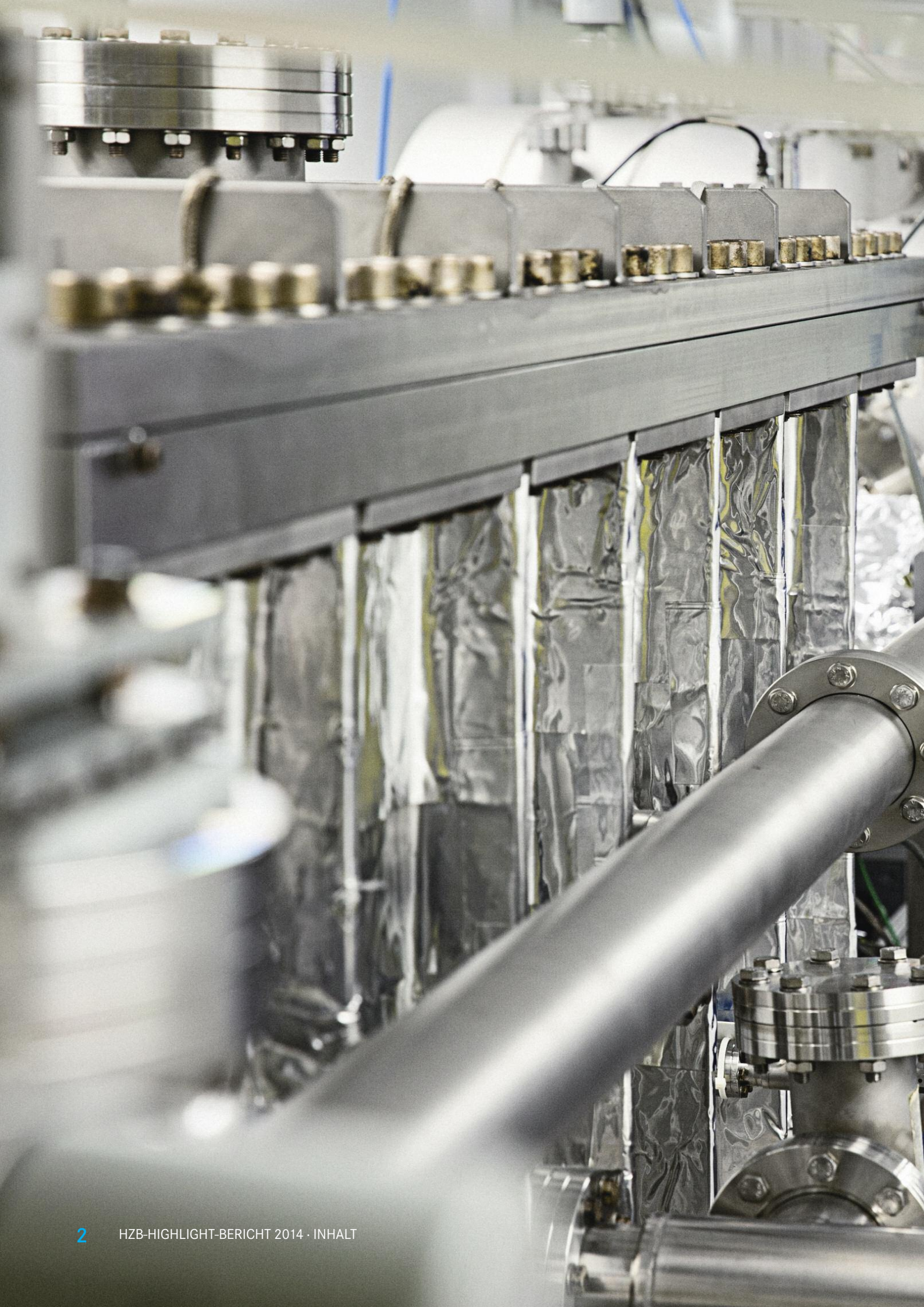


ENERGIEN BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN



# HIGHLIGHTS 2014

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





## INHALT

<b>Vorwort</b>	<b>04</b>	Schärfer sehen mit Röntgenlicht	33
Interview: Mit BESSY-VSR entwickelt das HZB ein weltweit einmaliges Konzept	06	Minimaler Einsatz, maximale Effizienz	34
		Röntgenblick in die elektrochemische Zelle	35
<b>Highlights aus den Nutzerexperimenten</b>	<b>08</b>	<b>Kooperationen</b>	<b>36</b>
Klebeband und Halbleiter	10	Auf dem Weg zur künstlichen Photosynthese	37
Proteine: Neue Materialklasse entdeckt	11	Einfache Formeln für komplexes Verhalten	38
Osiris-Statuen mit Neutronen durchleuchtet	12	Aus amorph wird kristallin	39
Wie Zahnfüllungen stabiler werden	13	Massgeschneiderte Unordnung	40
Künstliches Mottenaugen als Lichtfänger	14	Warum altern Lithium-Ionen-Akkus?	41
Nachricht aus dem Himmel	15	Selbstständige Clusterbildung	42
Fitnesskur für Graphen	16	Isolierende Schicht verbessert	
Dem Drehimpuls auf der Spur	17	organische Halbleiter	43
Brücken im Shampoo	19	Femto-Schnappschüsse von der	
Einblick ins Innere magnetischer Schichten	20	Reaktionskinetik	44
Der Tanz der Nanowirbel	21	Verbrennung am Katalysator beobachtet	45
<b>Highlights aus der eigenen Forschung</b>	<b>22</b>	<b>Zukunftsprojekte</b>	<b>46</b>
Vom Auge abgeschaut	24	Dunkelstrom im Licht von BESSY II	47
Kupfer, Zinn und Zink für Sonnenstrom	25	Mit großen Schritten zu EMIL	48
„Multispektral-Brille“ für das		Der Hochfeldmagnet übertrifft die Erwartungen	49
Rasterelektronenmikroskop	26	Erfolgsmodell „Joint Labs“	50
Wichtiges Puzzleteil gefunden	27		
Magnetische Fingerabdrücke bringen		<b>Vermischtes/Anhang</b>	<b>51</b>
Defekte in amorphem Silizium ans Licht	28	Vermischtes	51
Rätselhafte Doppel-Peaks entschlüsselt	29	Organigramm des HZB	54
Warping in topologischen Isolatoren	30	Lageplan, Impressum	55
Im Tandem Wasserstoff erzeugen	32		

---

## MIT RÜCKENWIND IN DIE ZUKUNFT

Die Begutachtungen im Rahmen der Programmorientierten Förderung (POF) waren im Frühjahr 2014 kaum abgeschlossen, da bereiteten sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HZB bereits auf eine weitere Evaluierung vor. Diesmal sollte sie über die POF hinausgehen: Die Strategie für die Jahre nach 2020 sollte dargestellt werden. Und wieder, wie schon bei der POF-Begutachtung, erhielt das HZB ein äußerst positives Votum und die Bestätigung: Wir sind auf dem richtigen Weg!

**D**as unmittelbar formulierte und positive Votum der Perspektivkommission ist sehr hoch einzuschätzen. Die Kommission ist 2009 im Rahmen der Fusion des damaligen Hahn-Meitner-Instituts mit der BESSY GmbH zum HZB vertraglich verankert worden. Vor zwei Jahren, nach Bekanntgabe des Abschalttermins für die Neutronenquelle BER II, einigten sich die Gesellschafter darauf, die Perspektivkommission ab 2015 tätig werden zu lassen. Ihre Aufgabe war es, nach der ersten abgelaufenen POF-Periode des HZB und dem Start der nächsten Fünf-Jahres-Periode die vom HZB erarbeiteten Zukunftspläne für die Jahre nach 2020 zu begutachten.



