die Domänenwände im Ring gezielt zu bewegen und damit im Ring zu drehen. „Je schneller wir die Domänenwand drehen, desto einfacher ist es, sie zu kontrollieren“, so Dr. André Bisig aus der Gruppe um Kläui, Erstautor der Studie. Dabei beobachteten sie auch einen neuen Effekt: Die Geschwindigkeit der Domänenwände oszilliert bei dieser Drehbewegung, da sich die interne magnetische Struktur der Domänenwände periodisch ändert.

Eine weitere Beobachtung betraf die Auswirkungen von Unregelmäßigkeiten oder Defekten in den Nanodrähten. Diese Auswirkungen machen sich nur bei langsamen Domänenwänden bemerkbar. Je schneller eine Domänenwand gedreht wird, umso weniger spielen Defekte im Material eine Rolle. „Diese Ergebnisse erweitern das Verständnis des dynamischen Verhaltens magnetischer Domänenstrukturen“, erklärt Stefan Eisebitt. „Sie illustrieren, wie wichtig es ist, mit modernen Röntgenmikroskopen funktionalen Nanostrukturen bei der Arbeit zuschauen zu können, um aus



Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines ferromagnetischen Ringes: Die Magnetisierung (Schwarz-Weiss-Kontrast) zeigt entlang des Ringes und bildet zwei Domänenwände.

den Erkenntnissen neue Anwendungen zu erschließen.“ Markus Weigand, der leitende Wissenschaftler an der MPI MAXYMUS-Endstation führt aus: „Unser Raster-Röntgenmikroskop ist derzeit das wohl leistungsfähigste Instrument für direkte zeitaufgelöste Abbildungen der Magnetisierungsdynamik. Die Vorgänge können in Zeitlupe um einen Faktor ‚zehn Milliarden‘ langsamer dargestellt werden.“ arö

Nature Communications, Vol. 4, 2013, (DOI: 10.1038/ncomms3328): Correlation between spin structure oscillations and domain wall velocities; André Bisig et al.

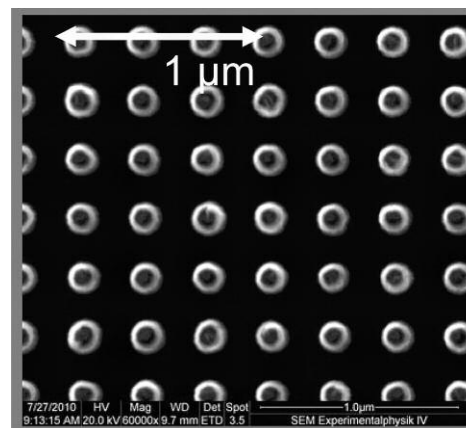
## KETTE STATT ZICKZACK

Wie sich winzige Inseln aus magnetischem Material anordnen, wenn man sie in ein **regelmäßiges Gitter** sortiert, haben Physiker der Ruhr-Universität Bochum (RUB) durch Messungen an BESSY II herausgefunden.

Viele Atome verhalten sich wie Kompassnadeln, also wie kleine magnetische Dipole mit einem Nord- und einem Südpol. Bringt man sie in einem Kristall nahe zusammen, sollten sich alle Dipole aneinander ausrichten, so dass das Material magnetisch wird. Das ist aber nicht der Fall. Ein magnetisches Material entsteht nur, wenn besondere quantenmechanische Kräfte am Werk sind. Normalerweise sind die Kräfte zwischen den atomaren Dipolen viel zu schwach, um sich gegenseitig zu beeinflussen. Außerdem sorgt die thermische Energie selbst bei tiefen Temperaturen für so viel Bewegung der Atome, dass komplette Unordnung entsteht. „Trotzdem blieb die grundsätzliche Frage, wie sich magnetische Dipole anordnen würden, wenn die Kraft zwischen ihnen groß genug wäre“, sagt Prof. Dr. Hartmut Zabel vom Lehrstuhl für Experimentalphysik/Festkörperphysik der RUB: „Das Verständnis der treibenden Wechselwirkungen ist von hohem technischen Interesse für zukünftige Festplatten, die aus kleinen Magnetinseln bestehen werden.“

### Beobachtung magnetischer Dipolinseln

Um das zu untersuchen, haben die Forscher aus einer dünnen magnetischen Schicht mit lithographischen Methoden kreisförmige Inseln von gerade einmal 150 Nanometern Durchmesser ausgeschnitten. Diese ordneten sie in einem regelmäßigen quadratischen Gitter an. Jede der Inseln enthielt etwa eine Million atomarer Dipole. Die Kräfte zwischen zwei Inseln, die als Modell für atomare Dipole dienten, waren also um den Faktor eine Million stärker als zwischen zwei einzelnen Atomen. Überlässt man diese Dipole sich selbst, kann man bei tiefen Temperaturen die Anordnung beobachten, die ausschließlich durch die Wechselwirkung zwischen den Dipolen zustande kommt. Sie nehmen das energetisch günstigste Muster ein, den sogenannten Grundzustand. BESSY II beherbergt ein spezielles Mikroskop, das Photonenemissions-Elektronenmikroskop, mit dem die RUB-Physiker die Ordnung der magnetischen Dipolinseln sichtbar machten. Mit zirkular polarisiertem Synchrotronlicht (Röntgenstrahlen) regt das Gerät spezifische Elektronen an. Diese geben Auskunft über die Ausrichtung der Dipole in den Inseln. Die Experimente fanden bei tiefen Tempera-



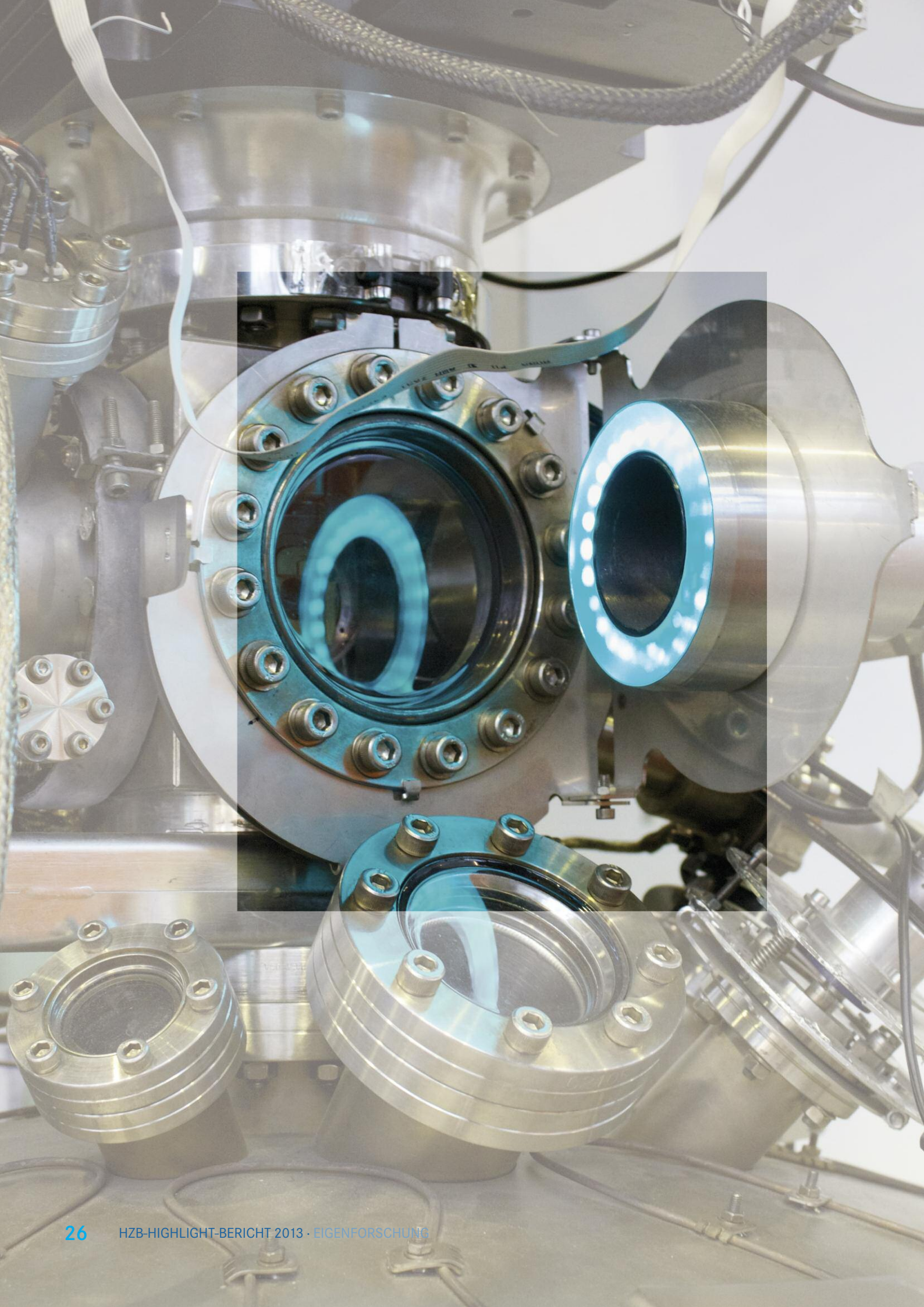
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von einem regelmäßig angeordneten quadratischen Gitter aus magnetischen Inseln. Die Inseln stellten die Forscher mit Elektronenstrahlithographie her.

turen statt, damit die thermische Bewegung die Ausrichtung der Dipole nicht stören konnte.

Die magnetischen Dipole bildeten Ketten; der Nordpol der einen Insel zeigte auf den Südpol der nächsten Insel. „Dieses Ergebnis war überraschend“, sagt Zabel. In dem Gitter hat jede Dipolinsel vier Nachbarn, an denen sie sich ausrichten könnte; vorab kann man nicht sagen, wohin der Nordpol zeigen wird. „Tatsächlich würde man eine zickzackartige Anordnung erwarten“, so der Bochumer Physiker. Anhand des im Experiment beobachteten Kettenmusters zeigten die Forscher, dass Wechselwirkungen höherer Ordnung bestimmen, wie sich die Magnetisierung orientiert. Es spielen nicht nur dipolare, sondern auch quadru- und oktopolare Wechselwirkungen eine Rolle. Das bedeutet, dass eine magnetische Insel gleichzeitig Kräfte auf vier bzw. acht Nachbarn ausübt. Festplatten werden in Zukunft aus winzigen magnetischen Inseln bestehen. Jede Magnetinsel bildet eine Speichereinheit, die die Bit-Zustände „0“ und „1“ repräsentieren kann – codiert durch die Ausrichtung des Dipols. Für einen Computer benötigt man eine Anordnung, in der die Dipolinseln möglichst unabhängig voneinander die Zustände „0“ und „1“ einnehmen können. Für die technische Anwendung ist ein präzises Verständnis der treibenden Wechselwirkungen zwischen magnetischen Inseln daher entscheidend.

Physical Review Letters, 2013 (doi: 10.1103/PhysRevLett.110.177209):  
Magnetic Dipole and Higher Pole Interaction on a Square Lattice;  
M. Ewerlin, D. Demirbas, F. Brüssing, O. Petravic, A.A. Ünal, S. Valencia,  
F. Kronast and H. Zabel





# HIGHLIGHTS AUS DER EIGENEN FORSCHUNG

**1.174 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter** waren 2013 durchschnittlich beim Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie beschäftigt, inklusive der Auszubildenden. Es wurden 22 neue Ausbildungsverträge abgeschlossen, zum 31.12.2013 befanden sich insgesamt 57 Jugendliche in 11 Ausbildungsberufen am HZB. Mit 323 Mitarbeiterinnen lag der Frauenanteil unter den Beschäftigten am HZB bei 27,5 Prozent.

**487 ISI-zitierte Publikationen** wurden 2013 von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am HZB veröffentlicht. Dazu kamen weitere 93 referierte Publikationen, darunter auch die in den Programmen getrennt ausgewiesene Anzahl von Büchern und Buchbeiträgen. Insgesamt stammten 215 Publikationen aus dem Forschungsbereich Erneuerbare Energien und 365 Publikationen aus dem Forschungsbereich Photonen, Neutronen und Ionen (PNI).

**124** Doktoranden wurden 2013 am HZB betreut. Insgesamt wurden am HZB 28 Doktorarbeiten, 6 Diplomarbeiten,

29 Master-Arbeiten, 23 Bachelor-Arbeiten und 2 Studienarbeiten abgeschlossen. Von den Doktoranden arbeiteten 59 für ihre Dissertation im Forschungsbereich Erneuerbare Energien, 65 im Bereich PNI.

**80 Kooperationen** mit Unternehmen ging das HZB 2013 neu ein. Die Gesamtzahl der laufenden Kooperationen mit der Industrie betrug Ende 2013 181 Kooperationen – darunter 79 im Bereich Erneuerbare Energien und 88 im Bereich PNI.

**14 Patente** wurden 2013 vom Deutschen Patent- und Markenamt erteilt, davon 5 im Bereich Erneuerbare Energien und 9 im Bereich PNI. Der Schutzrechtsbestand des HZB umfasste Ende 2013 345 Schutzrechte im In- und Ausland, darunter 235 erteilte Patente. 29 Schutzrechte waren Vertragsgegenstand laufender Lizenzverträge.



## SPANNUNG IM GLAS

Der Übergang vom flüssigen in den festen Zustand ruft bei Materialien Spannungen hervor. **Dr. Miriam Siebenbürger** hat im Rahmen eines Forschungsteams ein Modellsystem entwickelt, um beide Zustände glasklar voneinander trennen zu können.

Viele feste Materialien werden aus der Schmelze heraus produziert. Je nachdem wie rasch die Abkühlung verläuft, bauen sich dabei innere Spannungen auf. Ein Beispiel sind die Prinz-Rupert-Tropfen oder Bologneser Tränen: Ihr dickes Ende hält sogar Hammerschlägen stand, während schon ein leichter Druck am dünnen Ende die gesamte Träne zerspringen lässt. Auch die Eigenschaften von Sicherheitsglas und dem für Smartphonedisplays verwendeten sogenannten Gorillaglas werden durch innere Vorspannungen bestimmt. Doch bislang war kaum verstanden, welche Besonderheiten der Glaszustand im Vergleich zu einer zähen Schmelze aufweist. Mit einem überraschend einfachen Modell hat nun eine große Kooperation aus mehreren Forschungsteams aus Deutschland und Kreta erklären können, was Glas und Schmelze voneinander unterscheidet.

Ein wichtiger Beitrag kam dabei aus dem HZB: Die Chemikerin Dr. Miriam Siebenbürger aus dem HZB-Institut Weiche Materie und Funktionale Materialien hat ein elegantes Modellsystem entwickelt, das aus Kunststoffpartikeln in wässriger Salzlösung besteht, eine sogenannte Suspension: Da die Partikel mit einem Durchmesser von rund 150 Nanometern extrem klein sind, schweben sie in der Lösung und sedimentieren nicht. Diese Nanopartikel besitzen eine thermosensitive „Schale“, deren Dicke sich über Wärme beeinflussen lässt. Sie können dadurch kontinuierlich wachsen oder schrumpfen. So kann die Chemikerin ihre Proben gezielt von einem dicht gepackten „Glas“ in einen weniger dichten, flüssigen Zustand überleiten, sie



Die HZB-Forscherin Dr. Miriam Siebenbürger hat eine Methode mitentwickelt, um Glas von Flüssigkeit eindeutig zu unterscheiden.

also schmelzen. Mit einer rheologischen Messreihe ermittelte Miriam Siebenbürger, wie rasch innere Spannungen in ihren Proben mit unterschiedlichen Packungsdichten abklingen konnten.

**Übereinstimmung von Experiment und Theorie**

Dafür schloss sie die Proben zwischen zwei Platten ein, die gegeneinander verdreht wurden, um Scherkräfte in der Probe zu erzeugen. Nachdem bei konstanter Schergeschwindigkeit ein stationärer Zustand der Scherspannung erreicht war, wurden die Platten aktiv gestoppt. Im Anschluss wurde die Kraft gemessen, die erforderlich war, um die Platten an der Nullposition zu halten. Diese Kraft ist ein Gradmesser für die inneren Spannungen. Dabei zeigte sich der entscheidende Unterschied zwischen dem flüssigen und dem Glas-Zustand deutlich: Während in Flüssigkeiten die Spannungen vollständig abklingen, blieb ein Teil der Spannungen im Glaszustand dauerhaft erhalten. Die Ergebnisse passen sehr gut zu dem theoretischen Modell von Konstanzer Physikern, die das Verhalten harter Kugeln in unterschiedlichen Packungsdichten berechneten. Doch nicht nur das: auch Messungen der inneren Spannungen und der Dynamik an größeren Partikeln (im  $\mu\text{m}$ -Bereich) von Forschern in Kreta und Düsseldorf sowie die molekulardynamische Simulation harter Kugeln von Forschern aus Köln und Mainz zeigen das gleiche Verhalten. Die Wissenschaftler sind überzeugt davon, dass ihre Ergebnisse weitgehend auf alle Gläser übertragbar sind, die durch die hohe Packungsdichte gebildet werden, zum Beispiel auf metallische Gläser, wie sie für High-Tech-Anwendungen entwickelt werden. Die Arbeit wurde in den renommierten *Physical Review Letters* veröffentlicht und erhielt dabei den Status „Selected for a Focus in Physics“ sowie „Editor’s Suggestion“.

arö

Phys. Rev. Lett. 110, 215701 (2013), (DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.215701): Residual Stresses in Glasses; M. Ballauff, J. M. Brader, S. U. Egelhaaf, M. Fuchs, J. Horbach, N. Koumakis, M. Krüger, M. Laurati, K. J. Mutch, G. Petekidis, M. Siebenbürger, Th. Voigtmann, and J. Zausch

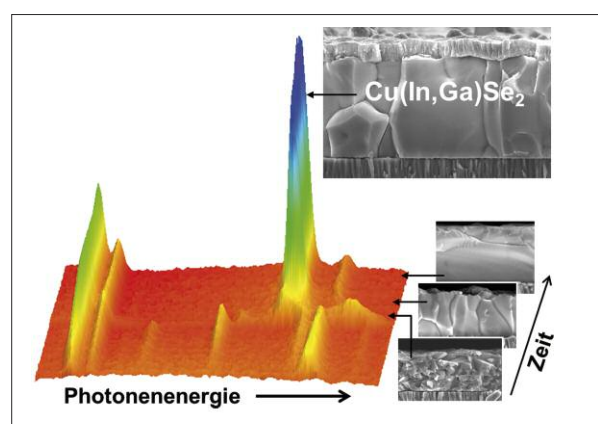
## SOLARZELLEN BEIM WACHSEN ZUGESEHEN

Wissenschaftlern um Dr. Roland Mainz und Dr. Christian Kaufmann am HZB ist es erstmals gelungen, das **Wachstum von hocheffizienten Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzellen** in Echtzeit zu beobachten.

**C**halkopyrit-Dünnschichtzellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Selenid (CIGS) erreichen heute schon Wirkungsgrade von mehr als 20 Prozent. Um solche extrem dünnen, polykristallinen Schichten zu produzieren, hat sich der Prozess der „Ko-Verdampfung“ bewährt. Dabei werden jeweils zwei verschiedene Elemente gleichzeitig aufgedampft: im ersten Schritt Indium (oder Gallium) und Selen, im zweiten Schritt Kupfer und Selen und im dritten Schritt nochmals Indium (oder Gallium) und Selen. So bildet sich ein Teppich aus Kristallen, die nur wenige Defekte aufweisen. „Bis vor kurzem wussten wir jedoch nicht genau, was bei diesem gleichzeitigen Verdampfen eigentlich passiert“, sagt Dr. Roland Mainz vom Institut für Technologie des HZB. Der Physiker und seine Kollegen haben drei Jahre lang daran gearbeitet, um diese Frage durch Messungen vor Ort und in Echtzeit untersuchen zu können.

### Neuartige Versuchskammer mit Vakuum

Dafür haben sie zunächst eine neuartige Versuchskammer konstruiert. Sie erlaubt es, während der Ko-Verdampfung die Bildung der polykristallinen Chalkopyrit-Schicht im Synchrotronlicht von BESSY II zu untersuchen. Diese Vakuum-Kammer enthält neben den Zuführungen für die zu verdampfenden Elemente auch Heiz- und Kühlvorrichtungen, um den Verdampfungsprozess zu steuern. Damit gelang es ihnen, weltweit zum ersten Mal das Wachstum der polykristallinen Schichten mit „in-situ“-Röntgendiffraktion und Fluoreszenzanalyse während der Ko-Verdampfung in Echtzeit zu beobachten. „Wir sehen nun, wie sich die kristallinen Phasen während der verschiedenen Verdampfungsstadien ineinander umwandeln und wie sich dabei Fehlstellen bilden. Aber wir können auch erkennen, wann sich diese Fehlstellen wieder abbauen.“ Dies geschieht im zweiten Schritt, in dem Kupfer und Selen aufgedampft werden. Dabei hilft überschüssiges Kupfer, das sich als Kupfer-Selenid an der Oberfläche abscheidet, die Defekte abzubauen. „Das war schon aus früheren Experimenten bekannt, aber wir konnten nun an Hand der Fluoreszenzsignale und numerischer Modellrechnungen zeigen, dass das Kupfer-Selenid dabei in die Kupfer-Indium-Selenid-



Das Wachstum der Schichten von Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzellen lässt sich über in-situ Röntgenstreuung und Fluoreszenzsignale analysieren.

Schicht (CIS) eindringt“, erklärt Mainz. Hier zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede: Während Kupfer in die CIS-Schicht sehr gut eindringen kann, bleibt es bei der ansonsten recht ähnlichen Verbindung Kupfer-Gallium-Selenid (CGS) an der Oberfläche. Dies könnte ein Grund sein, warum mit reinem CGS bisher keine hohen Solarzellenwirkungsgrade erzielt werden konnten.

„Jetzt wissen wir, wo man ansetzen muss, um den Prozess zu optimieren, nämlich am Übergang in die kupferreiche Phase. Bis jetzt hat man den Prozess in allen Phasen sehr langsam ablaufen lassen, damit sich Defekte abbauen können. Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass man einige Prozessphasen beschleunigen kann und der Prozess nur dort langsam ablaufen muss, wo Defekte optimal abgebaut werden“, erklärt Mainz. arö

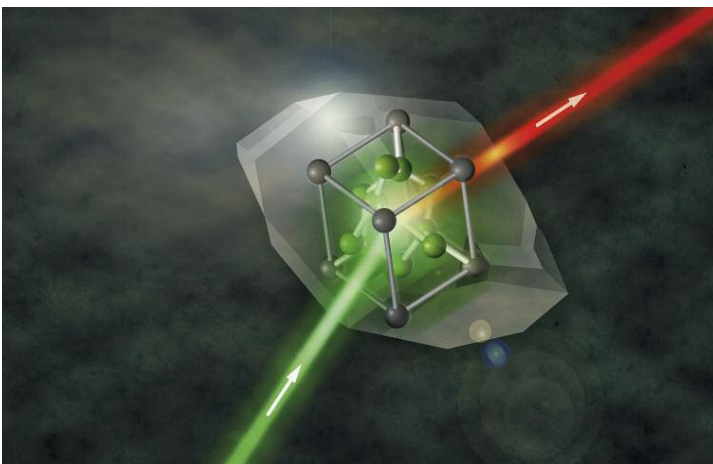
Advanced Energy Materials, Vol. 3, Issue 10, pp. 1381-1387, Oct. 2013 (DOI: 10.1002/aenm.201300339): Formation of CuInSe<sub>2</sub> and CuGaSe<sub>2</sub> Thin-Films Deposited by Three-Stage Thermal Co-Evaporation: A Real-Time X-Ray Diffraction and Fluorescence Study, H. Rodriguez-Alvarez, A. Weber, J. Lauche, C. A. Kaufmann, T. Rissom, D. Greiner, M. Klaus, T. Unold, C. Genzel, H.-W. Schock and R. Mainz



## DAS TOR FÜR DIE FESTKÖRPERPHYSIK GEÖFFNET

Ein Team um Dr. Martin Beye und Prof. Dr. Alexander Föhlisch konnte zeigen, dass Feststoffe auch für Röntgenmessungen zugänglich sind, die auf **nichtlinearen physikalischen Effekten** beruhen. Bislang war dies nur bei Messungen mit Laserlicht möglich.

Die physikalische Grundlagenforschung wäre ohne die Vielzahl der heute verwendeten Röntgenmethoden nicht mehr denkbar. Die beiden Wissenschaftler Dr. Martin Beye und Prof. Dr. Alexander Föhlisch des Helmholtz-Zentrums Berlin (HZB) haben mit ihrer Forschung eine weitere Anwendungsmöglichkeit erschlossen. Die Ergebnisse können Einfluss darauf haben, wie neue Röntgenquellen zukünftig konstruiert sein müssen: Sogenannte nichtlineare Effekte sind die Grundlage der kompletten Laserphysik. Für Röntgenuntersuchungen schienen sie bis-



An einem Siliziumkristall haben die Forscher gezeigt, wie man inelastische Röntgenstreuung verstärken kann, bei der eine Frequenzverschiebung stattfindet. Die ausgesendete Farbe (rot) kann dabei sehr genau mit Struktureigenschaften des untersuchten Materials korreliert werden.

lang nicht nutzbar zu sein. Die Physik, die den Röntgenmethoden bisher zugrunde liegt, basiert ausschließlich auf linearen Effekten. Das heißt, wenn die Strahlung auf ein Untersuchungsobjekt trifft, arbeitet jedes Lichtteilchen – das Photon – für sich alleine.

Anders bei Lasern: Die Energie- und Leistungsdichte von eingestrahlttem Laserlicht kann so hoch werden, dass die Photonen zusammenarbeiten und beim Wechselwirken mit Materie nichtlineare Effekte auftreten. Dies hat zur Folge, dass Materialien bestimmte Farben des Lichts extrem ver-

stärken. Mit anderen Worten: man bestrahlt einen Kristall mit grünem Licht, das ausgesendete Licht ist rot. Die ausgesendete Farbe kann dabei sehr genau mit Struktureigenschaften des untersuchten Stoffes korreliert werden.

### Photonen verstärken sich gegenseitig

Dass man solche Effekte nun auch mit weicher Röntgenstrahlung erzielen kann und Feststoffe diesem Messprinzip zugänglich sind, hat die Gruppe um Alexander Föhlisch mit Experimenten an der Hamburger Kurzpulsquelle FLASH

am DESY nachgewiesen. „Der Wirkungsgrad von inelastischen Streuprozessen mit weicher Röntgenstrahlung ist normalerweise schlecht“, erläutert Martin Beye, der Erstautor der Arbeit: „Mit unserem Experiment zeigen wir, wie man inelastische Röntgenstreuung geschickt verstärken kann. Ähnlich wie beim Laser arbeiten alle Photonen zusammen und verstärken sich gegenseitig. Wir erhalten so ein sehr hohes Messsignal.“

Mit solchen Aufbauten an Röntgenquellen können zukünftig inelastische Röntgenstreuungsprozesse effizient genutzt werden, etwa um sehr schnelle Prozesse zu analysieren und zu verstehen. Zum Beispiel das Aufbrechen und Entstehen chemischer Bindungen, Anregungen in Quantenmaterialien (zum Beispiel Supraleitern) sowie ultraschnelle Schaltprozesse.

„Heutige Röntgenquellen sind für die Anwendung von stimulierter inelastischer Streuung gar nicht optimiert“, sagt Alexander Föhlisch. „Mit dem jetzt

vorliegenden Ergebnis wissen wir, dass wir auch mit weicher Röntgenstrahlung nichtlineare Effekte nutzen können. Wir brauchen dafür Photonenquellen, die schnell hintereinander kurze Lichtpulse liefern können. Dies gilt es bei der Entwicklung zukünftiger Photonenquellen zu berücksichtigen.“ *ih*

Nature 501, 191–194 (12 September 2013), (doi:10.1038/nature12449): Stimulated X-ray emission for materials science, M. Beye, S. Schreck, F. Sorgenfrei, C. Trabant, N. Pontius, C. Schübler-Langeheine, W. Wurth and A. Föhlisch

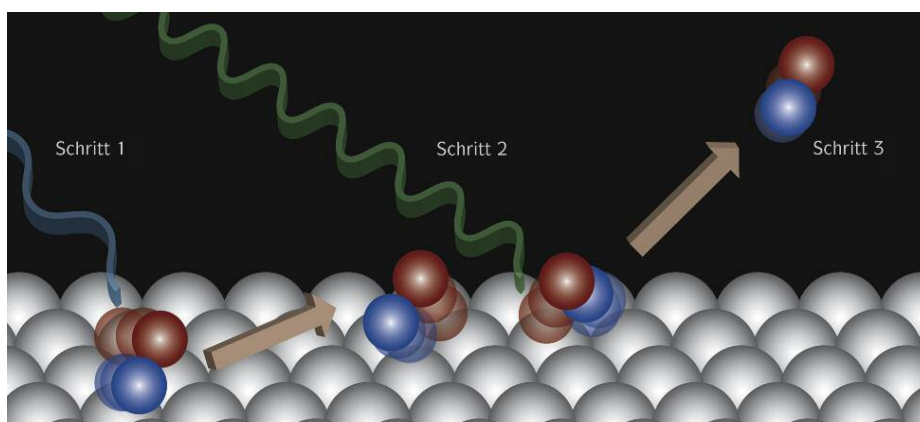
## GASUMWANDLUNG IM KATALYSATOR BEOBACHTET

Mit HZB-Beteiligung hat eine internationale Gruppe von Wissenschaftlern am **Freie-Elektronenlaser LCLS in Stanford** erstmals in Echtzeit beobachtet, wie aus Kohlenmonoxid an der Oberfläche eines Katalysators Kohlendioxid wird. Die Forscher konnten so einen Teilschritt der wichtigen Reaktion aufklären.

**K**ohlenmonoxid ist ein geruchloses, giftiges Gas, das zum Beispiel bei der Verbrennung von Treibstoff entsteht. Erst ein geeigneter Katalysator sorgt dafür, dass Kohlenmonoxid-Moleküle mit Luftsauerstoff zu ungiftigem Kohlendioxid-Gas weiterreagieren. Bislang war nur der grobe Ablauf dieses katalytischen Prozesses klar. „Katalysatoren werden bei so vielen industrierelevanten chemischen Reaktionen eingesetzt, dass es wirklich lohnt, genauer hinzuschauen. Das haben wir hier am Beispiel eines elementaren Prozesses nun gemacht“, sagt Dr. Martin Beye vom HZB-Institut „Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung“, der an der Studie beteiligt war.

### Ein Drittel der CO-Moleküle fliegt nicht weg

Die Forscher haben untersucht, wie sich Kohlenmonoxid-Moleküle von einer Rutheniumoberfläche ablösen (desorbieren). Ruthenium ist ein Metall, das ähnlich wie Platin als Katalysator wirken kann. Im ersten Schritt beschossen die Forscher die Oberfläche des Ruthenium-Kristalls mit konventionellen Laserpulsen, um die CO-Moleküle abzulösen. Mit ultrakurzen und hochintensiven Röntgenblitzen am Freie-Elektronenlaser LCLS am SLAC in Stanford machten sie anschließend Momentaufnahmen, die Rückschlüsse darüber erlauben, wie sich die CO-Moleküle von der Katalysatoroberfläche lösen. Dabei beobachteten sie, dass etwa ein Drittel der CO-Moleküle nicht wie erwartet direkt von der Oberfläche wegfiegt, sondern dicht über der Oberfläche „eingefangen“ wird. Unterstützt durch Computersimulationen zeigen die Messungen, dass es zu schwachen Bindungen zwischen den CO-Molekülen und der Katalysator-



Zunächst wurden die CO-Moleküle mit konventionellen Laserpulsen (blau) von der kristallinen Oberfläche des Ruthenium-Katalysators abgelöst, anschließend konnten die Forscher mit Hilfe von Röntgenpulsen (grün) am LCLS beobachten, dass diese Moleküle eine geraume Zeitspanne nahe der Oberfläche bleiben und sich nur parallel dazu bewegen. Erst nach einer Weile (Schritt 3) entfernen sich die CO-Moleküle komplett von der Oberfläche.

oberfläche kommt. Diese schwachen Bindungen sorgen dafür, dass die Moleküle sich nicht wieder entfernen können, aber trotzdem parallel zur Oberfläche beweglich bleiben. Solche schwachgebunden, aktivierten Zustände könnten eine wichtige Rolle in katalytischen Prozesse spielen, vermuten die Forscher.

An der internationalen Kollaboration waren Forscher aus dem Center for Free Electron Laser Science bei DESY, European XFEL, Universität Hamburg, HZB, Fritz-Haber-Institut, Universität Potsdam, Stockholm University, Technical University of Denmark, SLAC National Accelerator Laboratory und der Stanford University beteiligt. „Eine Reaktion wie diese in Echtzeit zu beobachten, ist der Traum jedes Chemikers. Wir haben nicht erwartet, solche schwach gebundenen Zustände zu beobachten, das war eine echte Überraschung“, sagte Anders Nilsson (Stockholm University und SLAC), der Hauptautor der Arbeit. arö

Science, Vol. 339, no. 6125, pp. 1302-1305; (DOI: 10.1126/science.1231711): Real-Time Observation of Surface Bond Breaking with an X-ray Laser, Martina Dell'Angela et al.

## GESTEUERTE KRISTALLBILDUNG

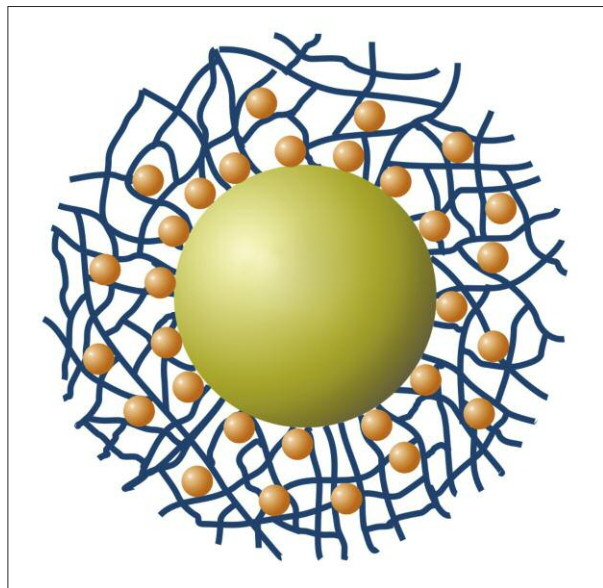
Wissenschaftlern am HZB ist es gelungen, die **Bildung von Titandioxid-Nanopartikeln** in einem Netz aus Polymeren bei Raumtemperatur zu erzeugen. Durch die Steuerung des Prozesses können die Partikel für gezielte Anwendungen hergestellt werden.