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

Wichtig war es deshalb, eine Strategie des HZB vorzustellen, die über die Fünf-Jahres-Planung der Programmorientierten Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft hinausgeht. Dies ist uns hervorragend gelungen. Das heißt, wir können uns nun gestärkt auf den Weg in die Zukunft begeben. Dieser Weg wird uns sicher viel Neues bringen. Wir haben ein starkes Fundament, auf dem wir aufbauen können. Die Perspektivkommission hat uns zum Beispiel darin bestärkt, unsere Eigenforschung weiter auf Energiematerialien zu fokussieren. Der Weg, den wir in Vorbereitung auf die vergangene POF-Evaluierung gegangen waren, hat sich als richtig erwiesen. Ob es nun topologische Isolatoren sind, Metalloxide, Graphen oder Silizium – es gibt viele Dünnschicht-Systeme, die beim Umwandeln oder Speichern von Energie eine Rolle spielen oder besonders energieeffizient bestimmte Funktionen erfüllen. Die diesen Funktionen zugrundeliegenden physikalischen Phänomene zu erforschen, ist ein wichtiges Anliegen unserer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Deshalb werden wir das Portfolio an energierelevanten Dünnschicht-Systemen künftig erweitern.

**„Die Perspektivkommission hat uns darin bestärkt, unsere Eigenforschung weiter auf Energiematerialien zu fokussieren. Der Weg, den wir in Vorbereitung auf die vergangene POF-Evaluierung gegangen sind, hat sich als richtig erwiesen.“**

Das HZB wird – den Empfehlungen der Perspektivkommission folgend – Aktivitäten aus der Photovoltaik-Forschung zunehmend für die Forschung an solaren Brennstoffen einsetzen. Ganz wichtig ist dabei die Ermunterung der Kommission, unsere Energieforschung mit den Möglichkeiten des BESSY-VSR-Konzepts zu verknüpfen. Dies ist eine besonders zukunftsweisende Aussage. Denn sie wird ergänzt

durch die Aufforderung der Kommission, das „ambitionierte BESSY-VSR Konzept zu realisieren“.

Genau dies setzen wir nun um. Ende Juni 2015 haben wir beim Impuls- und Vernetzungsfonds der

Helmholtz-Gemeinschaft den Realisierungsantrag für BESSY-VSR als strategische Ausbauinvestition eingereicht. Lesen Sie in diesem Highlight-Bericht ein Interview mit Andreas Jankowiak, in dem er erläutert, was das Besondere an BESSY-VSR ist und welche Herausforderungen das Projekt an uns stellt (Seite 6/7).

Der vorliegende Highlight-Bericht präsentiert viele Facetten des HZB, die bereits jetzt wichtige Eckpfeiler unseres Selbstverständnisses sind: zum Beispiel unsere Nachwuchsgruppen und die Joint Labs, die wir zusammen mit unseren universitären Partnern betreiben. Die Vernetzung des HZB innerhalb der nationalen und internationalen Forschungslandschaft ist wichtig und hat dazu beigetragen, dass das HZB bereits sechs Jahre nach seiner Gründung ein hohes Ansehen in der Wissenschaftscommunity genießt.

Diese Vernetzung trägt ganz wesentlich zu unserer Zukunftsstrategie bei. Auch im vergangenen Berichtszeitraum sind wieder neue Joint Labs hinzugekommen, wir haben unsere Nachwuchsausbildung gestärkt, und das HZB hat erfolgreiche Gastwissenschaftler angezogen (Seiten 36, 50, 53).

Dass die HZB-Forscherinnen und Forscher an den spannendsten Themen der Materialforschung mitwirken, davon zeugen die Geschichten aus dem Kapitel „Eigenforschung“ auf den Seiten 22 bis 35. Viele der hier vorgestellten Ergebnisse sind in angesehenen wissenschaftlichen Journalen publiziert. Sie prägen das Profil des HZB. Darüber hinaus werden Sie im Kapitel „Nutzerexperimente“ auf den Seiten 8 bis 21 wieder viele spannende Geschichten finden. Über 3.400 Nutzer konnten wir 2014 an BESSY II begrüßen. Für die Neutronenquelle BER II werden wir im nächsten Highlight-Bericht wieder eine Zahl nennen können, denn auch sie ist nach der längeren Abschaltpause im Frühjahr 2015 wieder in Betrieb gegangen. In diesem Zusammenhang freuen wir uns besonders darauf, dass auch der weltweit stärkste Magnet für Neutronenstreuexperimente in-

zwischen in Betrieb gegangen ist. Mit einem Magnetfeld von 26 Tesla, die wir im Testbetrieb messen konnten, übertrifft er unsere Erwartungen. Wir sind gespannt auf die ersten Nutzerexperimente damit. Vielleicht können wir ja schon im nächsten Highlight-Bericht davon berichten.

„Die Vernetzung des HZB innerhalb der nationalen und internationalen Forschungslandschaft ist wichtig und hat dazu beigetragen, dass das HZB bereits sechs Jahre nach seiner Gründung ein hohes Ansehen in der Wissenschaftscommunity genießt.“

Im Kapitel „Nutzerexperimente“ werden Sie zudem Themen finden, die über das eigene Forschungsprofil des HZB hinausgehen. Dies wird auch in den kommenden Jahren so bleiben. Dass wir auch für

diese Themen ein exzellentes Experimentierumfeld inklusive einer umfangreichen Laborinfrastruktur anbieten, zeigen die Beispiele aus der Proteinstrukturanalyse oder Forschungen zur Kunstgeschichte. Die HZB-Beamline-Verantwortlichen sorgen sowohl an BESSY II als auch am BER II dafür, dass die Nutzerinnen und Nutzer optimal betreut werden und mit erfolgreich durchgeführten Experimenten nach Hause fahren. Der hohe Anspruch, den wir selbst an unseren Nutzerservice stellen, wird auch in den kommenden Jahren zum Selbstverständnis des HZB gehören.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Lektüre unseres Highlight-Berichts 2014 und empfehlen zugleich einen Besuch des HZB-Zukunftslogbuches [www.hzbzlog.com](http://www.hzbzlog.com). Wenn Sie außerdem Lust haben, unseren Spaß am Nutzerservice mal anders und mit einem Schuss Selbstironie zu entdecken, dann begeben Sie sich für drei Minuten in unseren „Happy Undulator“, zu sehen auf [www.youtube.com/watch?v=cvp0HrHZUDY](http://www.youtube.com/watch?v=cvp0HrHZUDY).



Prof. Dr. A. Kaysser-Pyzalla  
Wissenschaftliche  
Geschäftsführerin



Thomas Frederking  
Kaufmännischer  
Geschäftsführer

---

## EIN WELTWEIT EINMALIGES KONZEPT

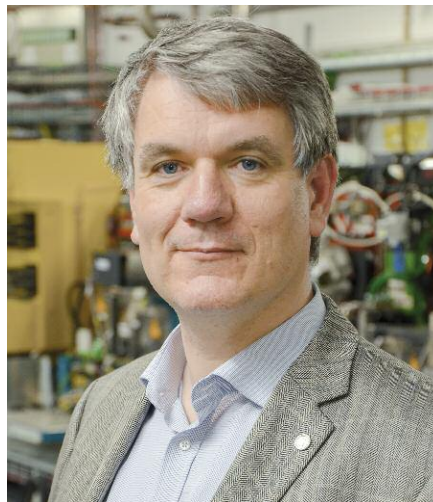
Mit dem Projekt BESSY-VSR soll die Synchrotronstrahlungsquelle des HZB zum Variablen Pulslängen-Speicherring ausgebaut werden. Wissenschaftler haben dann immer die Wahl, ihre Proben entweder mit relativ langen oder mit sehr kurzen Lichtpulsen von hoher Lichtstärke zu untersuchen. **Prof. Dr. Andreas Jankowiak**, Leiter des Instituts Beschleunigerphysik am HZB, beschreibt im Interview die technischen Herausforderungen auf dem Weg zu BESSY-VSR.

### Herr Jankowiak, was heißt VSR und was ist das zugrunde liegende Prinzip ihres Projekts?

VSR heißt Variabler Pulslängen-Speicherring. Bisher zirkulieren im BESSY II 400 Elektronenpakete, die alle gleich lang sind. Die Lichtpulse, die sie abgeben, haben eine hohe Photonendichte und eine Länge von etwa 20 Piko-sekunden. Nur für zwei Wochen im Jahr schalten wir auf den Low-alpha Betrieb um, bei dem sich kürzere Elektronenpakete im Ring befinden. Dieser Arbeitsmodus ist für Nutzer interessant, die sehr kurze Lichtpulse von drei Pikosekunden für Messungen mit hoher Zeitauflösung oder zur Erzeugung von Terahertz-Strahlung brauchen. Die Lichtstärke ist allerdings deutlich niedriger als im Normalbetrieb. Der VSR bedeutet eine Revolution: Damit können wir im Normalbetrieb sowohl lange als auch kurze Elektronenpakete im Ring halten. An jeder Messstation stehen dann dauerhaft lange und kurze Lichtpulse zur Verfügung – alle mit gleich hoher Lichtstärke. Die Nutzer können wählen, was sie brauchen. Forscher, die insbesondere auf kurze Pulse angewiesen sind, sind von unserem Konzept begeistert, weil es weltweit einmalig ist.

### Wie sehen die nächsten Schritte auf dem Weg zu BESSY-VSR aus?

Wir haben im März 2015 die Technical Design Study (TDS) abgeschlossen. Das ist das Konzept, in dem wir die beschleunigerphysikalischen Herausforderungen beschreiben. Und wir zeigen auf, was technisch getan werden muss, um VSR zu realisieren. Unser Machine Advice Committee hat die TDS begutachtet und festgestellt, dass die Annahmen realistisch sind. Es sieht keine grundsätzlichen Hinderungsgründe – im Gegenteil, uns schlug eine nahezu euphorische Stimmung entgegen. Das HZB wird die Finanzierung von VSR nun in der Helmholtz-Gemeinschaft im Rahmen der strategischen Investitionen beantragen. Dann gibt es nochmal eine Begutachtung – und wenn alles gut geht, haben wir 2016 die Finanzierungszusage.



Prof. Dr. Andreas Jankowiak leitet am HZB das Institut Beschleunigerphysik und ist auch für das Projekt BESSY-VSR verantwortlich.

### Das ist die finanzielle Seite. Aber die Komponenten für VSR haben Sie ja nicht fertig im Lager stehen, oder?

Nein, wir müssen die technischen Lösungen, die wir in der TDS skizziert haben, erst entwickeln, testen und zur Einsatzreife bringen. Dabei haben wir eine Menge Baustellen. Ganz zentral werden die supraleitenden Hochfrequenz-Kavitäten sein, mit denen die Elektronenpakete verkürzt werden. Davon brauchen wir zwei Paare, die jeweils mit unterschiedlichen Frequenzen arbeiten – zur Erzeugung der langen und kurzen Elektronenpakete. Als erstes wollen wir das Kavitätenpaar für 1,5 Giga-Hertz entwickeln. Dafür ist viel Forschungsarbeit nötig, und wir werden eine Menge über Technologie und Beschleunigerphysik lernen. Sobald der erste Prototyp auf den Weg gebracht ist, beginnen wir mit der Entwicklung der 1,75 Giga-Hertz-Kavitäten. Die 1,5-Giga-Hertz-Kavitäten werden dann aber zuerst in den Ring eingebaut. Wir müssen ihre Wirkung auf den Elektronenstrahl erproben. Erste zusätzliche Angebote für den Nutzerbetrieb sind denkbar. Ansonsten sind diese beiden Kavitäten stumm geschaltet – bis das zweite, das 1,75-Giga-Hertz-Paar einsatzbereit ist.

### Und mit den Kavitäten haben Sie es dann geschafft?

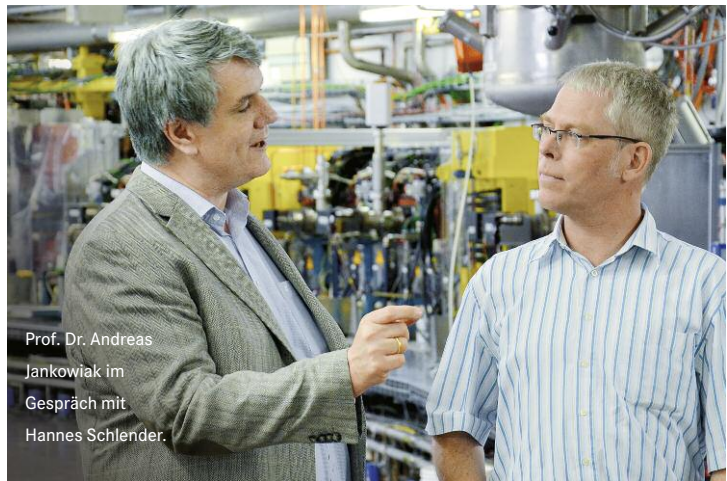
Da hängt noch eine Menge mehr dran. Wir benötigen weitere Komponenten für die Strahlerzeugung und -führung. Zum Beispiel neuartige Hochfrequenzsender. Sie sind erforderlich, um die elektromagnetischen Felder für die Beschleunigung der Elektronen aufzubauen. Wir müssen aber auch die Infrastruktur anpassen. So brauchen wir eine neue Kryoanlage, um die Kavitäten soweit abzukühlen, dass sie supraleitend werden. Oder eine neue Bunch-Diagnostik: Wir werden mit VSR ja unterschiedlich lange Elektronenpakete zeitgleich im Ring haben. Damit wir den Nutzern genau definiertes Licht liefern können, müssen wir die Parameter jedes einzelnen Bunches positionsabhängig exakt bestimmen können. Das erfordert einiges an Aufwand. Sie sehen: VSR ist ein komplexes Projekt. Die Grundidee ist relativ einfach, aber die Detailfragen haben es in sich.

### Und die Nutzer stehen jetzt schon Schlange?

Das ist vielleicht etwas übertrieben formuliert. Aber wir stehen in engem Austausch mit der Wissenschafts-Community, die BESSY II derzeit nutzt. Und wir diskutieren mit ihr, was sie von uns erwartet und was wir leisten können. Alexander Föhlisch, Leiter des Instituts „Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung“ hat bereits 2013 mit den Kollegen des HZB und den BESSY-Nutzern den Scientific Case für BESSY-VSR diskutiert. Da haben wir viele wertvolle Erfahrungen gewonnen, was für die Community bei der Konzeption von VSR wichtig ist. Alexander Föhlisch ist die treibende Kraft, die die Nutzerperspektive im Fokus des Projekts hält. Außerdem organisiert Antje Vollmer, die für die Nutzerkoordination an BESSY II verantwortlich ist, regelmäßig sogenannte Foresight-Workshops. Damit hat sie eine Diskussionsplattform geschaffen, auf der heutige und potenzielle Nutzer über zukünftige Projekte und Forschungsaktivitäten diskutieren. Ziel ist es, neue Forschungsfelder für BESSY-VSR zu identifizieren und die Anforderungen an ein zukünftiges BESSY III zu definieren. Eine Maschine wie BESSY II lebt davon, dass sie die Erwartungen der Wissenschaft erfüllt. An diesen Diskussionen besteht seitens der Nutzer großes Interesse.

### Nun haben Sie mit bERLinPro ein weiteres großes Projekt zu verantworten – ist das nicht ein wenig viel?

Wir sind mehr als gut ausgelastet, das ist keine Frage. Aber es gibt zwischen den beiden Projekten viele Verknüpfungen. Bei bERLinPro entsteht ja der Prototyp eines Energy Recovery Linacs, also eines Linearbeschleunigers, der die Energie aus den hochenergetischen Elektronenpaketen nach ihrem Flug durch das Strahlführungssystem zurückgewinnt. Die Kavitäten müssen ähnlichen Anforderungen entsprechen wie beim VSR. Die Synergien zwischen bERLinPro und VSR



Prof. Dr. Andreas Jankowiak im Gespräch mit Hannes Schlender.

sind groß und werden, wenn der Personalaufbau für VSR abgeschlossen ist, beiden Projekten zugutekommen.