**K**leine Partikel aus Titandioxid werden in alltäglichen Produkten wie Wandfarbe, Zahnpasta oder Sonnencreme genutzt, sie reflektieren das Licht oder wirken als Scheuermittel. Doch mit abnehmender Partikelgröße verändern sich ihre Eigenschaften, sodass kristalline Titandioxid-Nanopartikel auch als Katalysatoren wirken: Angeregt durch den UV-Anteil im Sonnenlicht zersetzen sie Schadstoffe oder ermöglichen andere gewünschte Reaktionen. Chemiker um Dr. Katja Henzler vom HZB-Institut „Weiche Materie und Funktionale Materialien“ haben einen Syntheseweg entwickelt, um solche Nanopartikel bei Raumtemperatur in einem Netz aus Polymeren zu erzeugen. Mit Untersuchungen an der Berliner Synchrotronstrahlenquelle BESSY II haben sie nachgewiesen, dass die Nanoteilchen dabei kristallin sind. Damit haben sie einen wesentlichen Fortschritt bei der Synthese von sogenannten „Polymeren Nanoreaktoren“ erreicht, denn bislang mussten die Nanopartikel hoch erhitzt werden, um sie zum Auskristallisieren zu bringen.

### Neuartige Kombination der Untersuchung

Die „Polymeren-Nanoreaktoren“ aus dem Team um Katja Henzler bestehen aus einem Polystyrol-Kern, der von einem Netz aus sogenannten PNIPAM-Ketten umhüllt wird. Die Chemiker gaben diese Polymer-Strukturen in eine Lösung auf Ethanolbasis. Durch Zugabe einer Titanverbindung bildeten sich winzige Titandioxid-Partikel. Diese lagerten sich in das PNIPAM-Netzwerk ein, das sie auf Abstand hielt und damit verhindert, dass sich die Nanopartikel zu größeren Teilchen zusammenballen. Die Chemiker konnten die Geschwindigkeit dieses Prozesses steuern und – wie sich in den Untersuchungen an BESSY II zeigte – damit auch die Qualität der gebildeten Nanokristalle gezielt beeinflussen.

Mit einer neuartigen Kombination aus Röntgenmikroskopie und Spektroskopie (NEXAFS-TXM, U41-SGM) am BESSY II konnten Henzler und ihre Kollegen des Mikroskopie-Teams nachweisen, dass die eingelagerten Nanopartikel sehr gleichmäßig über die Polymeren Nanoreaktoren verteilt sind. Dabei untersuchten sie ihre Proben in wässriger



Aus der Lösung bilden sich im Polymer-Netz um den Polystyrol-Kern (gelb) auch bei Raumtemperatur kristalline Nanopartikel aus Titandioxid (orange) mit Durchmessern von etwa sechs Nanometern.

Umgebung und konnten so die sonst übliche Trocknung, die zu Artefakten führen kann, umgehen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass die Nanopartikel kristallin sind, die Titandioxid-Moleküle also wie in größeren Partikeln auch, geometrisch angeordnet auf Gitterplätzen sitzen. „Die Nanokristalle besitzen eine tetragonale Anatase-Struktur und diese kristalline Struktur ist wichtig, damit sie ihre katalytische Aktivität entfalten können. Unsere neue Methode erlaubt es auch, die Qualität der synthetisierten Partikel zu kontrollieren, so dass wir die Partikel für entsprechende Anwendungen optimieren können“, sagt Katja Henzler. arö

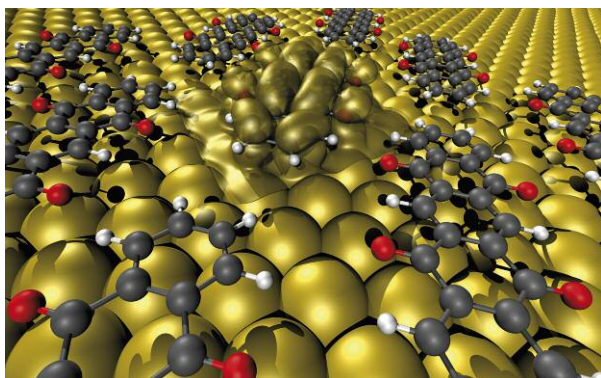
Nano Lett., 2013, 13 (2), pp 824–828 (DOI: 10.1021/nl3046798): Electronic Structure of Individual Hybrid Colloid Particles Studied by Near-Edge X-ray Absorption Fine Structure (NEXAFS) Spectroscopy in the X-ray Microscope, K. Henzler, P. Guttman, Y. Lu, F. Polzer, G. Schneider and M. Ballauff



## GUTE VERBINDUNGEN

Ein internationales Forschungsteam hat herausgefunden, welche Moleküleigenschaften dazu führen, dass der Kontakt zwischen Kohlenstoffverbindungen und Metall gelingt. Ihr Erfolg könnte die **Organische Elektronik** weiter verbessern.

**O**rganische Elektronik steckt schon heute im Display von Smartphones und verspricht auch in Zukunft interessante Produkte, zum Beispiel biegsame Leuchtfolien, die Glühbirnen ersetzen sollen, oder Solarzellen, die Sonnenlicht in Strom umwandeln. Ein Problem besteht dabei stets darin, die aktive organische Schicht gut mit Metallkontakten zu verbinden. Auch für diese Aufgabe werden oft organische Moleküle eingesetzt. Allerdings war es bisher nicht möglich, genau vorherzusagen, welche Moleküle diese Aufgabe auch erfüllen. Sie mussten daher im Wesentlichen durch Ausprobieren identifiziert werden. Ein internationales Team von Wissenschaftlern um Dr. Georg Heimel und Prof. Dr. Norbert Koch vom HZB und der Humboldt-Universität zu Berlin hat herausgefunden, was diese Moleküle miteinander gemeinsam haben. Ihre Ergebnisse könnten es ermöglichen, die Kontaktschichten zwischen Metallelektroden und aktivem Material in organischen Bauelementen gezielter zu verbessern.



Über ihre „Sauerstoff-Ausleger“ nehmen die untersuchten organischen Verbindungen Kontakt zu den Atomen der Metalloberfläche auf. Dadurch verändern sich ihre elektronischen Eigenschaften.

„Wir arbeiten seit mehreren Jahren an dieser Fragestellung und konnten nun mit einer Kombination unterschiedlicher Messmethoden und theoretischer Berechnungen ein schlüssiges Bild erhalten“, sagt Georg Heimel. Dabei haben die Forscher systematisch Moleküle untersucht,

deren Rückgrat aus einer Reihe von aromatischen Kohlenstoffringen gebildet wird. Die Kandidaten unterschieden sich nur in einem Detail: aus dem Rückgrat ragten unterschiedlich viele Sauerstoffatome. Diese so modifizierten Moleküle brachten sie auf die typischen Kontaktmetalle Gold, Silber und Kupfer auf.

### Vermittlereigenschaften identifiziert

Mit Photoelektronen-Spektroskopie (UPS und XPS) an der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II des HZB konnten die Forscher die chemischen Bindungen zwischen Metalloberfläche und organischen Molekülen ermitteln sowie die Energieniveaus von Leitungselektronen messen. Den exakten Abstand der Moleküle zur Metalloberfläche bestimmten Kollegen von der Universität Tübingen mit Hilfe von X-Ray-Standing-Wave-Messungen, die sie an der Synchrotronstrahlungsquelle ESRF in Grenoble durchführten. Dabei zeigte sich, dass die untersuchten Moleküle bei nahem Kontakt der „Sauerstoff-Ausleger“ mit einigen der Metalloberflächen ihre innere Struktur so veränderten, dass sie ihre halbleitenden Eigenschaften verloren und die metallischen Eigenschaften der Oberfläche annahmen. Trotz vergleichbarer Voraussetzungen zeigte das „nackte“ Rückgratmolekül diesen Effekt nicht. Aus der Beobachtung, welche der untersuchten Moleküle sich auf welchem Metall so drastisch veränderten, konnten die Forscher nun allgemeine Richtlinien ableiten. „Wir haben jetzt eine recht genaue Vorstellung davon, wie Moleküle aussehen sollten und welche Eigenschaften sie mitbringen müssen, damit sie gut zwischen einem aktiven organischen Material und einem Metall vermitteln, also gewissermaßen einen Soft Metallic Contact formen“, meint Heimel. arö

Nature Chemistry, Volume 5, Issue 3, pp. 187-194 (2013) (DOI: 10.1038/nchem.1572): Charged and metallic molecular monolayers through surface-induced aromatic stabilization; G. Heimel, S. Duhm, I. Salzmann, A. Gerlach, A. Strozecka, J. Niederhausen, C. Bürker, T. Hosokai, I. Fernandez-Torrente, G. Schulze, S. Winkler, A. Wilke, R. Schlesinger, J. Frisch, B. Bröker, A. Vollmer, B. Detlefs, J. Pflaum, S. Kera, K.J. Franke, N. Ueno, J.I. Pascual, F. Schreiber and N. Koch

## WANDERnde ATOMKERNE IM SANIDIN VERFOLGT

Mineralogen haben am HZB die hitzebedingte Veränderung von **Sanidin-Kristallen** aus verschiedenen Regionen mit Neutronen untersucht. Dabei halfen ihnen die einzigartigen Messmethoden am HZB.

**B**isher hielten Mineralogen die in der Nähe von Volkesfeld in der Eifel gefundenen Sanidin-Kristalle für etwas Besonderes. Das Mineral ist zwar weder wertvoll noch selten, aber die Kristalle aus der Eifel sind mit 20 bis 30 Zentimetern Länge oft recht groß und häufig nahezu perfekt, weshalb sie gelegentlich von Schmuckmachern verwendet werden. Zwar geben Fehler in der Kristallstruktur ihrer Oberfläche leicht einen grau-gelblichen Farbton. Im Gegensatz zu vielen anderen Sanidinen lassen sich diejenigen aus Volkesfeld aber besonders schnell und schonend heilen, wenn man sie ein paar Stunden in einen etliche hundert Grad heißen Ofen legt. Seit HZB-Grundlagenforscher Johannes Kähn diesen Vorgang im Rahmen seiner Doktorarbeit mit den Neutronen aus BER II untersucht, hegt er jedoch Zweifel an dem vermuteten Mechanismus der schnellen Heilung der Volkesfelder Kristalle. In enger Zusammenarbeit mit dem Kristallphysiker Jürgen Schreuer von der Ruhr-Universität Bochum (RUB) hat der HZB-Forscher neben den Volkesfelder Exemplaren auch noch Sanidine aus fünf anderen Gebieten in der Eifel sowie aus Madagaskar analysiert. Dazu setzte er die Kristalle unterschiedlich langen Behandlungen bei Temperaturen zwischen 600 und 1050 Grad Celsius aus und untersuchte sie jeweils vor- und nachher mit Neutronenstrahlen. Große Unterschiede beim Heilen der verschiedenen Sanidine kamen – anders als bisher vermutet – dabei nicht zum Vorschein.

### Der Irrtum vom schnell heilenden Sanidin

Das mag durchaus an der Methode liegen. Die Neutronenstrahlen „beleuchten“ ja die Atomkerne. Sanidin besteht aus miteinander verknüpften Tetraedern. Jeder dieser Körper baut sich aus vier gleichseitigen Dreiecken auf. In seinen vier Ecken befindet sich jeweils ein Sauerstoff-Atom. Im Zentrum dieser Pyramiden steckt in drei Viertel aller Fälle ein Silizium-Atom, während im restlichen Viertel Aluminium in der Mitte sitzt. Entsteht ein Sanidin-Kristall, verteilen sich die Aluminium-Atome zunächst einmal ziemlich gleichmäßig. Nun gibt es im Kristall zwei leicht unterschiedliche Tetraeder – in einen dieser Typen passt Aluminium ein wenig besser. Mit der Zeit konzentrieren sich

diese Atome daher in den für sie geeigneteren Pyramiden. Heizt man die Kristalle, verteilt sich das Aluminium wieder gleichmäßig über die beiden Tetraeder-Typen. Weil sich mit den Neutronenstrahlen von BER II Aluminium- und Silizium-Atomkerne sehr gut voneinander unterschei-



Bläuliche Sanidinvarietät. Die Kristalle weisen nach einiger Zeit Defekte auf, die sich durch Erwärmen heilen lassen. Was dabei genau vor sich geht, hat HZB-Doktorand Johannes Kähn untersucht.

den lassen, konnte Johannes Kähn diese Heilung praktisch direkt beobachten. Schneller als bei Kristallen aus anderen Regionen verteilten sich die Aluminium-Atome in den Volkesfeldern Sanidinen bei seinen Untersuchungen aber nicht. Einen solchen Unterschied hatten Forscher bei früheren Messungen mit Röntgenstrahlen entdeckt. Diese beobachteten jedoch nicht die Atomkerne, sondern deren Elektronenhüllen. Im Röntgenlicht aber zeigen sich zwischen den Aluminium- und Siliziumhüllen kaum Unterschiede. Sehr gut zeigen die Röntgenstrahlen dagegen die Struktur der Kristalle. Und aus dieser berechnen die Forscher dann die Verteilung der Aluminium- und Silizium-Atome. „Vielleicht steckt ja in dieser Berechnung eine kleine Ungenauigkeit“, vermutet Johannes Kähn. Diese könnte eine schnellere Heilung der Volkesfelder Sanidine vortäuschen – mit Neutronenstrahlung jedenfalls konnte ein solcher Effekt bislang nicht nachgewiesen werden. Das zeigt einmal mehr, wie wichtig der Einsatz der richtigen Messmethode für unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen ist. *rk*

## NEUE EIGENSCHAFTEN DANK IDEALER ANORDNUNG

Polyethylen ist ein Kunststoff, der in vielen Haushaltsgegenständen zu finden ist. Mithilfe eines neuartigen Katalysators gelang es einem Forscherteam um den HZB-Wissenschaftler Prof. Matthias Ballauff, aus diesem Kunststoff einen **idealen Nanokristall** zu synthetisieren.

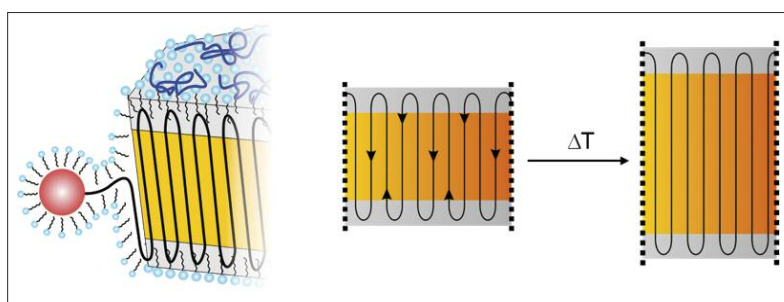
**M**aterialien mit einer ungeordneten (amorphen) Molekülstruktur in eine kristalline Form zu bringen, ist ein häufiges Anliegen von Chemikern und Materialwissenschaftlern. Erst die Kristallstruktur verleiht einem Stoff oft die gewünschten Eigenschaften. Auch für die Grundlagenforschung ist es deshalb interessant, physikalische Prinzipien zu finden, die dem Wechsel von amorphen zu kristallinen Strukturen zugrunde liegen.

Für den Kunststoff Polyethylen haben Forscher um Prof. Dr. Matthias Ballauff vom HZB-Institut „Weiche Materie und Funktionale Materialien“ solche physikalischen Effekte gefunden. In gemeinsamer Arbeit mit Kollegen aus Bayreuth und Konstanz haben sie einen neuen wasserlöslichen Katalysator entwickelt, der das kleine Ethylen-Molekül direkt in wässriger Phase zu langkettigem Polyethylen polymerisiert. In der Regel liegen solche langkettigen Moleküle teilkristallin vor. Das heißt, sie bestehen aus lamellenartigen Polyethylen-Kristallen, die von einer Schicht amorphen Polyethylens bedeckt sind. Diese amorphen Phasen weisen eine Reihe von Störstellen wie zum Beispiel Verknötungen auf.

### Geschickter Syntheseweg vermeidet Störstellen

In dem nun synthetisierten „idealen Nanokristall“ wirken die amorphen Bereiche jedoch wie Umlenkrollen, die die Richtung der Ketten im Kristall um 180 Grad ändern. Diese Struktur haben die Forscher durch den geschickten Syntheseweg erreicht. Während der Polymerisation in wässriger Phase werden die neu entstehenden Teile der Molekülkette sofort von dem wachsenden Kristall erfasst, so dass sich keine Störstellen wie etwa Verschlaufungen in den amorphen Bereichen ausbilden können.

Die Erkenntnisse haben die Forscher mit Methoden der Röntgenbeugung und der cryogenen Transmissions-Elektronenmikroskopie (TEM) gewonnen. Die Methode hat ein Auflösungsvermögen um etwa ein Nanometer und ist



Ein wasserlöslicher Ni(II)-Katalysator erlaubt die Polymerisation von Ethylen in wässriger Lösung. Die Grafik zeigt, wie die neu entstehenden Teile der PE-Kette in den wachsenden Kristall eingebaut werden. Die amorphen Bereiche wirken in dem idealen Nanokristall wie Umlenkrollen, die die Richtung der Ketten im Kristall um 180 Grad ändern.

besonders für die Untersuchung von kleinsten Strukturen in Mikroemulsionen und kolloidalen Lösungen geeignet. Für die cryo-TEM-Messung haben die Wissenschaftler einen dünnen Film aus einer wässrigen Suspension der Polyethylen-Nanokristalle hergestellt und mit Hilfe von flüssigem, tiefkaltem Ethan schockartig eingefroren. Dadurch entsteht eine glasartig erstarrte Wassermodifikation, und die eingeschlossenen Polyethylen-Nanokristalle lassen sich im Elektronenmikroskop analysieren. Zudem wurden Röntgen-Untersuchungen mit Kleinwinkelstreuung (SAXS) an diesen Suspensionen durchgeführt.