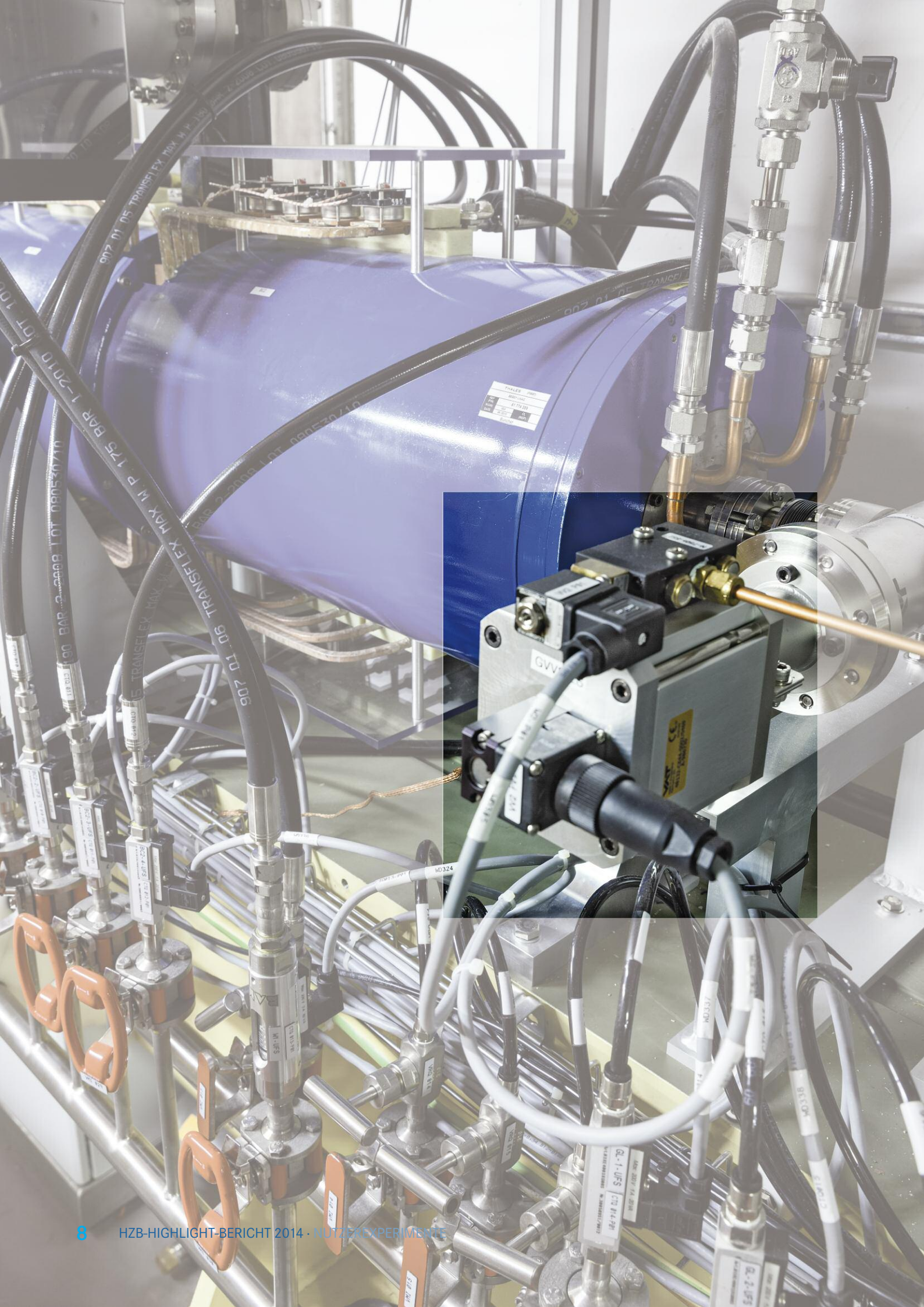
### Und was kommt nach BESSY-VSR?

Die Frage zielt auf BESSY III und damit sehr weit in die Zukunft, mindestens 10 bis 15 Jahre. Aber sie ist natürlich berechtigt, denn das sind die Vorlaufzeiten für solche großen Projekte wie eine neue Synchrotronstrahlungsquelle. Wir dürfen da im Augenblick völlig frei denken. Ziel ist es, für die Nutzerschaft die optimale Maschine bereitzustellen. Auch zukünftig werden wir uns im niederenergetischen Wellenlängenbereich bewegen: Weiche Röntgenstrahlung ist unsere spezifische Nische, die wir behalten wollen. Und wir wollen natürlich auch weiterhin viele Nutzer gleichzeitig mit Licht höchster Brillanz und flexibel einstellbaren Parametern versorgen können. Wie ein Konzept für BESSY III im Detail aussieht, das muss sich in den kommenden Jahren zeigen. Mit VSR und bERLinPro leisten wir auf jeden Fall wichtige Beiträge zu dieser Diskussion.

*Das Gespräch führte Hannes Schlender*

## ZUSAMMENGEFASST

- Die Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II arbeitet seit 15 Jahren extrem zuverlässig. Mit dem Projekt BESSY-VSR soll sie künftig Lichtpulse unterschiedlicher Länge gleichzeitig bieten.
- Die Technical Design Study wurde vom HZB bereits abgeschlossen und positiv beurteilt, die Finanzierung wird beantragt.
- Die technischen Komponenten zur Realisierung des Projekts, darunter die supraleitenden Hochfrequenz-Kavitäten zur Verkürzung der Elektronenpakete, müssen noch entwickelt werden.
- Das HZB steht im Rahmen des Projekts im ständigen Austausch mit der Wissenschafts-Community.





# HIGHLIGHTS AUS DEN NUTZEREXPERIMENTEN

**Mehr als 3.400 Nutzerbesuche** wurden 2014 am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof registriert. Sie verteilten sich auf 455 Forschergruppen aus 30 Ländern.

**298,67 Tage** wurde die Speicherringanlage BESSY II im vergangenen Jahr für die wissenschaftliche Nutzung betrieben. Daraus ergibt sich eine Nutzungszeit von 7.168 Stunden bzw. 896 Schichten à 8 Stunden. Das entspricht einer Verfügbarkeit von 82 Prozent. 1.040 Stunden beziehungsweise 130 Schichten waren für Beschleunigerstudien reserviert. An 26 Strahlrohren mit 38 Experimentierstationen standen somit 26 mal 766 Schichten und damit insgesamt 19.916 Schichten à 8 Stunden zur Nutzung zur Verfügung.

**4.475 Schichten** wurden für die Weiterentwicklung der Experimentierstationen und zur Vorbereitung der Experimente benötigt. 1.517,5 Schichten konnten aus technischen Gründen, Wartungsarbeiten oder Training nicht genutzt werden. Unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit

von einzelnen Strahlrohren und Experimentierstationen konnten insgesamt 10.896,5 Schichten von internen und externen Messgästen für Experimente genutzt werden. Die 26 Strahlrohre der Speicherringanlage BESSY II standen demnach zu 54,7 Prozent für Experimente zur Verfügung.

**77,7 Prozent** oder 8.466,5 Schichten der insgesamt für die wissenschaftliche Nutzung zur Verfügung stehenden Kapazität, die tatsächlich von Nutzern in Anspruch genommen wurde, entfiel auf externe wissenschaftliche Projekte. HZB-Wissenschaftler nutzten 22,3 Prozent oder 2.430 Schichten im Rahmen ihrer Eigenforschung.

**Im Februar 2015** konnte die Neutronenquelle BER II nach den umfassenden Ertüchtigungsarbeiten im Jahr zuvor wieder hochgefahren und der internationalen Nutzerschaft zur Verfügung gestellt werden. Trotz des ruhenden Reaktorbetriebs wurden im Rahmen der Proposalrunde 2014-II des HZB Messzeitanträge für BER II-Instrumente entgegengenommen. 128 Messzeitanträge wurden eingereicht und begutachtet.

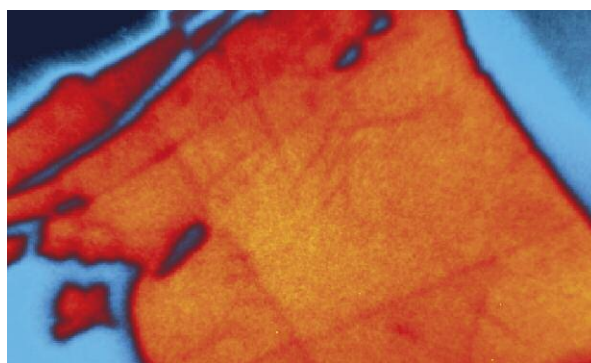
## KLEBEBAND UND HALBLEITER

Amerikanische Wissenschaftler haben eine **neue Klasse von Halbleitern** entdeckt und ihre elektrischen und optischen Eigenschaften an BESSY II untersucht. Sogenannte Van-der-Waals-Heterostrukturen können künftig neue LEDs oder Laser liefern.

Mühselig schält die junge Forscherin Hui Fang von der University of California in Berkeley von einer Wolframdiselelenid genannten Substanz unsichtbar dünne Lagen ab, die gerade einmal ein Molekül dick sind. Nach Grundlagenforschung für moderne HighTech-Materialien sieht das nicht gerade aus. Und doch könnten am Ende einer langen Entwicklung daraus neue Supraleiter, Leuchtdioden oder Laser entstehen. Völlig überraschend käme das nicht, schließlich hat eine ähnliche Tüftelei mit einem Klebeband Andrei Geim von der Universität Manchester 2010 den Physik-Nobelpreis für die Entdeckung von Graphen eingetragen. Seither sind vergleichbare Substanzen wie Wolframdiselelenid und Molybdändisulfid in das Visier der Forscher gerückt. Mit diesen Chalkogeniden beschäftigen sich in Berkeley Prof. Dr. Ali Javey und seine Kollegen, zu denen bis vor kurzem auch Hui Fang gehörte.

### Strukturelle Ähnlichkeiten

Wolframdiselelenid und Molybdändisulfid bestehen aus einer Schicht von positiv geladenem Wolfram oder Molybdän, darüber und darunter liegt seitlich versetzt je eine Schicht aus negativ geladenen Selen- oder Schwefel-Atomen. „In der Ebene halten solche Lagen aus einer positiv und zwei negativ geladenen Schichten sehr gut zusammen“, erklärt HZB-Forscher Dr. Florian Kronast. Zur nächsten Lage aus drei Schichten nach oben oder unten aber gibt es nur sogenannte van-der-Waals-Bindungen, die ähnlich wie beim Graphen viel schwächer sind als die Kräfte, die in der Ebene wirken. Diese schwachen Verbindungen nach oben und unten aber lassen sich relativ einfach knacken, und ein Klebeband genügt, um eine dieser Drei-Lagen-Schichten abzuheben. Genau das haben die Forscher im US-amerikanischen Berkeley gemacht und zielten dabei auf neuartige Materialien aus solchen „Van-der-Waals-Heterostrukturen“. Diese Lagen sind nämlich nicht nur Halbleiter, sondern lassen sich auch – zumindest in der Theorie – wie Lego-Bausteine übereinander stapeln. Dabei kommt dann zum Beispiel eine Wolframdiselelenid- auf einer Molybdändisulfid-Lage zu liegen. Die neuen Gebilde sind nicht nur eine Million Mal dünner als ein Blatt Papier, sondern auch sehr stabil. Denn



Die Probe bestand aus einer Lage Wolframselenid (orange), die auf einer Schicht aus Molybdändisulfid (blau) aufgebracht war. Untersuchungen mit dem SPEEM-Mikroskop an BESSY II zeigten, dass durch Ladungstransfer zwischen den beiden Schichten ein elektrisches Potenzial von bis zu 400 meV besteht.

zwischen den unterschiedlichen Schichten gibt es – anders als bei den reinen Substanzen – erheblich stärkere Wechselwirkungen. Noch dazu haben die beiden ultradünnen Schichten mit einer Dicke von je einem einzigen Molekül gemeinsam Eigenschaften, die weder Wolframdiselelenid noch Molybdändisulfid für sich allein aufweisen: So können zwischen den beiden unterschiedlichen Molekülschichten elektrische Ladungen ausgetauscht werden. Diese Eigenschaft ist für die Herstellung von Leuchtdioden oder Lasern essentiell.

### Beweis für den Ladungsaustausch

Genau für diesen Ladungsaustausch aber fehlte den US-Forschern in Berkeley ein direkter Beweis, den ihnen wiederum Florian Kronast und seine Mitarbeiter am HZB liefern konnten. Dazu bestrahlten sie mit dem weichen Röntgenlicht der Synchrotronquelle BESSY II die in Berkeley hergestellten, nur wenige Tausendstel Millimeter dicken Doppellagen aus Wolframdiselelenid und Molybdändisulfid. Diese Strahlung löst Elektronen von unterschiedlicher Energie aus dem Material heraus, die dank des speziell für diesen Zweck konstruierten Elektronenmikroskops SPEEM ein sehr genaues Bild der Ministrukturen liefern. Gleichzeitig löst der

Energiefilter des SPEEM das Spektrum der verschiedenen Energien der Elektronen auf.

Die Forscher erhielten so jeweils ein Molybdän-beziehungsweise Wolfram-Spektrum der beiden Einzel-Lagen. Die gleichen Spektren auf der Doppel-Lage gemessen, zeigen eine Verschiebung der Energien der Elektronen. „Aus der Verschiebung der Spektren kann man den Ladungstransfer zwischen den beiden Lagen ausrechnen“, erklärt Florian Kronast. Diese Kalkulation wiederum zeigte eindeutig, dass die Van-

der-Waals-Heterostrukturen halten, was sie versprechen. Hui Fangs mühsame Handarbeit hat sich also gelohnt und der Weg zu maßgeschneiderten Lasern und Leuchtdioden aus diesen Materialien steht zumindest theoretisch offen. *rk*

Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(7), 6198-6202, 2014 (DOI: 10.1073/pnas.1405435111): Strong interlayer coupling in van der Waals heterostructures built from single-layer chalcogenides; H. Fang et. al.

## PROTEINE: NEUE MATERIALKLASSE ENTDECKT

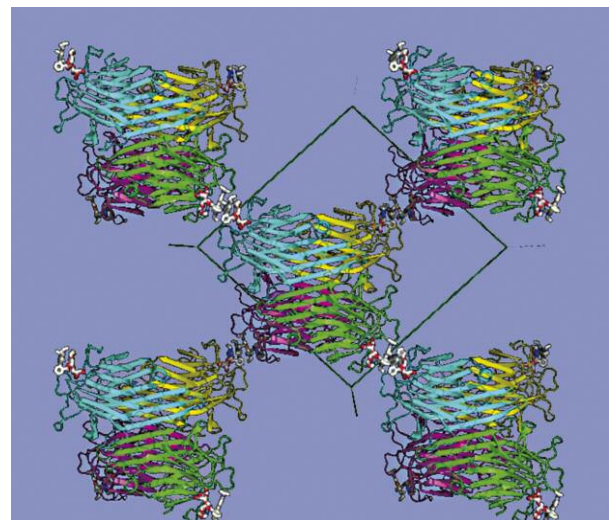
Ein deutsch-chinesisches Forscherteam hat grundlegende Untersuchungen zu sogenannten **Protein Crystalline Frameworks (PCF)** an BESSY II durchgeführt. Diese neue Materialklasse besteht aus Proteinen, die durch Hilfssubstanzen stabile Kristalle bilden.

Jeder kennt das Phänomen beim Frühstücksei: Proteine sind empfindliche Moleküle. Unter bestimmten Umständen – etwa in kochendem Wasser – denaturieren sie, verlieren ihre natürliche Gestalt und werden fest. Zwar sind Forscher schon seit geraumer Zeit in der Lage, mit diesen Substanzen umzugehen und sie sogar so zu behandeln, dass sie Kristalle bilden. Dies gelingt aber nur unter enormem Aufwand, der sich nur für Forschungszwecke lohnt. Zudem sind auch die Protein-Kristalle sehr empfindlich. Den Wissenschaftlern von der Fudan-Universität ist es nun erstmalig gelungen, diese Nachteile zu umgehen: Sie verknüpften das Protein Concanavalin A mit Hilfsmolekülen aus der Substanzklasse der Zucker sowie mit dem Farbstoff Rhodamin. Die so fixierten Concanavalin-Moleküle ordneten sich in dem Rahmen aus Hilfsstoffen symmetrisch an: Sie bildeten einen Kristall, in dem die Proteine stabil ineinander verschachtelt sind – ein Protein Crystalline Framework (PCF).

### Hilfsmoleküle beeinflussen die Proteinkristalle

Die Entwicklung solch eines Molekülkonstrukts nützt nichts, wenn man nicht weiß, wie er sich bildet und wie sein Aufbau auf Ebene der Atome aussieht. Der Einsatz als funktionales Material setzt zudem voraus, dass die PCFs durch gezielte Eingriffe an die jeweiligen Anwendungsmöglichkeiten angepasst werden können. Bei der Suche nach geeigneten Untersuchungsmöglichkeiten wandten sich die Forscher aus Shanghai an eine chinesische Wissenschaftlerin, die am HZB arbeitet. Sie wies ihre Kollegen auf die MX-Beamlines am Elektronenspeicherring BESSY II des HZB hin.