Matthias Ballauff betont die Wichtigkeit der Methodenkombination: „Erst im Zusammenwirken von Mikroskopie und Streuung können solch komplexe Systeme mit einer Genauigkeit analysiert werden, die mit den einzelnen Verfahren nie möglich wäre.“ Beide Verfahren zusammen haben denn auch den Beweis erbracht, dass tatsächlich perfekte Polymerkristalle im Nanomaßstab vorlagen. Die kristalline Nanostruktur verleiht dem Kunststoff neue Eigenschaften und könnte zum Beispiel für die Herstellung neuartiger Beschichtungen interessant sein. *ih*

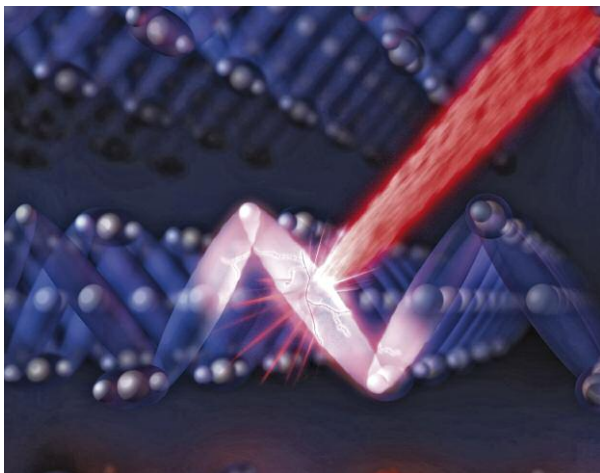
J. Am. Chem. Soc., 2013, 135 (31), pp 11645–11650 (DOI: 10.1021/ja.4052334): Ideal Polyethylene Nanocrystals, A. Osichow, C. Rabe, K. Vogtt, T. Narayanan, L. Harnau, M. Drechsler, M. Ballauff and S. Mecking



## PIKOSEKUNDEN SCHNELLE SCHALTER

Ein internationales Forscherteam unter maßgeblicher Beteiligung von Wissenschaftlern des HZB hat gezeigt, dass **Oxid-Materialien** deutlich schneller als Halbleiter schalten. Sie beobachteten den Schaltprozess zwischen nichtleitendem und leitendem Zustand in einem Eisenoxid mit bislang unerreichter Präzision.

**M**aterialien, die sich so verändern können, dass sie sowohl leitend als auch isolierend sein können, gelten als geeignet für elektronische Bauteile der Zukunft – zum Beispiel für Transistoren. Das Eisenoxid Magnetit ist der bekannteste Vertreter dieser Materialklasse. Bei tiefen Temperaturen hat es isolierende Eigenschaften, bei höheren Temperaturen wird es leitend. Dieser Umschaltvorgang verläuft jedoch so schnell, dass man ihn auf atomarer Ebene bislang nicht verstehen konnte.



Ein optischer Laserblitz (rot) zerstört die elektronische Ordnung (blau) in Magnetit und schaltet den Zustand des Materials innerhalb eines Billionstels einer Sekunde von isolierend zu leitend um.

Ein internationales Forscherteam hat es nun mit einem Experiment an der amerikanischen Quelle für ultrakurze Röntgenblitze LCLS am Nationallabor SLAC geschafft, den Schaltvorgang in einer Art kürzest möglicher Zeitlupe einzufrieren. So konnten sie nachweisen, dass der Übergang in zwei Stufen verläuft. „In einem ersten Schritt entstehen in dem isolierenden Material leitende Inseln. Dann dauert es weniger als eine Pikosekunde (ein Billionstel einer Sekunde), bis die Atome sich umorganisieren und ein komplettes Metallgitter entsteht“, erläutert Christian Schübler-Langeheine vom Helmholtz-Zentrum Berlin.

Am Elektronenspeicherring BESSY II hat die Gruppe um Schübler-Langeheine die für das Experiment bei SLAC erforderlichen Vorarbeiten durchgeführt. Mit den so gewonnenen Informationen konnte dann das Experiment bei SLAC konzipiert und erfolgreich durchgeführt werden. In dem Experiment in Kalifornien wurde Magnetit auf minus 190 Grad gekühlt und dann mit Infrarot-Laserlicht beschossen. Die Energiezufuhr löste den Schaltprozess aus. Kurze Zeit später folgte ein Röntgen-Laserpuls, mit dem die Forscher den Schaltprozess wie mit einer Stroboskoplampe beobachteten. Solche zeitaufgelösten Messungen im Pikosekunden-Abstand sind nur an ganz wenigen Photonenquellen in der Welt möglich.

### Internationale Kooperation für die Erforschung einer energieeffizienteren Elektronik

„Am HZB forschen wir an Materialien für eine schnellere und energieeffizientere Elektronik“, sagt Christian Schübler-Langeheine. „In diesem Experiment haben wir gesehen, wie extrem schnell ein Schalter aus einem Oxid-Material wie Magnetit sein kann. Oxide sind somit eine spannende Alternative zu den heute gängigen Halbleitern. Insbesondere solche Materialien, die Metall-Isolator-Übergänge auch bei Raumtemperatur zeigen.“

An dem Forschungsprojekt waren Kollegen von SLAC und Stanford University, CFEL und Uni Hamburg, den Universitäten in Amsterdam, Köln, Potsdam, Regensburg, des MPI CPFS in Dresden, der Europäischen Quellen für Röntgenpulse ELETTRA in Trieste und XFEL in Hamburg, der Advanced Light Source in Berkeley und dem Schweizer Paul Scherrer Institut beteiligt. Die Proben wurden an der Purdue Universität präpariert.

ih

Nature Materials 12, 882–886 (2013) (doi:10.1038/nmat3718): Speed limit of the insulator–metal transition in magnetite, S. de Jong, R. Kukreja, C. Trabant, N. Pontius, C. F. Chang, T. Kachel, M. Beye, F. Sorgenfrei, C. H. Back, B. Bräuer, W. F. Schlotter, J. J. Turner, O. Krupin, M. Doehler, D. Zhu, M. A. Hossain, A. O. Scherz, D. Fausti, F. Novelli, M. Esposito, W. S. Lee, Y. D. Chuang, D. H. Lu, R. G. Moore, M. Yi et al.

## ELEKTRONENSPINS MIT LICHT STEUERN

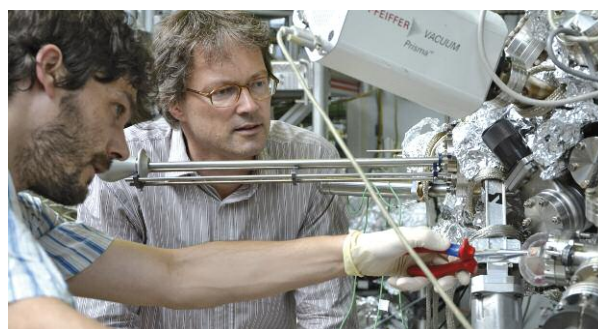
**Topologische Isolatoren** gelten als sehr vielversprechendes Forschungsfeld. Ein Team am HZB hat herausgefunden, wie man mit Licht die physikalischen Eigenschaften der Elektronen in diesen Materialien verändern kann.

Die erst vor wenigen Jahren entdeckte Materialklasse der topologischen Isolatoren zeichnet sich durch herausragende Eigenschaften aus: Sie verhalten sich im Inneren elektrisch isolierend, bilden an der Oberfläche jedoch metallisch leitende Zustände aus. Der Spin der Elektronen, also ihre Drehung um die eigene Achse, spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die Drehrichtung an der Oberfläche ist nämlich direkt mit ihrer Bewegungsrichtung gekoppelt, und das führt sowohl zu einer hohen Stabilität der metallischen Eigenschaft wie auch zu einer besonders verlustarmen elektrischen Leitung. Topologische Isolatoren werden daher als interessante Kandidaten für neuartige Bauelemente in der Informationstechnologie gehandelt. Deshalb hat die Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG) das Schwerpunktprogramm „Topological Insulators: Materials – Fundamental Properties – Devices“ initiiert, um die Physik der Oberflächenzustände besser zu verstehen.

### Experimente mit Licht unterschiedlicher Energie

Als besonders innovativ gilt der Ansatz, in derartigen Bauelementen den Elektronenspin an der Oberfläche mithilfe von Licht zu beeinflussen. Der HZB-Wissenschaftler Prof. Dr. Oliver Rader, der das DFG-Schwerpunktprogramm koordiniert, und sein Team haben nun herausgefunden, durch welche Einflüsse sich die Spins an der Oberfläche der topologischen Isolatoren verändern lassen. Dazu haben die Forscher Experimente mit Licht unterschiedlicher Energie bzw. Wellenlänge gemacht: Am Synchrotronring BESSY II untersuchten sie den bekannten topologischen Isolator Bismutselelid ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) mit der Methode der spinauflösenden Photoelektronenspektroskopie und kamen zu verblüffenden Erkenntnissen. Sie fanden heraus, dass es einen wesentlichen Unterschied macht, ob die Elektronen an der Oberfläche des Materials mit zirkular polarisiertem Licht im vakuumultravioletten Bereich (50-70 Elektronenvolt) oder mit ultraviolettem Laserlicht (6 eV) angeregt werden.

Sie konnten durch ihre Versuchsanordnung beweisen, dass sie den Spin der Elektronen bei den höheren Energien, wie sie typischerweise am Synchrotron zum Einsatz kommen, messen können, ohne ihn zu verändern. „Bei der Anregung



Dr. Jaime Sánchez-Barriga und Prof. Dr. Oliver Rader bei der Vorbereitung ihres Experiments mit Licht unterschiedlicher Energie am Synchrotronring BESSY II.

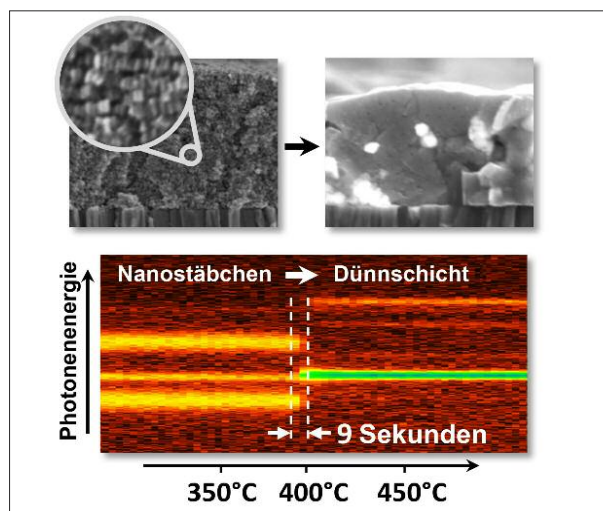
mit 50 Elektronenvolt weisen die emittierten Elektronen die für topologische Isolatoren typische Spintextur auf“, erläutert Dr. Jaime Sánchez-Barriga, der die Messungen durchgeführt hat: „Die Spins der Elektronen laufen hier in der Oberflächenebene im Kreis, ähnlich wie auf einem Verkehrsschild für Kreisverkehr.“ Dies ist der Grundzustand der Elektronen in der Oberfläche der topologischen Isolatoren. Bei der Anregung mit niederenergetischen zirkular polarisierten Photonen (6 eV) hingegen drehten sich die Spins der Elektronen komplett aus der Ebene heraus. Sie nahmen dabei sogar diejenige Spinrichtung an, die ihnen mit dem rechts- bzw. linkszirkular polarisierten Licht vorgegeben wurde. Das bedeutet, dass sich der Spin durch Licht gezielt steuern lässt. Das vollkommen unterschiedliche Verhalten bei verschiedenen starken Energien führen die Wissenschaftler auf Symmetrieeigenschaften zurück. Dieses Ergebnis liefert wichtige Erkenntnisse darüber, wie sich in topologischen Isolatoren verlustlose Spinströme erzeugen ließen, ist Rader überzeugt. Und das sei für die Entwicklung sogenannter opto-spintronischer Bauteile wichtig, die die Verarbeitungs- und Speichergeschwindigkeit von Information enorm erhöhen könnten. *tm*

Physical Review X 4, 011046 (doi: 10.1103/PhysRevX.4.011046):  
Photoemission of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  with Circularly Polarized Light: Probe of Spin Polarization or Means for Spin Manipulation?; J. Sánchez-Barriga et al.

## VOM NANOSTÄBCHENTEPPICH ZUR SOLARZELLEN-DÜNNSCHICHT

Forscherteams aus dem HZB und der University of Limerick, Irland, haben einen neuen Weg gefunden, um **polykristalline Kesterit-Dünnschichten** bei niedrigerer Temperatur herzustellen. Das könnte die Produktion von Solarzellen deutlich günstiger machen.

**K**esterit-Halbleiter gelten als vielversprechende Alternative für die Chalkopyrit-Solarzellen ( $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ ), die bereits Laborwirkungsgrade über 20 Prozent erreichen. Kesterite besitzen ähnliche physikalische Eigenschaften wie die teureren Chalkopyrit-Halbleiter. Für ihre Untersuchung erzeugten die Forscher einen Teppich aus geordneten Nanostäbchen mit der Struktur eines Wurtzit-Kristalls. Chemiker der Universität Limerick hatten diese hochgeordneten Schichten mit Hilfe chemischer Verfahren hergestellt, wobei die Wurtzit-Nanostäbchen exakt die gleiche Zusammensetzung wie  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ -Kesterit aufwiesen. Die HZB-Physiker um Roland Mainz und Thomas Unold konnten nun mit Hilfe von Echtzeit-Röntgenbeugung an der EDDI-



Der Übergang von der Schicht aus dichtgepackten Nanorods (links oben) in eine polykristalline Halbleiter-Dünnschicht (rechts oben) lässt sich über in-situ Röntgenbeugung in Echtzeit beobachten. Die Intensitäten der Röntgensignale sind in der unteren Abbildung farblich kodiert. Die Auswertung ergab, dass die Umwandlung der Nanorods in Kesterit-Kristallite nur 9 bis 18 Sekunden dauert.

Beamline an BESSY II beobachten, wie sich die Kristallstruktur dieser Stäbchen bei Erwärmung in eine stabile Kesterit-Struktur umwandelt. Durch die Erwärmung findet ein Phasenübergang aus der metastabilen Wurtzitphase in die stabile

Kesteritphase statt. Dabei wandeln sich die makroskopisch angeordneten Nanostäbchen in Kesterit-Dünnschichten mit nahezu mikrometergroßen Kristalliten um. Entscheidend war dabei nicht die Höhe der Temperatur, sondern die Heizrate: Je rascher die Wurtzit-Stäbchen erhitzt wurden, desto größer wurden die Kristallite. So gelang es, Kesterit-Schichten aus fast mikrometergroßen Kristalliten zu erzeugen, die in Dünnschicht-Solarzellen zum Einsatz kommen könnten. „Das Besondere ist, dass die Bildung der gesamten Kesterit-Schicht sehr schnell abläuft und gleichzeitig ein schnelles Kornwachstum ausgelöst wird“, erklärt Mainz. Und: je schneller die Proben hochgeheizt werden, desto größer werden die Kristallite. „Bei einer niedrigen Heizrate beginnt die Umwandlung von Wurtzit in Kesterit schon bei einer tieferen Temperatur. Dabei bilden sich viele kleine Kristallite statt weniger großer und auch vermehrt Defekte aus. Beim schnellen Heizen ist dafür keine Zeit, die Umwandlung findet erst bei einer höheren Temperatur statt, bei der sich direkt eine defektärmere Struktur ausbildet“, sagt Mainz.

### Kornwachstum beschleunigt Phasenumwandlung

Der Vergleich der Phasenumwandlung bei langsamer und bei schneller Heizrate zeigt, dass nicht nur das Kornwachstum durch die Phasenumwandlung ausgelöst wird, sondern andersherum auch das Kornwachstum die Phasenumwandlung beschleunigt. Die HZB-Physiker haben ein Modell entwickelt, das diese Beobachtung erklären kann und anhand von Modellrechnung die Übereinstimmung mit den gemessenen Daten überprüft. Die Arbeit zeigt einen neuen Weg, um dünne mikrokristalline Schichten aus Halbleiter-Nanostrukturen ohne aufwändige Vakuumtechnik herzustellen. Das neue Verfahren könnte auch für die Herstellung von mikro- und nanostrukturierten photoelektrischen Bauelementen, sowie für Halbleiterschichten aus anderen Materialien interessant sein, meint Mainz. *arö*

Nature Communications, Vol. 5, 2013 (doi: 10.1038/ncomms4133): Phase-transition-driven growth of compound semiconductor crystals from ordered metastable nanorods, R. Mainz, A. Singh, S. Levchenko, M. Klaus, C. Genzel, K. M. Ryan and T. Unold



## GRAPHEN BLEIBT GRAPHEN, AUCH UNTER SILIZIUM

Die HZB-Wissenschaftler Dr. Marc Gluba und Prof. Dr. Norbert Nickel haben in Experimenten gezeigt, dass Graphen seine Eigenschaften behält, wenn es mit einer dünnen Silizium-Schicht bedeckt wird. Damit eröffnen sich für die **Dünnschicht-Photovoltaik** ganz neue Möglichkeiten.