„Wir konnten am HZB mit unseren speziellen Kristallografie-Messplätzen optimale Voraussetzungen bieten, um die PCFs hochaufgelöst zu charakterisieren“, sagt Dr. Manfred Weiss,



Anordnung der aus 237 Aminosäuren bestehenden Concanavalin A-Proteinmoleküle (bunt) in einem Protein Crystalline Framework (PCF): Hilfsmoleküle aus der Substanzklasse der Zucker (rot-weiß) sorgen für die stabile Anordnung.

einer der leitenden Wissenschaftler des MX-Labors am HZB. Dabei wurde klar, dass man über die Hilfsmoleküle sogar steuern kann, wie stark sich die Protein-Netzwerke durchdringen. „Das gibt den PCFs eine enorme Flexibilität und Variabilität, die wir bei den weiteren Forschungen zu möglichen Anwendungen stets im Auge haben werden“, so Weiss. *hs*

Nature Communications, 5, 2014, 4634 (DOI: 10.1038/ncomms5634): Protein crystalline frameworks with controllable interpenetration directed by dual supramolecular interactions; F. Sakai, G. Yang, M.S. Weiss, Y. Liu, G. Chen and M. Jiang

# ANTIKE OSIRIS-STATUEN MIT NEUTRONEN DURCHLEUCHTET

Ein italienisches Forscherteam hat **drei ägyptische Bronzestatuen** mit verschiedenen Methoden untersucht, um mehr über ihre Entstehung zu erfahren. Dazu gehörte auch die von Dr. Nikolay Kardjilov betreute Neutronen-Tomographie am HZB.

**H**istorische Kunstgegenstände sind für die Forschung von unschätzbarem Wert, weil sie viel über das Leben und die Kultur antiker Gesellschaften verraten. Doch Wissenschaftler stehen bei ihrer Untersuchung vor der Herausforderung, dass sie meist keine Materialproben entnehmen können, da sie sonst die wertvollen Objekte beschädigen würden. Das galt auch für drei Statuen aus dem Ägyptischen Museum in Florenz, die kürzlich von italienischen Forschern untersucht wurden. Die kleinen Skulpturen verkörpern Osiris, den Gott des Jenseits und der Unterwelt,

der in der altägyptischen Götterwelt eine zentrale Rolle einnimmt. Die Statuen stellen die Gottheit in einer für sie typischen Haltung dar: Wie bei einer Mumie sind die Gliedmaßen mit Bandagen an den Körper gebunden, vor der Brust kreuzen sich die Arme und in den Händen halten sie die beiden traditionellen Insignien der Macht: den Krummstab und die Geißel (Flagellum). Dazu tragen sie die sogenannte Atef-Krone, die die Herrschaft über Ober- und Unterägypten symbolisiert.

## Drei Methoden – ein Ziel

Die Bronzestatuen des Osiris stammen aus dem Besitz des Ägyptischen Museums in Florenz. Eine Statue wurde im Rahmen der archäologischen Schiaparelli-Expedition Anfang des 20. Jahrhunderts nach Italien gebracht und ist mit einer Höhe von 37 Zentimetern und einem Gewicht von 1,4 Kilogramm die größte Statue. Die beiden anderen Statuen sind etwa nur halb so groß, deutlich leichter und wurden dem Museum bereits 1848 und 1868 von einer Adelsfamilie geschenkt. Der Ursprung und das genaue Alter der Statuen sind unbekannt.



Diese Bronzestatue des Ägyptischen Museums in Florenz zeigt den altägyptischen Gott Osiris. Ein italienisches Forscherteam untersuchte die Legierung, aus der sie gemacht wurde, per Neutronen-Tomographie am HZB.

Juri Agresti, Iacopo Osticioli und Salvatore Siano vom Istituto di Fisica Applicata „Nello Carrara“, Maria Cristina Guidotti von der Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana und Giuseppina Capriotti vom Istituto di Studi sul Mediterraneo Antico wollten mit ihrer Arbeit herausfinden, wie die Statuen hergestellt wurden und aus welchen Materialien sie bestehen. Zudem wollten sie klären, warum die Objekte unterschiedlich gut erhalten sind. Dafür kombinierten die Forscher erstmals mehrere zerstörungsfreie Methoden miteinander, um die Entstehung der Osiris-Statuen zu enträtseln: Sie nutzten die Neutronen-Tomographie an der Neutronenquelle BER II am HZB, die zeitaufgelöste Neutronen-Diffraktometrie an der Neutronenquelle ISIS am Rutherford Appleton Laboratory in Großbritannien und die laserinduzierte Plasmaspektroskopie. Diese drei Methoden ermöglichten es dem Forscherteam, verschiedene, sich ergänzende Informationen über die Bronzestatuetten zu gewinnen.

„Neutronen eignen sich sehr gut, um Materialien aus Metallen zu untersuchen. Sie können tief in die Objekte eindringen. An unserem Instrument CONRAD an der Neutronenquelle BER II konnten wir das Innere der Osiris-Statuen dreidimensional darstellen“, sagt Dr. Nikolay Kardjilov, Mitautor der Veröffentlichung und verantwortlicher Wissenschaftler für das Neutronen-Tomographie-Instrument am HZB. Die Analysen zeigten, dass die drei Statuen aus einem ähnlichen Ton-Kern bestehen und die Kunsthandwerker in der Antike die Gussform für die Bronzeskulpturen jeweils nach einem ähnlichen Verfahren herstellten. Ebenso sind die Metalllegierungen der Statuen ähnlich zusammengesetzt. Dieses Ergebnis erstaunte die Wissenschaftler, weil die Statuen vermutlich in verschiedenen Regionen Ägyptens angefertigt wurden. Aufgrund der vielen gewonnenen Erkenntnisse sollen in Zukunft weitere Bronzestatuetten des Ägyptischen Museums in Florenz mit dieser Erfolg versprechenden Methodenkombination untersucht werden. sz

J. Anal. At. Spectrom., 2015, 30, 713-720; (DOI: 10.1039/C4JA00447G): Combined neutron and laser techniques for technological and compositional investigations of hollow bronze figurines; J. Agresti et. al.

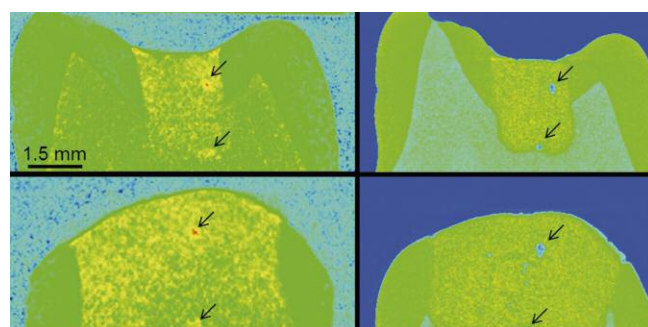
## WIE ZAHNFÜLLUNGEN STABILER WERDEN

Mit Hilfe von **Röntgen- und Neutronentomographie** am HZB konnte ein interdisziplinäres Forscherteam zeigen, dass nicht nur das Füllmaterial selbst, sondern auch dessen Zubereitung darüber entscheidet, wie stabil eine künstliche Zahnfüllung ist.

**K**ünstliche Zahnfüllungen müssen viel aushalten, nicht nur Säuren und Bakterien im Mund, sondern vor allem auch große mechanische Kräfte. Klassische Amalgam-Füllungen sind wegen ihres Quecksilbergehalts unbeliebt, neuere Kunststoff-Komposite halten den Belastungen häufig nicht lange genug stand. Ein interdisziplinäres Team des Niels Bohr-Instituts an der Universität Kopenhagen forscht daher an Glasionomer-Zement, einem Füllmaterial, das ohne Quecksilber auskommt, biologisch verträglich und einfach zu verarbeiten ist. „Wir untersuchen die Beziehung zwischen der Mikrostruktur des Materials und seiner Belastbarkeit, damit wir diese Eigenschaften verbessern können“, sagt Dr. Ana Benetti, Zahnärztin und Wissenschaftlerin an der Universität Kopenhagen. Glasionomer-Zement wird als Pulver einfach mit einer Flüssigkeit angerührt, eine spezielle Laborausstattung ist nicht nötig. Zudem härtet die Füllung von selbst aus und muss nicht wie die Komposit-Füllungen mit einer UV-Lampe gehärtet werden. Diese einfache Handhabung ist ein Vorteil bei der Behandlung von Patienten in ländlichen Regionen Afrikas, Chinas oder Südamerikas, die nicht ans Stromnetz angeschlossen sind.

### Säuren in den Zement oder besser ins Wasser?

Das Material lässt sich auf mehreren Wegen zu einer Zahnfüllung verarbeiten: Das Zementpulver kann entweder mit einer Wasser-Säure-Mischung angerührt werden oder es wird schon vorab mit einer Mischung aus Säuren versetzt, sodass normales Wasser zum Anrühren ausreicht. Die Frage war nun: Welcher ist der beste Weg, um eine stabile Füllung zu erreichen? „Es ist normal, dass die Zahnfüllungen eine gewisse Anzahl von Poren aufweisen“, erklärt Prof. Dr. Heloisa Bordallo, Materialforscherin an der Universität Kopenhagen. „Problematisch wird es dann, wenn Poren mit Flüssigkeit gefüllt sind, denn dann brechen die Füllungen leichter.“ Um die optimale Art der Zementzubereitung zu finden, nahmen Bordallo und Benetti Kontakt zu Dr. Nikolay Kardjilov und Dr. Ingo Manke auf, die Experten für 3D-Bildgebung mit Neutronen- und Röntgentomographie am BER II des HZB sind. „Unser Instrument CONRAD II ermöglicht die weltweit höchste räumliche Auflösung mit Neutronen, vergleichbar



Die Neutronentomographie-Aufnahmen (linke Spalte) zeigen, wie sich Flüssigkeit in dieser Zahnfüllung verteilt, während die Röntgen-CT-Aufnahmen (rechte Spalte) Mikrostruktur und Poren der gleichen Probe abbilden. Der Vergleich erlaubt zu sehen, welche Poren mit Flüssigkeit (rechte Spalte: blaue Flecken) gefüllt sind.

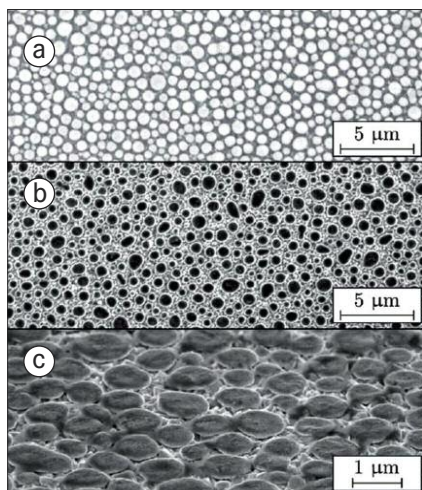
mit der Auflösung, die wir mit der Röntgen-Mikrocomputertomographie erreichen, die wir hier auch durchführen“, erklärt Kardjilov. Um die Position und Größe der Poren in den unterschiedlich angerührten Füllungen zu ermitteln, fertigten die Wissenschaftler zuerst CT-Aufnahmen in 3D an. Die anschließende Neutronentomographie ermöglichte dann, die Verteilung von Wasserstoffatomen und Flüssigkeit im Material und insbesondere in den Poren zu erkennen. Die Ergebnisse zeigen, dass der einfachste Weg nicht der beste ist: Wenn der Zement bereits mit Säuren vermischt ist, ehe er mit Wasser verrührt wird, entstehen Poren, die Flüssigkeit enthalten. „Wir erhalten ein stabileres Material, wenn wir das Zementpulver mit einer Mischung aus Säuren und Wasser anrühren. Es ist besser, die Säuren im Wasser zuzugeben. Das hilft, die Flüssigkeit schneller zu binden, so dass weniger Wasser in Poren eingelagert wird“, erklärt Bordallo. Dennoch ist in beiden Fällen noch zu viel Flüssigkeit in den Poren. Die Forschung an der idealen Mischung für die perfekte Zahnfüllung geht also weiter. *arö/Uni Kopenhagen*

Scientific Reports, 5, 8972 (DOI:10.1038/srep08972): How mobile are protons in the structure of dental glass ionomer cements?; A.R. Benetti, J. Jacobsen, B. Lehnhoff, N.C.R. Momsen, D.V. Okhrimenko, M.T.F. Telling, N. Kardjilov, M. Strobl, T. Seydel, I. Manke and H.N. Bordallo

## KÜNSTLICHES MOTTENAUGE ALS LICHTFÄNGER

Forscher der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) und der Universität Basel haben an BESSY II eine **photoelektrochemische Zelle** untersucht, deren Oberfläche ähnlich wie ein Mottenaug strukturiert ist und die deshalb eine besonders hohe Lichtausbeute aufweist.

**E**isenoxid, also Rost, könnte die Solartechnik revolutionieren: Aus dem unschlagbar billigen Material lassen sich Photoelektroden herstellen, die Wasser spalten und dadurch Wasserstoff erzeugen. So wird Sonnenenergie nicht erst in Elektrizität, sondern direkt in den wertvollen Brennstoff umgewandelt. Leider hat das Ausgangsmaterial seine Tücken: Eisenoxid absorbiert Licht zwar genau in dem



Rasterelektronenmikroskopie der Photoelektrode vor der thermo-chemischen Spaltung (a) und danach (b und c).

Wellenlängenbereich, in dem die Sonne es am meisten aussendet, doch Rost leitet elektrischen Strom sehr schlecht. Daher muss es immer in Form äußerst dünner Filme verarbeitet werden, damit die Wasserspaltung funktioniert. Allerdings absorbieren die dünnen Filme zu wenig vom eingestrahnten Sonnenlicht.

Den Forschern Florent Boudoire und Dr. Artur Braun von der EMPA ist es gelungen, dieses Problem zu lösen: Eine

spezielle Mikrostruktur der Photoelektrode fängt das Licht buchstäblich ein und lässt es nicht mehr heraus. Die Grundlage für diese innovative Struktur bilden winzige Partikel aus Wolframoxid, die auf einer Elektrode aufgetragen und dann mit einer hauchdünnen Schicht Eisenoxid überzogen werden. Fällt von außen Licht auf die Partikel, wird es mehrfach hin und her reflektiert, bis es schließlich komplett absorbiert ist und damit die gesamte Energie für die Spaltung von Wassermolekülen zur Verfügung steht.

„Im Grunde funktioniert die neu erdachte Mikrostruktur wie das Auge einer Motte“, erklärt Florent Boudoire. „Die Augen von Nachtfaltern müssen viel Licht einsammeln – und dürfen so wenig wie möglich reflektieren, sonst wird der Falter ent-

deckt und gefressen. Die Mikrostruktur dieser Augen ist speziell der Wellenlänge des Lichts angepasst. Unsere Photozelle nutzt den gleichen Effekt.“

### „Einfangen des Lichts“ am Computer simuliert

Um künstliche Mottenaugen aus Metalloxidkügelchen herzustellen, besprühte Boudoire eine Glasscheibe mit einer Suspension aus Kunststoffpartikeln, die in ihrem Inneren jeweils ein Tröpfchen Wolframsalzlösung enthielten. Die Partikel bedeckten das Glas wie eine Schicht Murmeln, die dicht aneinander liegen. Dann steckte er das Ganze in den Ofen; der Kunststoff verbrannte und aus den Tröpfchen der Salzlösung entstanden die gewünschten Wolframoxidkügelchen. In einem weiteren Sprühvorgang wurde diese Struktur mit Eisensalz überzogen und erneut im Ofen erhitzt. Nun könnte man das Mixen, Sprühen und Brennen für reine Alchemie halten – für eine Versuchsreihe, die Zufallstreffer erzielt. Doch parallel zu ihren Experimenten haben die Forscher Modellrechnungen am Computer durchgeführt und das „Einfangen des Lichts“ in den Kügelchen am Computer simuliert. „Das Ergebnis der Simulationen stimmte mit den Versuchen überein“, bestätigt Projektleiter Artur Braun. Für ihre Experimente nutzten die Wissenschaftler das Röntgenmikroskop der Beamline U41-XM von BESSY II. Dank der hohen Auflösung konnten sie beobachten, welche chemischen Prozesse im Detail bei der Elektrodenherstellung nötig sind, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Dabei zeigte sich auch, welche Anteile das Wolframoxid und das Eisenoxid zum Photostrom beitragen. Und: je kleiner die Kügelchen sind, desto mehr Licht landet auf dem Eisenoxid, das die Kügelchen überdeckt. In einem nächsten Schritt wollen die Forscher untersuchen, welche Effekte mehrere übereinander liegende Schichten von Kügelchen auslösen können. Die Arbeit an der Mottenaugen-Solarzelle geht also weiter.