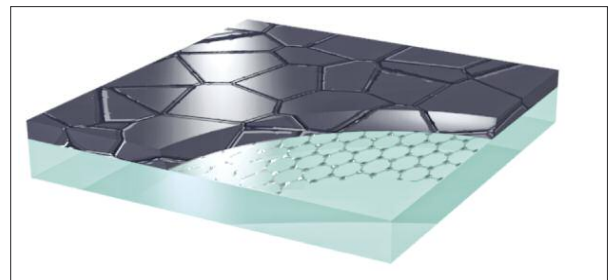
**G**raphen ist extrem leitfähig und vollkommen lichtdurchlässig, dabei günstig und ungiftig. Damit eignet es sich in Solarzellen perfekt als transparente Kontaktschicht zum Abführen des Stroms, ohne den Lichteinfall zu verringern – zumindest theoretisch. Ob dies auch in der realen Welt funktioniert war bislang fraglich, denn „ideales“ Graphen – eine frei schwebende, flache Wabenstruktur aus einer einzigen Lage Kohlenstoffatome – gibt es nicht: Wechselwirkungen mit benachbarten Schichten können die Eigenschaften von Graphen jedoch drastisch verändern. Marc Gluba und Norbert Nickel vom HZB-Institut für Silizium-Photovoltaik haben experimentell gezeigt, wie sich Graphen verhält, wenn es mit einer dünnen Silizium-Schicht bedeckt wird. „Wir haben untersucht, wie sich die Leitungseigenschaften von Graphen verändern, wenn es in einen Schichtstapel ähnlich dem einer Dünnschicht-Silizium-Solarzelle eingebaut wird. Wir waren selbst überrascht, dass wir nachweisen konnten, dass sich diese Eigenschaften dadurch nur wenig verändern“, erklärt Marc Gluba.

### Graphen auch nach der Schmelze nachweisbar

Die Forscher stellten dafür Graphen auf einer Kupferfolie her, transferierten es auf ein Glas-Substrat und schieden dann eine dünne Schicht aus Silizium darüber ab. Dabei untersuchten sie zwei Varianten, wie sie auch in den gängigen Silizium-Dünnschicht-Technologien verwendet werden: Zum einen eine Probe mit einer amorphen Siliziumschicht, in der die Silizium-Atome wie in einer erstarrten Schmelze

### HZB AN BMBF-Projekt beteiligt

Im Rahmen des Aufrufs „Materialforschung für die Energiewende“ fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 17 aus 290 eingereichten Anträgen, darunter den Antrag des HZB. Damit stehen zusätzliche Mittel zur Verfügung, um neue Materialien für die solare Wasserstoffproduktion zu entwickeln und die Rolle von Defekten zu untersuchen.



Die Graphen-Schicht ist nur eine Atomlage dick (0,3 Angström oder 0,03 Nanometer), Ladungsträger können sich allerdings sehr frei darin bewegen. Diese Eigenschaft bleibt erhalten, auch wenn die Graphen-Schicht mit amorphem oder polykristallinem Silizium bedeckt wird.

ungeordnet sind. Zum anderen untersuchten sie, wie sich ein typischer Kristallisationsprozess, der das ungeordnete Silizium in seine kristalline Phase überführt, auf die Eigenschaften des Graphens auswirkt.

Obwohl sich das Gefüge der Deckschicht infolge der Erwärmung auf mehrere hundert Grad Celsius komplett verändert, ist das vergrabene Graphen auch danach noch nachzuweisen. „Das haben wir so nicht erwartet, aber unser Ergebnis zeigt: Graphen bleibt Graphen, auch unter Silizium“, sagt Norbert Nickel. Die Messungen der Beweglichkeit über den Hall-Effekt zeigten, dass die Beweglichkeit von Ladungsträgern in der eingebetteten Graphen-Schicht rund 30 mal höher liegt als in konventionellen Kontaktschichten aus Zinkoxid. „Allerdings ist es noch sehr schwierig, diese nur eine Atomlage dünne Kontaktschicht mit äußeren Kontakten zu verbinden, daran müssen wir noch arbeiten“, erklärt Gluba. „Die Kollegen von den Dünnschicht-Technologien spitzen schon die Ohren und wollen das einbauen“, sagt Nickel.

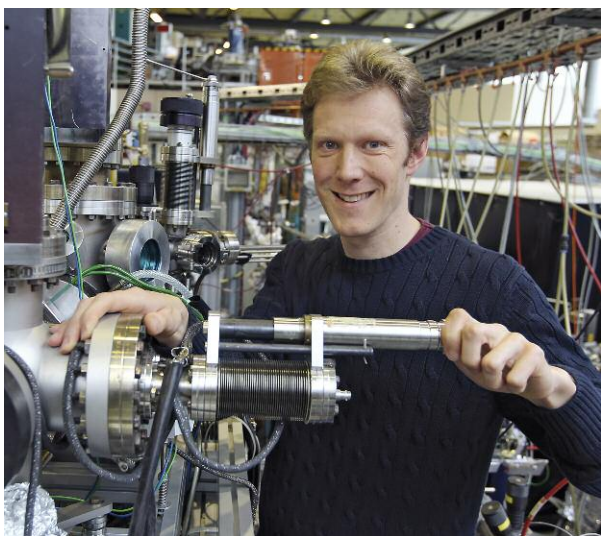
Die Forscher haben ihre Messungen an Proben gemacht, die nur eine Fläche im Bereich von Quadratcentimetern haben. Es ist praktisch aber möglich, auch größere Flächen mit Graphen zu beschichten, so dass die Ergebnisse perspektivisch auch für die Industrie interessant sind. arö

Appl. Phys. Lett. 103, 073102, 2013, (doi: 10.1063/1.4818461):  
Embedded graphene for large-area silicon-based devices; M. A. Gluba,  
D. Amkreutz, G. V. Troppenz, J. Rappich and N. H. Nickel

## SCHNELLE ENTMAGNETISIERUNG DURCH SPINTRANSPORT

Mit **ultrakurzen Laserpulsen** kann eine ferromagnetische Schicht blitzschnell entmagnetisiert werden. Forscher um die Physikerin Dr. Andrea Eschenlohr haben gezeigt, dass es offenbar nicht der Lichtpuls selbst ist, der die Entmagnetisierung bewirkt.

**D**ass ein ultrakurzer Laserpuls eine ferromagnetische Schicht blitzschnell entmagnetisieren kann, ist seit 1996 bekannt. Doch wie diese Entmagnetisierung funktioniert, ist noch nicht verstanden. Die Physikerin Dr. Andrea Eschenlohr und ihre Kollegen vom HZB und der Universität Uppsala in Schweden haben mit ihrer Forschung dieses Phänomen untersucht. Dazu be-



Dr. Christian Stamm leitete das Experiment von Dr. Andrea Eschenlohr am Femtoslicing-Strahlrohr von BESSY II.

strahlten sie zwei unterschiedliche Schichtsysteme mit extrem kurzen Laserpulsen von nur hundert Femtosekunden ( $10^{-15}$  s). Während eine Probe im Wesentlichen aus einer dünnen ferromagnetischen Nickelschicht bestand, war in der anderen Probe diese Nickelschicht von einer unmagnetischen Goldschicht bedeckt. Obwohl sie nur 30 Nanometer ( $10^{-9}$  m) dick war, schluckte die Goldschicht den Großteil des Laserlichts, in der Nickelschicht kam kaum noch Licht an. Dennoch nahm die Magnetisierung der Nickelschicht kurz nach dem Eintreffen des Laserpulses in beiden Proben rasch ab, bei der goldbeschichteten Probe allerdings um Sekundenbruchteile später.

Dies konnten die Forscher durch Messungen mit zirkular polarisierten Femtosekunden-Röntgenpulsen beobachten, die sie am Femtoslicing-Strahlrohr am Berliner Elektronenspeicherring BESSY II durchführten, den das HZB betreibt.

### Spinströme können mit Laserpulsen gezielt erzeugt werden

„Wir konnten damit experimentell zeigen, dass dabei die ultraschnelle Entmagnetisierung nicht durch das Licht selbst bewirkt wird, sondern durch heiße Elektronen, die der Laserpuls erzeugt“, erklärt Andrea Eschenlohr. Die so angeregten Elektronen können sich über kurze Distanzen, also durch die hauchdünne Goldschicht, extrem rasch bewegen. Sie transportieren damit ihr magnetisches Moment – den „Spin“ – auch in die ferromagnetische Nickelschicht, so dass dort die vorherrschende magnetische Ordnung zusammenbricht. „Eigentlich wollten wir sehen, wie wir die Spins mit dem Laserpuls beeinflussen können“, erklärt Dr. Christian Stamm, der Leiter des Experiments. „Dass wir aber direkt beobachten konnten wie diese Spins wandern, war eine Überraschung.“

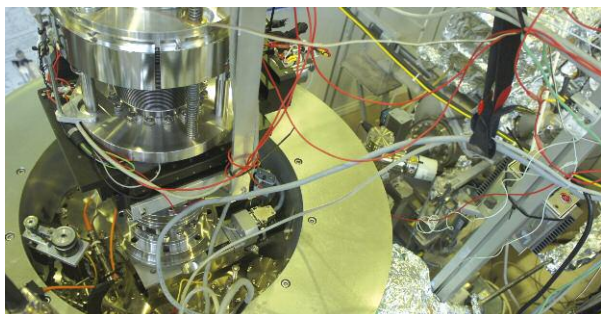
Laserpulse sind damit eine Möglichkeit, gezielt „Spinströme“ zu erzeugen, bei denen Spins an Stelle von elektrischer Ladung übertragen werden. Diese Beobachtung ist für das Forschungsgebiet der Spintronik interessant. Dabei entwerfen Forscher neue Bauelemente aus magnetischen Schichtsystemen, die mit Spins anstatt mit Elektronen „rechnen“ und dadurch Informationen extrem schnell und energiesparend verarbeiten und speichern können. Andrea Eschenlohr war bis Ende 2012 am HZB beschäftigt, wo sie die hier vorgestellten Ergebnisse im Rahmen ihrer Doktorarbeit erzielte. Seit Januar 2013 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Duisburg-Essen tätig. *arö*

Nature Materials 12, 332–336, 2013, (doi:10.1038/nmat3546): Ultrafast spin transport as key to femtosecond demagnetization; A. Eschenlohr, M. Battiato, P. Maldonado, N. Pontius, T. Kachel, K. Holldack, R. Mitzner, A. Föhlisch, P. M. Oppeneer and C. Stamm

## MAGNETISCHE MOMENTE BEEINFLUSSEN

Forscher am HZB haben herausgefunden, wie **physikalische Charakteristika von Metalloxiden** kontrolliert gesteuert werden können. Sie zeigen damit den Weg für Mechanismen zukünftiger Informationstechnologien auf.

Auf der Suche nach immer leistungsfähigeren Speichermedien für die Informationstechnologie setzen Physiker auf magnetische Strukturen. Die sogenannte Spintronik nutzt die magnetischen Eigenschaften von Elektronen und könnte so die herkömmliche Elektronik, die allein auf der Ladung eines Elektrons beruht, ablösen. Die Herausforderung für die Wissenschaft besteht darin, geeignete Materialien zu identifizieren, deren elektronische und magnetische Struktur zu entschlüsseln und die damit verbundenen physikalischen Eigenschaften und Funktionalitäten gezielt zu steuern. Ob und wie sich die Charakteristika von atomar dünnen Metalloxid-Nanostrukturen beeinflussen lassen, war Forschungsgegenstand eines Versuches, der am HZB in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart und dem Quantum Matter Institute der University of British



Die Forscher nutzten für ihre Experimente mit Lanthannickeloxid das an BESSY II entwickelte XUV-Diffractometer.

Columbia, Vancouver durchgeführt wurde. Die Forscher um Dr. Alex M. Frano Pereira und Dr. Enrico Schierle untersuchten Seltenerd-Nickeloxide, die über besondere physikalische Eigenschaften verfügen: Das komplexe Wechselspiel verschiedener elektronischer Freiheitsgrade erlaubt in diesen Substanzen Übergänge zwischen metallisch leitendem bis hochgradig isolierendem Verhalten, das von unterschiedlichen magnetischen und Ladungsordnungszuständen begleitet wird. In Nanostrukturen dieser Materialien können solche Zustände gezielt manipuliert werden: Lanthannickeloxid beispielsweise weist im Volumen keine magnetischen

Eigenschaften auf, wird allerdings magnetisch geordnet, wenn es nur zwei atomare Schichten dünn ist. Für die Forscher ist es entscheidend zu entschlüsseln, welche magnetischen Strukturen solche atomaren Schichten genau ausbilden - etwa ob eine ferromagnetische oder eine antiferromagnetische Ordnung vorliegt und ob das Material eine einfache oder komplexe spiralförmige magnetische Struktur besitzt.

### Röntgenbeugung am BESSY II

Für ihre Experimente nutzten die Wissenschaftler das an BESSY II entwickelte XUV-Diffractometer. Mit Synchrotronstrahlung im weichen Röntgenbereich gelang es ihnen mittels resonanter Röntgenbeugung, die schwer nachweisbaren magnetischen Modulationen in diesen Nanostrukturen mit hoher Präzision zu messen und damit wesentlich zum Verständnis dieses Phänomens beizutragen. Das Experiment hat gezeigt, dass sich magnetische Struktur und weitere makroskopische Eigenschaften der Nickelate gezielt einstellen lassen. „Wenn man diese extrem dünnen Materialien auf einem Substrat wachsen lässt, dann passen die Gitterkonstanten des Trägersubstrates niemals perfekt zu der Gitterkonstante, die das Material selbst ausbilden würde. Das heißt, man verzerrt diese Materialien durch die Auswahl des Trägermediums ein bisschen und beeinflusst so die bevorzugte orbitale Besetzung und damit die Richtung der magnetischen Momente“, erklärt Schierle die Methode. Diese Erkenntnis eröffnet die einzigartige Möglichkeit, das Potenzial der auf Antiferromagneten beruhenden Spintronik zu erforschen. Ziel ist es, „die Funktionalitäten zu finden, die es ermöglichen, das System durch möglichst einfache Parameteränderungen von einem stabilen Zustand in einen anderen zu schalten. Das ist die Grundlage dafür, dass es für Informationsspeicherprozesse genutzt werden kann“, so Schierle. *tm*

Phys. Rev. PRL 111, 106804 (2013), (DOI: 10.1103/PhysRevLett. 111. 106804): Orbital Control of Noncollinear Magnetic Order in Nickel Oxide Heterostructures, A. Frano et al.

Reports on Progress in Physics 76 (2013), 056502 (DOI: 10.1088/0034-4885/76/5/056502): Resonant Elastic Soft X-Ray Scattering, J. Fink, E. Schierle, E. Weschke and J. Geck





## KOOPERATIONEN

**194 Kooperationen** mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen unterhielt das HZB Ende 2013. Davon betrafen 75 die Forschung an Erneuerbaren Energien und 119 die Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen.

Neben dem **Berlin Joint EPR Lab** (siehe Seite 44) hat das HZB Kooperationsverträge mit der FU Berlin über die Etablierung von drei weiteren **Joint Labs** geschlossen: dem Berlin Joint Laboratory for Quantummagnetism (BerQuam), dem Berlin Joint Laboratory for Non Equilibrium of Matter (BerNEM), und „Supramolekulare Polymere Materialien“. Verbunden mit der Etablierung der Joint Labs ist die Nachwuchsförderung durch die gemeinsame Beru-

fung jeweils einer Juniorprofessorin oder eines Juniorprofessors.

Das HZB richtet zusammen mit der Humboldt Universität zu Berlin (HU) die **Graduiertenschule Hybrid Materials for Efficient Energy Generation and Information Technologies** ein. Sie soll Teil der Humboldt Graduate School (HGS) werden. Der wissenschaftliche Schwerpunkt der Schule wird auf anorganisch-organischen Hybriden für die Photovoltaik liegen. Federführend sind Prof. Norbert Koch, der eine gemeinsame Forschergruppe des HZB mit der HU leitet, und Prof. Joachim Dzubiella (HZB und HU Berlin).

# DURCHBRUCH BEI SOLARER WASSERSTOFFPRODUKTION

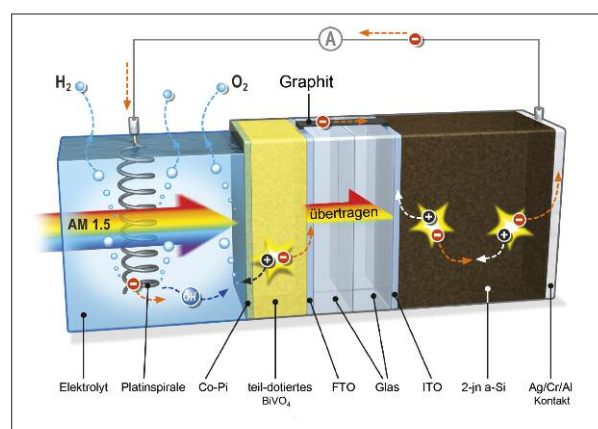
Mit einer einfachen Solarzelle und einer **Photo-Anode aus Metalloxid** konnten Forscher vom HZB und von der TU Delft fast fünf Prozent der Solarenergie chemisch in Form von Wasserstoff speichern.

**S**onnenenergie speichern zu können ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung. Mit ihrem Versuchsaufbau erzielten die Forscher um Prof. Dr. Roel van de Krol, Leiter des HZB-Instituts für Solare Brennstoffe, einen wichtigen Durchbruch. Denn die von ihnen verwendete Solarzelle ist deutlich einfacher aufgebaut als die sonst eingesetzten Hochleistungs-Zellen. Die Photo-Anode aus dem Metalloxid Wismut-Vanadat ( $\text{BiVO}_4$ ) wurde einfach aufgesprüht und mit einem preisgünstigen Kobalt-Phosphat-Katalysator beschichtet. „Wir haben hier das Beste aus zwei Welten kombiniert“, sagt Roel van de Krol: „Wir nutzen die chemische Stabilität und den niedrigen Preis von Metalloxiden, bringen dies mit einer sehr guten, aber recht einfachen Silizium-Dünnschicht-Solarzelle zusammen und erhalten so eine günstige, sehr stabile und leistungsstarke Zelle.“ Damit haben die Experten ein einfaches System entwickelt, das mit Sonnenlicht Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten kann. Dieser auch als „Künstliche Photosynthese“ bekannte Prozess ermöglicht es, die Energie der Sonne in Form von Wasserstoff chemisch zu speichern. Die relativ einfache Silizium-Dünnschichtzelle wird mit einer Schicht aus Metalloxid kombiniert, die als Photo-Anode für die Bildung von Sauerstoff fungiert. Nur diese Photo-Anode kommt in Kontakt mit der wässrigen Lösung und schützt damit die Siliziumzelle vor Korrosion.

## Höhere Wirkungsgrade möglich

Van de Krol und seine Mitarbeiter untersuchten systematisch die Prozesse vom Lichteinfall über die Ladungstrennung bis zur Wasserspaltung in unterschiedlichen Metalloxiden, um diese weiter zu optimieren. „Mit einer Photo-Anode aus Wismut-Vanadat müssten theoretisch sogar Wirkungsgrade bis zu neun Prozent für die elektrochemische Zelle erreichbar sein“, erklärt van de Krol. Ein Problem konnten sie schon lösen: Mit Hilfe eines preiswerten Kobalt-Phosphat-Katalysators schafften sie es, die Bildung von Sauerstoff an der Photo-Anode deutlich zu beschleunigen.

Die größte Herausforderung war es jedoch, in der Wismut-Vanadat-Schicht die Ladungen effizient zu trennen. Denn Metalloxide sind zwar stabil und billig, aber die Ladungsträger neigen dazu, rasch zu rekombinieren und damit für



Fällt Licht auf das System, entsteht eine elektrische Spannung. Die Metalloxid-Schicht fungiert als Photo-Anode, dort bildet sich Sauerstoff. Sie ist durch eine leitfähige Brücke aus Graphit (schwarz) mit der Solarzelle verbunden. Eine Platin-Spirale dient als Kathode, hier bildet sich Wasserstoff.

die Wasserspaltung verloren zu gehen. Die Wissenschaftler entdeckten, dass der Einbau zusätzlicher Wolfram-Atome in der Wismut-Vanadat-Schicht dem entgegensteuert. „Es kommt darauf an, diese Wolfram-Atome optimal zu verteilen, dann erzeugen sie ein internes elektrisches Feld, das die Rekombination verhindert“, erklärt van de Krol. Um dies zu erreichen, sprühten sie eine Lösung von Wismut, Vanadium und Wolfram auf ein heißes Glassubstrat. Durch Wiederholen des Sprühvorgangs mit jeweils unterschiedlichen Wolfram-Konzentrationen entsteht eine effiziente photoaktive Metalloxid-Schicht von etwa 300 Nanometern Dicke. „Wir haben festgestellt, dass mehr als 80 Prozent der eingefangenen Photonen auch genutzt werden, das ist ein Rekord für ein Metalloxid und war auch physikalisch unerwartet“, sagt van de Krol. Eine der nächsten Herausforderungen wird sein, solche Systeme hoch zu skalieren, damit sie relevante Mengen an Wasserstoff erzeugen können. arö

Nature Communications (doi: 10.1038/ncomms3195): Efficient solar water splitting by enhanced charge separation in a bismuth vanadate-silicon tandem photoelectrode; F. F. Abdi, L. Han, A. H. M. Smets, M. Zeman, B. Dam and R. van de Krol

## MATERIALFORSCHUNG MIT SPEKTROSKOPIE

HZB und Freie Universität haben ein gemeinsames Labor gegründet, um **Elektronenspinresonanz-basierte Methoden** zu entwickeln, mit denen neue Materialien und biologische Systeme untersucht werden können: das „Berlin Joint EPR Laboratory“ (BeJEL).

Wissenschaftler wollen im Berlin Joint EPR Laboratory mit Methoden modernster hochauflösender und ultrasensibler Spektroskopie Materialien etwa für katalytische und photovoltaische Anwendungen untersuchen. So werden die Forscher einen wichtigen Beitrag leisten, die physikalisch-chemischen Prozesse zu analysieren, die in Solarzellen, Katalysatoren oder Proteinen ablaufen. Das Ziel ist, beispielsweise Bauelemente mit größerer Leistungsfähigkeit für die Gewinnung und Speicherung regenerativer Energien zu entwickeln.



Feierliche Einweihung des gemeinsamen Labors (v.l.n.r.): Prof. Dr. Monika Schäfer-Korting, Prof. Dr. Robert Bittl, Prof. Dr. Klaus Lips, Prof. Dr. Thomas Risse und Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla.

Die Elektronenspinresonanz (Electron Paramagnetic Resonance, kurz EPR) ist für Untersuchungen dieser Art besonders vielversprechend: So wird der Wirkungsgrad von Solarzellen oft durch Defekte auf atomarer Ebene eingeschränkt, die sich im Herstellungsprozess ergeben – etwa winzige Verunreinigungen des Materials, die zu Fehlern im Aufbau ultradünner Schichten für Solarzellen führen. Diese Fehler können mithilfe der Elektronenspinresonanz ermittelt und damit die Herstellungsprozesse der Solarzellen verbessert werden.

### Gemeinsames Know-how bündeln

Geleitet wird die neue Einrichtung von Prof. Dr. Klaus Lips, Leiter des Energy Materials In-Situ Lab (EMIL) am HZB und Inhaber der Professur Analytik für die Photovoltaik an der Freien Universität, sowie von Robert Bittl, Professor für Experimentalphysik und Thomas Risse, Professor für physikalische und theoretische Chemie an der Freien Universität. Die Wissenschaftliche Geschäftsführerin des HZB, Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla, sagte bei der feierlichen Eröffnung im Februar 2013, die Einrichtung von BeJEL sei ein wichtiger Schritt, „mit dem wir unsere Zusammenarbeit mit der Freien Universität intensivieren. Das gemeinsame Know-how, das wir in dem neuen Labor bündeln, wird Berlin als international führenden Standort in der Material- und Energieforschung erheblich stärken.“ Die Erste Vizepräsidentin der Freien Universität Berlin, Prof. Dr. Monika Schäfer-Korting, freute sich, dass die Eröffnung des gemeinsam betriebenen Labors die Kooperation zwischen der Freien Universität mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin stärke: „Durch die Zusammenarbeit eröffnen sich der Freien Universität in vielerlei Hinsicht neue Freiräume und Perspektiven“, sagte Monika Schäfer-Korting. Als Beispiele nannte sie die personelle Ergänzung in Forschung und Lehre, die gemeinsame Anwerbung von Spitzenforschern in internationalen Beziehungsnetzen, die gemeinsame Projektarbeit und die Nachwuchsförderung.

hs

### NEUES JOINT LAB AM HZB

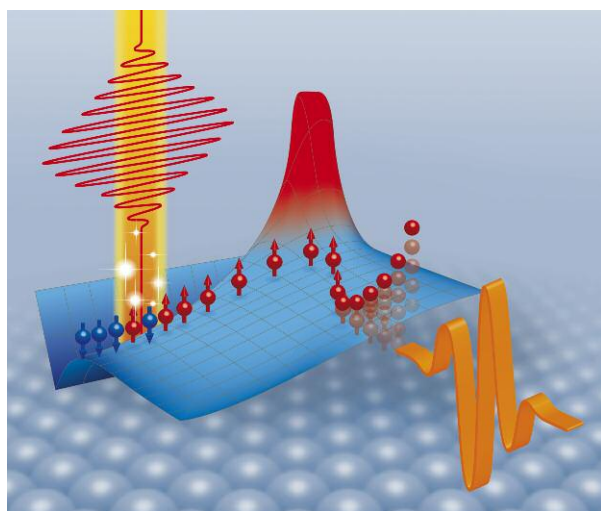
Das HZB-Institut für Solare Brennstoffe baut mit dem Fritz-Haber-Institut und der Universität Darmstadt ein gemeinsames Labor auf, um Grenzflächen zwischen den Metalloxid-Halbleiter-Verbindungen und dem Elektrolyten zu untersuchen und damit die Elektrokatalyse zu verbessern. Dafür stellt das HZB zwei neue Postdoktorandenstellen.



## ULTRASCHNELLE PROZESSE IN MAGNETEN

Ein internationales Team hat einen Weg entdeckt, um Spins in einer bislang unerreichten Geschwindigkeit, nämlich mit Terahertz-Frequenzen, zu steuern. Sie nutzten dafür **Femtosekunden-Laserpulse**. Die Ergebnisse sind für Datenverarbeitung und -speicherung interessant.

**W**ie schnell gelingt es, Strom an- und auszuschalten? Neue Möglichkeiten, diese Grenzen auszuweiten, hat ein internationales Forscherteam in magnetischen Materialien mit Beteiligung des Fritz-Haber-Instituts, der Universitäten Göttingen und Uppsala sowie des Forschungszentrum Jülich und des Helmholtz-Zentrum Berlin untersucht. Den Wissenschaftlern gelang es, Stromflüsse auf einer Zeitskala von 100 Femtosekunden – eine Femtosekunde entspricht dem millionsten Teil einer Milliardstelsekunde – zu erzeugen und zu verändern. Die Ergebnisse könnten es ermöglichen, neue Materialien zu entwerfen, in denen magnetische Muster deutlich schneller gespeichert werden können.



Angeregt durch einen Femtosekunden-Laserpuls (gelb), entsteht ein ultraschneller Spinstrom (rote Kugeln mit Pfeil). Dieser führt zur Emission elektromagnetischer Wellen im Terahertz-Bereich (orange).

Elementarteilchen, viele Atomkerne sowie Atome mit bestimmten Elektronenkonfigurationen besitzen einen sogenannten Spin, der die Rotation um die eigene Achse bezeichnet. Diese Eigenschaft der Elektronen ermöglicht eine alternative Form der Steuerung von Strömen, die „Spinelektronik“. Die Wissenschaftler entwickelten ein

wenige Nanometer dickes Schichtsystem, in dem sie die ultrakurzen Ströme speichern und auslesen konnten. Durch einen Femtosekunden-Laserpuls angeregt, entsteht ein sogenannter Spinstrom. Dieser kann durch seine speziellen Eigenschaften sowie seine Wechselwirkungen mit dem Metall, in dem er fließt, lokalisiert und gespeichert werden.

### Aus Spinstrom wird nach Speicherung konventioneller Ladungsstrom

Die Wissenschaftler zeigen in ihrer Studie, dass das Metall Ruthenium ein guter Speicher ist, durch eine Goldschicht fließen die Spins hingegen einfach durch. Der Spinstrom lässt sich nach der Speicherung in einen konventionellen Ladungsstrom umwandeln. Der Fluss des Stroms kann über die von ihm erzeugte elektromagnetische Strahlung im Terahertz-Frequenzbereich erkannt werden. „Nur mit diesen ultrakurzen Strompulsen von 100 Femtosekunden Länge lassen sich im Terahertz-Bereich langwellige elektromagnetische Wellen erzeugen“, sagt der Göttinger Physiker Prof. Dr. Markus Münzenberg. „Durch den Einsatz von unterschiedlichen Materialien, wie Ruthenium oder Gold, können wir dabei das Spektrum der elektromagnetischen Wellen steuern. Zurzeit arbeiten wir daran, eine solche Steuerung aktiv zu beeinflussen.“

Elektromagnetische Wellen im Terahertz-Bereich sind interessant für ultraschnelle Informationstechnologie und die Entwicklung neuartiger Lichtquellen. Sie werden darüber hinaus für die genaue Analyse von komplexen Kristallen und Molekülen benötigt, die bei der Entwicklung und Produktion von pharmazeutischen Produkten eine wichtige Rolle spielen.

Nature Nanotechnology, 2013, (doi: 10.1038/nnano.2013.43): Terahertz spin current pulses controlled by magnetic heterostructures; T. Kampfrath, M. Battiato, P. Maldonado, G. Eilers, J. Nötzold, S. Mährlein, V. Zbarsky, F. Freimuth, Y. Mokrousov, S. Blügel, M. Wolf, I. Radu, P. M. Oppeneer and M. Münzenberg

# NEUES HELMHOLTZ-INSTITUT FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN

Gemeinsam mit zwei weiteren Partnern hat das HZB das Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für **Erneuerbare Energien** (HI ERN) gegründet.

Die wissenschaftlichen Grundlagen für die Gewinnung und Speicherung Erneuerbarer Energien weiter zu verbessern – das ist das Ziel des neuen Helmholtz-Instituts Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien. Drei wissenschaftliche Einrichtungen – die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU),



Kooperationspartner (v.l.n.r.): Prof. Dr. Jürgen Mlynek, Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, Katja Hessel, Bayerische Staatssekretärin für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Dr. Wolfgang Heubisch, Bayerischer Staatsminister für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Joachim Herrmann, Bayerischer Staatsminister des Inneren, Prof. Dr. Johanna Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung, Prof. Dr. Karl-Dieter Gröske, Präsident der FAU, Prof. Dr. Harald Bolt, Mitglied des Vorstands des FZ Jülich, Prof. Dr. Achim Bachem, Vorstandsvorsitzender FZ Jülich und Thomas Frederking, Kaufmännischer Geschäftsführer des HZB.

das Forschungszentrum Jülich und das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) – schlossen dazu im August 2013 einen entsprechenden Kooperationsvertrag. Die Helmholtz-Gemeinschaft fördert das neue Institut, das mittelfristig 40 bis 50 Mitarbeiter haben soll, mit jährlich 5,5 Millionen Euro. Aus diesem Etat werden unter anderem vier Professuren und zwei Nachwuchsgruppen finanziert. Bei den Berufungen arbeiten die Partner aus Jülich, Berlin und der FAU eng zusammen, auch der Austausch von Mitarbeitern und Studierenden ist geplant.

Forschungsschwerpunkte am HI ERN sind Lösungen für druckbare Photovoltaikanwendungen und innovative Methoden zur chemischen Speicherung von Sonnenenergie mithilfe von Wasserstoff. Ein weiterer Schwerpunkt liegt

auf Systemtechnologien rund um das Thema Wasserstoff. Das HZB bringt seine international anerkannte Expertise in der Dünnschicht-Photovoltaik und zu solar erzeugtem Wasserstoff ein, ein Thema, das derzeit am HZB deutlich ausgebaut wird. „Die Dünnschicht-Techniken, die bislang zur Herstellung von neuartigen Solarzellen verwendet werden, wollen wir auch für die solare Brennstoffherzeugung nutzbar machen. Auf diesem Gebiet verfügt das HZB über einzigartiges Know-How“, sagt Prof. Anke Kaysser-Pyzalla, wissenschaftliche Geschäftsführerin des HZB. Unter anderem wird das HZB eine W2-Professur auf diesem Gebiet finanzieren und den Zugang der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Nürnberg und Erlangen zu den einzigartigen Infrastrukturen am HZB ermöglichen. „Unsere Beteiligung am HI ERN ist auch ein Ausdruck dafür, dass sich das HZB verstärkt als modernes Energieforschungszentrum mit Schwerpunkt Materialforschung ausrichtet“, betont Anke Kaysser-Pyzalla. arö

## NEUER SFB ZU METALLOXID-WASSER-SYSTEMEN

Metalloxide werten Spezialgläser auf, verbessern keramische Implantate in der Medizin und gelten als Kandidaten für Anwendungen in Brennstoffzellen, Solarzellen, Mikroelektronik sowie als neuartige Katalysatoren. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert daher seit Ende 2013 bis 2017 den Sonderforschungsbereich „Molekulare Einblicke in Metalloxid-Wasser-Systeme“, an dem auch HZB-Forscher beteiligt sind. Dr. Bernd Winter von der Nachwuchsgruppe um Prof. Dr. Emad Aziz untersucht Metallionen und Metalloxid-Komplexe in wässriger Lösung mittels Photoelektronen-Spektroskopie an BESSY II. Die Erkenntnisse sind wichtig, um Metalloxide gezielt für konkrete Anwendungen synthetisieren zu können. Sprecher des SFB ist Prof. Dr. Christian Limberg, Humboldt-Universität zu Berlin. Weitere Partner sind die FU Berlin, die TU Berlin, die Universität Potsdam, die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung und das Fritz-Haber-Institut. arö



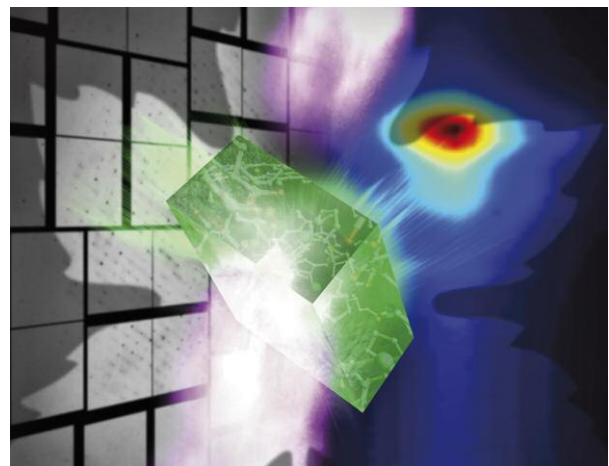
Dr. Bernd Winter in der Experimentierhalle von BESSY II.

## SCHNAPPSCHÜSSE VON DER PHOTOSYNTHESE

Mit ultrakurzen Schnapsschüssen an modernen Lichtquellen will ein deutsch-amerikanisches Team die Zwischenschritte bei der komplexen **katalytischen Reaktion der Photosynthese**, einem zentralen Prozess des Lebens, beobachten.

**O**bwohl alle tierischen Organismen Sauerstoff verbrauchen, geht uns der Sauerstoff glücklicherweise nicht aus. Denn Grünpflanzen, Algen und Cyanobakterien bauen aus Kohlendioxid, Wasser und Sonnenlicht durch Photosynthese andere Moleküle auf und setzen dabei wieder Sauerstoff frei. Dabei wird die zentrale Reaktion im „Photosystem II“-Protein, nämlich die Abspaltung von Sauerstoff aus Wasser, erst durch einen Katalysator möglich, ein komplexes Molekül mit einem Kern aus  $Mn_4CaO_5$ . Wie die Reaktion an diesem natürlichen Katalysator genau abläuft, untersucht ein Team um den HZB-Physiker Dr. Philippe Wernet, die Chemikerin Prof. Dr. Athina Zouni von der Humboldt-Universität zu Berlin, Dr. Uwe Bergmann vom SLAC National Accelerator Laboratory und Dr. Junko Yano, Lawrence Berkeley National Laboratory, die das Projekt federführend leitet. Ihr Ansatz geht weit über die konventionelle Röntgenkristallografie und Röntgenspektroskopie bei tiefen Temperaturen hinaus: Die intensiven und ultrakurzen Femtosekunden-Röntgenpulse an der Linac Coherent Light Source, einem Freien-Elektronenlaser am SLAC National Accelerator Laboratory in Stanford, bieten die Möglichkeit, bei Raumtemperatur Daten zu sammeln und dabei das Signal aufzufangen, bevor die Probe zerstört wird. „Wir machen eine Art Schnapsschuss von der Reaktion“, erklärt Philippe Wernet.

Die Forscher wollen damit die Protein-Struktur und die Dynamik der Reaktion am  $Mn_4CaO_5$ -Cluster untersuchen – und zwar während weiter Licht absorbiert wird und Wasser



Die Wissenschaftler untersuchen zentrale Reaktionen bei der Photosynthese an Lichtquellen wie SLAC und BESSY II.

zu Sauerstoff oxidiert. „Wir planen eine Folge von zeitaufgelösten Röntgenstreu- und Röntgenspektroskopie-Experimenten, um die Reaktion bei Raumtemperatur zu untersuchen und dabei alle Zwischenschritte abzubilden“, erklärt Wernet. So hoffen sie, einen sehr genauen Einblick in die Reaktionen zu erhalten, die für den Prozess der photosynthetischen Wasser-Oxidation nötig sind. Dafür hat ihnen das Human Frontier Science Program eine Unterstützung von rund 900.000 US-Dollar für die nächsten drei Jahre zugesichert. *arö*

### DÜNNSCHICHT-SOLARZELLEN AUS KRISTALLINEM SILIZIUM

Das HZB und Masdar PV – ein Unternehmen, das Dünnschicht-Solarprodukte und -Lösungen entwickelt und produziert – arbeiten seit 2013 bei der Entwicklung der nächsten Generation von Dünnschicht-Silizium-Technologie zusammen. „Auf kristallinem Silizium basierende Dünnschicht-Photovoltaik-Module können eine hohe Effizienz bei gleichzeitig niedrigen Materialkosten erzielen“, sagt Prof. Dr. Bernd Rech, Leiter des HZB-Instituts Silizium-Photovoltaik. „So können die Vorteile der

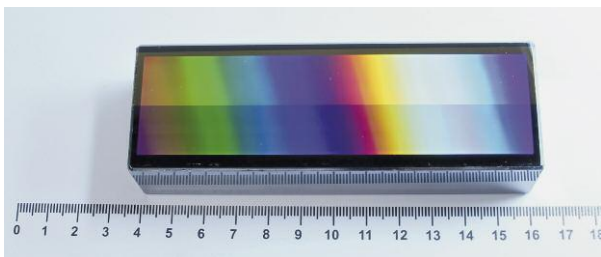
etablierten, wafer-basierten kristallinen Silizium-PV mit denen der Dünnschicht-Si-Technologie kombiniert werden.“ Mit der neuen Technologie wollen die Kooperationspartner eine Effizienz erzielen, die vergleichbar mit der von wafer-basierten Silizium-Modulen ist. „Wir rechnen damit, dass Dünnschicht-Solarzellen aus kristallinem Silizium kurzfristig einen Wirkungsgrad von 14 Prozent pro Zelle erreichen können und wir sind zuversichtlich, dass rasche technologische Fortschritte in diesem Bereich möglich sind“, sagt Prof. Rutger Schlatmann, Leiter der Technologietransfer-Einheit PVcomB am HZB. *hs*



# SÄGEZAHNGITTER FÜR PHOTONENQUELLEN

Dem Technologiezentrum für hochpräzise optische Gitter am HZB ist ein Durchbruch bei der Herstellung von **optischen Bauelementen** gelungen. Damit kann es künftig weltweit Einrichtungen mit Sägezahngrittern versorgen.

**G**itter kommen in Photonenquellen zum Einsatz, um das Licht zu beugen und die für die Experimente benötigte Wellenlänge herauszufiltern. Nach zweieinhalbjähriger Arbeit haben die Entwickler nun erstmalig Sägezahngritter in höchster Präzision hergestellt, die den Ansprüchen an das wissenschaftliche Experimentieren genügen. Diese Sägezahngritter (auch geblazte Gitter ge-



Am HZB produziertes Sägezahngritter.



In diesem Gerät entstehen die Sägezahn-Strukturen. Ein Diamant ritzt dabei in die mit Gold beschichteten Silizium-Substrate kleinste Rillen.

nant) wurden erfolgreich am Elektronenspeicherring BESSY II getestet. Sie verhielten sich dabei so, wie Forscher theoretisch vorausgesagt hatten. Das Technologiezentrum für hochpräzise optische Gitter, das von Dr. Bernd Loechel, Dr. Friedmar Senf und Prof. Dr. Alexei Erko geleitet wird, ist weltweit der einzige Hersteller von hocheffizienten Sägezahngrittern für den Einsatz an Photonenquellen. Gefördert wird das Projekt von der EU aus dem EFRE-Fonds.

## Rillen im Silizium-Substrat

Ein Sägezahngritter besteht aus einem Silizium-Substrat, auf das eine sehr dünne Schicht Gold aufgedampft wird. Damit das Licht am Gitter gebeugt werden kann, werden kleine Rillen mit einem Diamanten eingeritzt. Es entsteht dadurch eine Struktur, die – unter dem Mikroskop betrachtet – lauter kleinen Sägezähnen ähnelt. In ein solches Gitter werden 600 solcher Zähne je Millimeter eingeritzt – bei diesem Prozess dürfen die Umgebungstemperaturen maximal um 0,02 Grad Kelvin schwanken. Damit die Gitter möglichst viel Licht der entsprechenden Wellenlänge durchlassen, müssen die Sägezähne besonders flach sein. Das erreicht man, indem die Goldschicht der fertig geritzten Gitter in einer Ionenätzanlage behandelt wird, so dass die Neigung der Sägezähne flacher wird. Den Entwicklern ist es gelungen, den Winkel auf nur zwei Grad zu verkleinern. „Für die Herstellung dieser Sägezahngritter mussten wir uns sehr viele technologische Prozesse aneignen und sicher beherrschen lernen“, sagt Friedmar Senf, der mit in dem EFRE-Projekt am HZB arbeitet. Da es keine anderen Arbeitsgruppen auf diesem Gebiet gibt, konnten sie nicht auf vorhandene Erfahrungen zurückgreifen. Der frühere Hersteller Zeiss hatte die Fertigung 2008 aufgegeben. Seitdem wurden weltweit keine neuen Gitter für Photonenquellen mehr produziert. Mit dem Erfolg hoffen die Forscher, diese Lücke bald schließen zu können. „Die Nachfrage nach Gittern ist sehr groß – und unsere Liste mit Bestellungen lang“, sagt Senf.

Das Team konnte erst Anfang 2013 mit der eigentlichen Entwicklungsarbeit beginnen. In den beiden Jahren zuvor wurden die Laboranlagen am HZB aufgebaut und die von Zeiss übernommenen Geräte und Maschinen generalüberholt. „Bis unsere Gitterteilmaschine tatsächlich für diese extrem präzisen Arbeiten wieder fit war, ist viel Zeit vergangen. Unter anderem ist die Elektronik komplett erneuert worden. Umso mehr freuen wir uns, dass es uns gelungen ist, in relativ kurzer Zeit funktionierende Gitter herzustellen“, betont Senf. Das Team entwickelt auch weitere, innovative Gitter, darunter sogenannte Toroidgitter auf gekrümmten Substratoberflächen und reflektierende Zonenplatten, die an Freien Elektronen Lasern zum Einsatz kommen sollen. sz

# TECHNOLOGIETRANSFER-PREIS FÜR DIE ENTWICKLUNG OPTIMIERTER SCHNEIDWERKZEUGE

Dr. Manuela Klaus und Prof. Dr. Christoph Genzel haben 2013 den Technologietransfer-Preis des HZB gewonnen. Sie entwickelten eine **neuartige Analyse­methode** für die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen komplex aufgebauter, beschichteter Schneidwerkzeuge.

Für ihre Arbeit, die in Kooperation mit der in Tübingen ansässigen Walter AG erfolgte, nutzten Manuela Klaus und Christoph Genzel die Synchrotronstrahlung von BESSY II. Mit den gewonnenen Erkenntnissen konnte eine Produktserie von Schneidwerkzeugen mit hervorragenden Verschleiß­eigenschaften patentiert und erfolgreich am Markt eingeführt werden. Sie ist entsprechenden Konkurrenzprodukten weit überlegen. Bei der Preisverleihung im Oktober hob Prof. Dr. Ehrenfried Zschech vom Fraunhofer Institut für angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie Dresden (IZFP) im Namen der Jury die Bedeutung dieser Arbeit hervor: „In Kooperation mit einem Industriepartner haben die Preisträger die Eigenspannungsanalyse für gestapelte, dünnbeschichtete Materialien zu einer Reife gebracht, so dass sie heute in einer Reihe von Unternehmen als Standardverfahren eingesetzt werden kann. Die Arbeit von Manuela Klaus und Christoph Genzel ist ein hervorragendes Beispiel für den Methodentransfer am HZB.“

## Von der Forschung in die Anwendung

Die wissenschaftliche Geschäftsführerin des HZB, Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla, betonte, dass das HZB „als Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft an Grundlagenfragen forsche – aber immer mit Blick auf die gesellschaftlichen Herausforderungen. Mit dem Technologietransfer bringen wir Erkenntnisse aus der Spitzenforschung in die Anwendung und leisten ganz konkret einen Beitrag dazu, den Wohlstand im Land zu erhalten. Außerdem bieten wir mit unseren Großgeräten BESSY II und BER II Industriepartnern einen sehr guten Service an – und bilden nicht zuletzt Fachkräfte für die Wirtschaft aus.“

Das Preisgeld für den HZB-Technologietransferpreis in Höhe von 5.000 Euro wurde von der LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH gesponsert. Der Geschäftsführer, Dr. Paul Harten, sagte während der Preisverleihung: „Unser Unternehmen ist selbst im Technologietransfer sehr aktiv. Wir arbeiten unter anderem bei der Weiterentwicklung von Technologien sehr eng mit Kolleginnen und Kollegen des Helmholtz-Zentrum Berlin zusammen. Deshalb freuen wir uns, dass wir mit dem Preis Leistungen des HZB beim Tech-



Manuela Klaus zeigt ein „Silver Tiger“-Schneidwerkzeug.



Manuela Klaus und Christoph Genzel haben die Entwicklung von Schneidwerkzeugen mit sehr viel geringerem Verschleiß ermöglicht. Dafür erhielten sie den Technologietransfer-Preis des HZB.

nologietransfer entsprechend würdigen können.“ Eine externe Fachjury aus ausgewiesenen Expertinnen und Experten bewertete die zwölf eingereichten Technologietransfer-Projekte nach ihrem Innovationsgrad und Marktpotenzial. Fünf Kandidaten trugen ihr Konzept während der Preisverleihung vor. Diese Präsentation hatte Einfluss auf die Bewertung der Jury, die anschließend das Gewinner-Team bekannt gab. Der Technologiepreis wurde bereits zum sechsten Mal für herausragende Leistungen auf dem Gebiet des Technologietransfers durch das HZB verliehen.

sz/arö

## EMIL NIMMT FORM AN

Das Forschungsgebäude für das neue Labor EMIL an BESSY II hat **2013 enorme Fortschritte** gemacht: Vom ersten Spatenstich bis zum Richtfest vergingen nur vier Monate.

**A**nfang Dezember 2013 feierte EMIL, das „Energy Materials In-Situ Laboratory Berlin“ Richtfest. „Nur vier Monate nach dem ersten Spatenstich hat EMIL jetzt ein Dach über dem Kopf“, sagte die wissenschaftliche Geschäftsführerin des HZB, Prof. Dr. Anke Kayser-Pyzalla bei der feierlichen Zeremonie: „Das macht uns zuversicht-



High-Tech-Bau neben High-Tech-Bau: Das „Energy Materials In-Situ Laboratory Berlin“ (EMIL) entsteht als Anbau neben der Synchrotronlichtquelle BESSY II des HZB. Interessierte können den Baufortschritt von EMIL im Zeitraffer mit einer Baustellenkamera verfolgen: [http://www.helmholtz-berlin.de/projects/emil/webcam/index\\_de.html](http://www.helmholtz-berlin.de/projects/emil/webcam/index_de.html)

lich, dass wir die Forschungsarbeiten in dem neuen, hochmodernen Präparations- und Analyselabor für die Solar-energie- und Katalyseforschung termingerecht 2015 aufnehmen können.“

### Interdisziplinär und industriekompatibel

Das „Energy Materials In-Situ Laboratory Berlin“ – kurz EMIL – wird direkt an der Synchrotronlichtquelle BESSY II des HZB in Adlershof angebaut. Das Gemeinschaftsprojekt von HZB und Max-Planck-Gesellschaft bietet zukünftig eine einzigartige Infrastruktur, um interdisziplinär und industriekompatibel neue Materialien und Technologien zu entwickeln. Sie sind für den Erfolg der Energiewende dringend notwendig. Dazu zählen neue Materialsysteme für Solarmodule und Speicherlösungen, für die neuartige Katalysatoren entwickelt werden müssen. „Ab 2015 können wir in EMIL unter realen Bedingungen schon während der Herstellung von Dünnschicht-Solarzellen oder Katalysatoren analy-

sieren, welche Prozesse an Grenzflächen ablaufen und diese tiefenaufgelöst betrachten“, sagt Projektleiter Prof. Dr. Klaus Lips. Das werde, so Lips, der industriellen Fertigung solcher Komponenten neuen Schub geben.

### Forschen für die Energiewende

Für ihr Vorhaben, photovoltaische und katalytische Materialien, Strukturen und Bauteile zu verbessern und neu zu entwickeln, werden die EMIL-Wissenschaftler eine weltweit einmalige Infrastruktur nutzen. Sie verbindet eine breite Palette aktueller Präparationstechnologien aus verschiedenen Materialklassen mit einer dedizierten Röntgenanalytik am Synchrotron BESSY II im selben System. „Dieser ‘in-situ’-Ansatz erlaubt es, Materialien, Strukturen und Bauteile zwischen aufeinander folgenden und teilweise sogar während einzelner Präparationsschritte auf dem Weg zum fertigen Bauteil zu untersuchen“, so Klaus Lips: „So können wir tiefe Einblicke in die physikalischen und chemischen Prozesse gewinnen, die die Funktion im Bauteil bestimmen.“

Zudem sollen durch die direkte Verbindung verschiedener Materialklassen – etwa organische und anorganische Halbleiter – in neuartigen hybriden Strukturen und Bauteilen Synergien geschaffen und neue Funktionsmechanismen erprobt werden. Klaus Lips: „Unser Ziel ist es, den Struktur-Funktionszusammenhang in neuartigen photovoltaischen und photokatalytischen Systemen zweifelsfrei aufzuklären, und damit die nächste Generation solarenergie-wandelnder Bauteile entscheidend mitzuprägen.“

Der Aufbau von EMIL mit seinen Analysetools SISSY und CAT hat ein Investitionsvolumen von etwa 18 Millionen Euro. Das HZB investiert 6 Millionen Euro in EMIL; die Max-Planck-Gesellschaft beteiligt sich mit weiteren 6,7 Millionen Euro. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert den Bau der SISSY-Endstation mit 5,7 Millionen Euro aus der Innovationsallianz „Photovoltaik“. „Dass wir EMIL gemeinsam mit der Max-Planck-Gesellschaft realisieren und für Forscher weltweit beste Analysebedingungen schaffen, wäre ohne die Fusion von Hahn-Meintner-Institut und BESSY im Jahr 2009 nicht denkbar. Beim neuen Großprojekt EMIL wird der Gewinn der Fusion besonders sichtbar“, sagt Prof. Dr. Kayser-Pyzalla.

hs



## ZIELEINLAUF FÜR DEN HOCHFELDMAGNETEN

Nach fünfjähriger Bauzeit in den USA wurde 2013 die **supraleitende Spule** des neuen Hochfeldmagneten (HFM) des HZB fertig gestellt. In Italien wurde sie in den Kryostaten eingebaut, ehe sie im Januar 2014 im HZB eintraf.

**M**it der Überführung der rund 6 Tonnen schweren Magnetspule nach Italien endete ein wichtiger Projektabschnitt beim Bau des neuen Hochfeldmagneten: die supraleitende Magnetspule war damit fertiggestellt. Etwa 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des National High Magnetic Field Laboratory in Tallahassee (NHMFL), USA, haben diese Entwicklungsarbeit zusammen mit dem achtköpfigen HFM-Projektteam vom Helmholtz-Zentrum Berlin geleistet. Mehr als 96.000 Arbeitsstunden des NHMFL stecken in der Entwicklung und Fertigung der



Ein Meilenstein ist nach fünfjähriger Entwicklungsarbeit erreicht: So sieht die supraleitende Spule des neuen Hochfeldmagneten aus.

supraleitenden Spule. Vor der Abreise des Magneten wurde diese Leistung im Rahmen einer feierlicher Übergabe am National High Magnetic Field Laboratory in Tallahassee gewürdigt. An der Feier nahmen der Projektleiter, Dr. Peter Smeibidl, und der ehemalige Geschäftsführer des Hahn-Meitner-Instituts, Prof. Dr. Michael Steiner, teil. Die wissenschaftliche Geschäftsführerin des HZB, Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla, übermittelte eine telefonische Grußbotschaft während der Feier.

### Endmontage in Berlin

Im italienischen Chivasso fertigten die Experten der Firma Criotec den für die Kühlung notwendigen Kryostaten an und bauten die Spule in diesen ein. Ende Januar 2014 er-

reichte der vormontierte Magnet dann das Helmholtz-Zentrum Berlin, wo die Endmontage begann. Sie umfasst unter anderem auch den Einbau der normalleitenden Spule. Wenn der gesamte Magnet auf seine Funktion getestet ist, kann er voraussichtlich im Herbst 2014 an den Neutronenleiter angeschlossen werden. Die notwendige Infrastruktur für die Strom- und Kälteversorgung haben die Wissenschaftler um Peter Smeibidl bereits aufgebaut und umfangreichen Leistungstests unterzogen.

### Feldstärke bis zu 30 Tesla

Der HFM wird eine Feldstärke von rund 26 Tesla haben und damit das stärkste Magnetfeld für Neutronenstreuung erzeugen. Bislang sind mit Neutronenstreuung lediglich Magnetfelder bis 17 Tesla kombinierbar. Forscher versprechen sich durch Experimente mit Neutronen – in Kombination mit starken Magnetfeldern und tiefen Temperaturen – einen besonders aufschlussreichen Einblick in das Verhalten von Materialien, unter anderem von Supraleitern. Die Projektleitung für die Fertigstellung des Hochfeldmagneten und des Neutroneninstrumentes EXED liegt seit September 2013 gebündelt in den Händen von Dr. Peter Smeibidl.

SZ

## MAGNETISMUS IN DER GRUNDLAGENFORSCHUNG

An dem Neutroneninstrument EXED wird der neue Hochfeldmagnet des HZB Magnetfelder von etwas mehr als 25 Tesla erzeugen. Magnetismus spielt in der Grundlagen- und Materialforschung eine wichtige Rolle, um die Eigenschaften und das Verhalten verschiedener Materialien zu verstehen. Experimente mit Neutronen sind besonders geeignet, um diese magnetischen Materialstrukturen zu untersuchen. Forscherinnen und Forscher hoffen, dass sie durch die einzigartigen Experimentiermöglichkeiten mit den extrem hohen Magnetfeldern neue Phänomene entdecken und vielversprechende Materialien wie Supraleiter besser verstehen lernen.

## HZB STARTET ERSTE GRADUIERTENSCHULE

IM OKTOBER 2013 WURDE „MATERIALS FOR SOLAR ENERGY CONVERSION“ (MATSEC), DIE ERSTE EIGENE GRADUIERTENSCHULE DES HZB, INS LEBEN GERUFEN.

Die Graduiertenschule ist an der Dahlem Research School (DRS) der Freien Universität Berlin (FU Berlin) angesiedelt. Insgesamt zehn Doktoranden des Zentrums können das Angebot von MatSEC parallel zu ihrer Promotion nutzen. Die Graduiertenschule konzentriert sich auf die Erforschung von Kesteriten, neuartigen Materialsystemen für die Photovoltaik. Prof. Dr. Susan Schorr, HZB-Abteilungsleiterin für Kristallographie und Professorin an der FU Berlin, ist die Sprecherin der neuen Graduiertenschule. Als Partner sind Arbeitsgruppen der FU, TU und HU zu Berlin sowie der TU Cottbus beteiligt.



Prof. Dr. Susan Schorr (erste Reihe, mitte), Sprecherin der Graduiertenschule MatSEC des HZB, im Kreis der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie der angehenden Doktoranden.

## PREIS FÜR KATHRIN AZIZ-LANGE

Im März 2013 erhielt Dr. Kathrin Aziz-Lange für ihre am HZB angefertigte Dissertation den mit 2.500 Euro dotierten Wilhelm-Ostwald-Nachwuchspreis 2012.

Kathrin Aziz-Lange hat mit ihrer Dissertation, die sie in der Nachwuchsgruppe von Prof. Emad Aziz anfertigte, die experimentellen Techniken für Flüssigkeitsspektroskopie mit Syn-



chrotronstrahlung entscheidend bereichert. Mit den von ihr entwickelten Methoden wurde es möglich, chemische und biologische Proben – zum Beispiel Proteine – mit Röntgenstrahlung in natürlicher Umgebung zu untersuchen. Wichtige Erkenntnisse gewann sie unter anderem zu Wasserstoffbrückenbindungen in Flüssigkeiten und zum thermodynamischen Verhalten von Ionen in Lösung.

## HUMBOLDT-FORSCHUNGSPREIS FÜR STEPHEN CRAMER

Im Dezember 2013 erhielt Professor Stephen P. Cramer, renommierter Experte für Synchrotron-Spektroskopie, einen mit 60.000 Euro dotierten Humboldt-Forschungspreis. Dies ermöglicht ihm, während 2014 eng mit einem Team am Helmholtz-Zentrum Berlin und der Freien Universität Berlin zusammen zu arbeiten. Cramer ist Advanced Light Source Professor an der University of California, Davis, und forscht am Lawrence Berkeley National Laboratory.

## 25 JAHRE SOMMERSTUDENTENPROGRAMM

24 Studenten aus 13 Ländern nutzten die Semesterferien im September 2013, um am Helmholtz-Zentrum Berlin einem eigenen Projekt nachzugehen und somit erste Erfahrungen in der Forschung zu sammeln. Mit dem internationalen Sommerstudentenprogramm bietet das HZB seit 25 Jahren jungen Menschen aus aller Welt Einblicke in die Energie- und Materialforschung. Bei dem achtwöchigen Praktikum werden die Studenten der Physik, Chemie oder Ingenieurwissenschaften von erfahrenen Forschern betreut.



## ORGANISATORISCHE ÄNDERUNGEN AM HZB

IM HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN WURDEN 2013 EINIGE **FUNKTIONEN UND AUFGABEN** NEU VERTEILT.

Sprecher des Bereichs Energie ist seit 2013 Prof. Dr. Bernd Rech, sein Stellvertreter ist Prof. Dr. Rutger Schlatmann. Als Sprecherin für den Bereich M wurde Prof. Dr. Bella Lake berufen, stellvertretende Bereichssprecherin ist Prof. Dr. Susan Schorr. Dr. Klaus Habicht ist in Nachfolge von Prof. Dr. Alan Tennant neues Mitglied des Lenkungs Ausschusses der Nutzerplatt-

form für das Gebiet Neutronen. Prof. Dr. Susan Schorr leitet kommissarisch das Institut „Komplexe Magnetische Materialien“. Die Abteilung „Magnetisierungsdynamik“ wird kommissarisch von Prof. Dr. Oliver Rader geleitet. Die Abteilung „Forschen mit Spallationsneutronen“ wurde in „Methoden zur Charakterisierung von Transportphänomenen in Energiemate-

rialien“ (kurz: G-AMCT) umbenannt. Geleitet wird sie von Dr. Klaus Habicht. Dr. Stephan Welzel wurde zum Stellvertretenden Leiter der Abteilung Reaktor ernannt. Dr. Karin Haas, die diese Funktion vorher innehatte, leitet nun die Objektsicherung. Im „Facility Management“ gibt es eine neue Abteilung namens „Planen und Bauen“, die von Frank Uschkoreit geleitet wird.

## ABSCHIED VON PROF. DR. ALAN TENNANT



Prof. Dr. Alan Tennant ist zum leitenden Wissenschaftler am Neutron Sciences Directorate des Oak Ridge National Laboratory (ORNL) berufen worden. Er verließ daher das Helmholtz-Zentrum Berlin im November 2013. Tennant war 2004 nach Berlin gekommen und zuletzt Sprecher des Bereichs Magnetismus. Darüber hinaus leitete er das Institut für Komplexe Magnetische Materialien und die Abteilung für Magnetisierungsdynamik. Mit dem Nachweis von

magnetischen Monopolen am BER II im Jahr 2009 hatte sein Team weltweit große Aufmerksamkeit erregt – das Fachmagazin Science wählte diese Arbeit unter die Top 10 Entdeckungen in 2009.

## DR. TRISTAN PETIT VERSTÄRKT AZIZ-TEAM

Im Sommer 2013 kam Dr. Tristan Petit als Postdoktorand in das Team um Prof. Dr. Emad Flear Aziz, um dort für zwei Jahre seine Forschung über Nanodiamanten und deren biomedizinische Anwendungen fortzusetzen. Mit einem Postdoktoranden-Stipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung konnte Petit seinen wissenschaftlichen Gastgeber in Deutschland selbst auswählen und hatte sich für das Joint Ultrafast Dynamics Lab in Solutions and at Interfaces (JULiq) entschieden, das Aziz aufgebaut hat.



## WICHTIGE BERUFUNGEN

**Prof. Dr. Martina Schmid**, seit November 2012 Leiterin der Helmholtz-Nachwuchsgruppe „Nanooptische Konzepte für die Photovoltaik“ (NanooptiX) am HZB, wurde im Dezember 2013 zur Junior-Professorin an der Freien Universität Berlin (FU) ernannt. Neben ihrer Forschung am HZB lehrt sie nun an der FU im Fachbereich Physik.



**Prof. Dr. Silke Christiansen** ist im November 2013 zur W3-Professorin an der Freien Universität Berlin (FU) im Fachbereich Physik ernannt worden. Silke Christiansen leitet seit Januar 2013 das neu gegründete Institut „Nanoarchitekturen für die Energieumwandlung“ am HZB und gilt als international renommierte Expertin im Bereich Nanostrukturen für Dünnschichtsolarzellen.





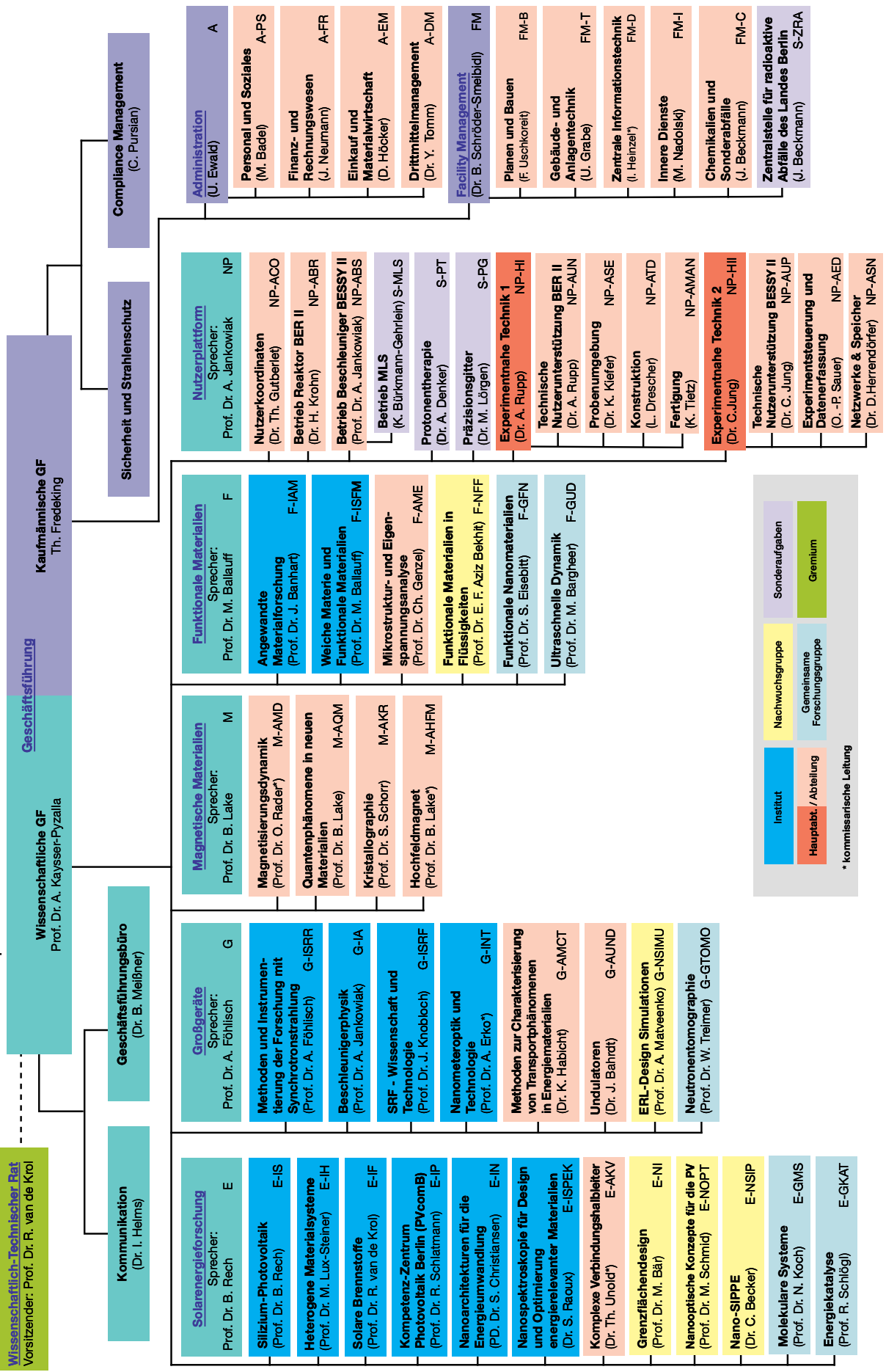
**Wissenschaftlicher Beirat**  
Vorsitzende: Dr. U. Steigenberger

**Wissenschaftlich-Technischer Rat**  
Vorsitzende: Prof. Dr. R. van de Krol

**Gesellschaftsversammlung**  
(Bund und Land Berlin)

**Aufsichtsrat**  
(Vorsitzender: Prof. Dr. J. Teusch)

**Betriebsrat**  
Vorsitzende: E. Lesner



**Institut**

**Hauptabt. / Abteilung**

**Nachwuchsgruppe**

**Gemeinsame Forschungsgruppe**

**Sonderaufgaben**

**Gremium**

\* kommissarische Leitung

## Lageplan

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



# Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

## IMPRESSUM

**HZB-Highlight-Bericht 2013** des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie GmbH. Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.  
Redaktionsschluss: Juli 2014

### Herausgeber:

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

### Redaktion:

Dr. Ina Helms (ih, verantwortlich), Hannes Schlender (hs, Gesamtkoordination), Antonia Rötger (arö), Silvia Zerbe (sz)  
E-Mail: ina.helms@helmholtz-berlin.de, Anschrift wie Herausgeber

### Verlagsbetreuung:

n.k mediaconcept GbR, Obere Lagerstraße 38b,  
82178 Puchheim bei München, Telefon: (089) 80 90 83 33  
Geschäftsführer: Klaus Dieter Krön, Christoph Neuschäffer

### Konzept und Realisierung:

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

**Mitarbeiter:** Ralf Butscher (rb), Roland Knauer (rk),  
Torsten Mertz (tm), Heidi Tiefenthaler (ht)

**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:

Elbe Druckerei Wittenberg GmbH, Breitscheidstraße 17a,  
06886 Lutherstadt Wittenberg  
Telefon: 03491 41 02 42, Telefax: 03491 41 02 40  
E-Mail: info@elbedruckerei.de, www.elbedruckerei.de

**Fotonachweis:** Alle Fotorechte beim HZB, außer: S. 2/3 HZB/Barbara Baier, S. 8 HZB/Michael Fernahl, S. 11 BMW AG, S. 12 Uni Duisburg-Essen, S. 14 Gerald Eisenblätter, S. 15 Malte Behrens, S. 16 Yazdani Lab, Princeton University, S. 18 C. Steegborn, S. 19 University of Oulu, S. 20 NanoTechCenter Weiz, S. 23 Tennen-Gas/wikipedia.de, S. 24 André Bisig, Johannes Gutenberg Universität Mainz, S. 25 RUB, modifiziert nach Physical Review Letters, S. 26 HZB/Pia Fernahl S. 31 Hirohito Ogasawara, SLAC National Accelerator Laboratory, S. 33 Georg Heimel/HU Berlin, 34 Didier Descouens/wikipedia.de, S. 36 Greg Stewart, SLAC National Accelerator Laboratory, S. 38 R. Mainz/A. Singh, S. 42 HZB/Frieder Müller, S. 43 TU Delft, S. 45 H. D. Wöhrle/Universität Göttingen, S. 46 Stephan Thürmer, S. 47 Greg Stewart, SLAC National Accelerator Laboratory

## Kontakt

### Lise-Meitner-Campus

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

### Wilhelm-Conrad-Röntgen-Campus

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

### Institut für Silizium Photovoltaik

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

### PVcomB

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