EMPA/arö

Energy Environ. Sci., 2014,7, 2680-2688 (DOI: 10.1039/C4EE00380B): Photonic light trapping in self-organized all-oxide microspheroids impacts photoelectrochemical water splitting; F. Boudoire, R. Toth, J. Heier, A. Braun and E.C. Constable

---

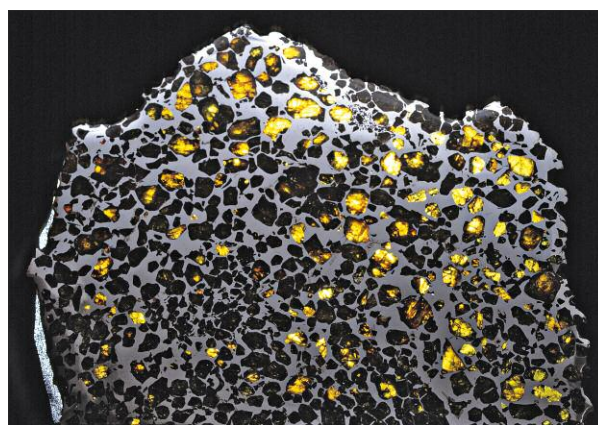
## NACHRICHT AUS DEM HIMMEL

Geologen der Universität Cambridge um Dr. Richard Harrison haben an BESSY II bislang verborgene **magnetische Signale in Meteoriten** entdeckt. Sie können Auskunft über die weitere Entwicklung des Erdmagnetfelds geben.

**B**evor sie auf die Erde fallen, haben Meteoriten eine lange, bewegte Geschichte hinter sich: Sie sind Bruchstücke von Asteroiden, die vor circa viereinhalb Milliarden Jahren mit dem Sonnensystem entstanden. Viele dieser Himmelskörper heizten sich damals durch radioaktiven Zerfall auf. Dadurch entstanden in ihrem Inneren metallische Schmelzen, die durch Konvektion magnetische Felder erzeugten – so wie es die Erde heute noch tut. Seither kühlten die Schmelzen in den kleinen Himmelskörpern jedoch ab, sodass die Konvektion zum Erliegen kam. „Meteoriten sind wie natürliche Festplatten, sie haben das magnetische Feld aus der Frühzeit des Asteroiden gespeichert“, sagt Dr. Richard Harrison. Der Geologe der Universität Cambridge arbeitet an Methoden, um diese tief im Gestein verborgenen Informationen zu entschlüsseln.

### Tetrataenit-Partikel zeigen frühe Magnetfelder an

Harrison nutzte dafür die PEEM-Beamline von BESSY II. Dort fanden er und sein Doktorand James Bryson bemerkenswerte Variationen in den magnetischen Eigenschaften. Sie beobachteten einerseits Regionen mit größeren magnetischen Domänen, die beweglich und damit leicht überschreibbar sind. Außerdem identifizierten sie eine ungewöhnliche Region, die sogenannte Wolkenzone. Sie besteht aus tausenden winziger Nanopartikel aus Tetrataenit, einem superharten magnetischen Material. „Diese Partikel mit Durchmessern von 50 bis 100 Nanometern besitzen eine magnetische Orientierung, die sich überhaupt nicht verändert. Die Magnetisierung erscheint auf den ersten Blick chaotisch, aber genau dort können wir Informationen über die früher vorherrschenden Magnetfelder finden“, erklärt Bryson. Die PEEM-Beamline bietet Röntgenlicht mit exakt definierter Energie, welches zudem zirkular polarisiert ist. Das bedeutet, die Lichtwellen schwingen in einer bestimmten Ebene, die einer Schraubenform in einem Kreiszyylinder entspricht. Diese spezielle Experimentanordnung ermöglicht es, die sehr schwachen magnetischen Signale präzise zu messen und mit hoher Auflösung zu kartieren. „Die neue Technik, die wir entwickelt haben, bietet einen Weg, um aus diesen Bildern echte Informationen zu gewinnen. Nun können wir erstmals paläo-



Festplatte aus dem All: Die Probe des Pallasite Meteoriten aus dem Natural History Museum in London enthält noch Informationen aus dem frühen Solarsystem.

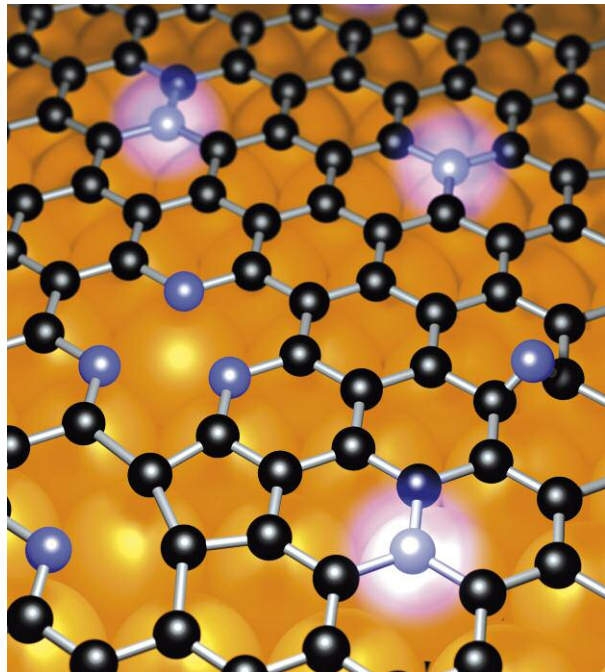
magnetische Messungen von sehr kleinen Regionen dieser Himmelsgesteine durchführen – und zwar mit der besten Auflösung, die jemals erreicht wurde“, sagt Harrison. Dem Team um Harrison gelang es, aus der räumlichen Variation der magnetischen Signale in der Wolkenzone die Geschichte der magnetischen Aktivität des „Muttergesteins“ – also des Asteroiden, von dem der Meteorit einst stammte – zu rekonstruieren. Es konnte sogar bestimmen, wann sich die metallische Schmelze im Inneren des Asteroiden verfestigte und die Konvektion stoppte. Die neuen Messungen könnten viele offene Fragen beantworten, die sich zur Lebensdauer und Stabilität von magnetischen Feldern in Himmelskörpern stellen. So weisen die Daten, die das Team mit Hilfe von Computersimulationen interpretiert, darauf hin, dass das Magnetfeld eher durch Überlagerung von Konvektionsströmen als durch rein thermische Strömungen erzeugt wurde. Solche Ergebnisse ermöglichen vielleicht auch eine Vorhersage über die weitere Entwicklung des Erdmagnetfelds in ferner Zukunft. *arö*

Nature, 517, 2015, 472–475 (DOI: 10.1038/nature14114): Long-lived magnetism from solidification-driven convection on the pallasite parent body; J.F.J. Bryson et. al.

## FITNESSKUR FÜR GRAPHEN

Ein deutsch-russisches Forscherteam hat **Graphen mit Stickstoff beziehungsweise Kobalt und Nickel kombiniert**. Ihr Ziel: Graphen so zu verändern, dass es für praktische technische Anwendungen wie Batterien oder Spintronik-Prozessoren einsetzbar wird.

**A**ls die beiden russischen Physiker Andre Geim und Konstantin Novoselov erstmals über die Herstellung von Graphen-Flocken und deren erstaunliche Merkmale berichteten, riefen sie in der Wissenschaft großes Interesse und Begeisterung hervor. Neben Graphit, Diamant, Nanoröhrchen und Fulleren ist Graphen eine Modifikation des Kohlenstoffs, die schnell zum heißen Kandidaten für diverse technische Anwendungen wurde. In dem „Wunderstoff“ sind die Kohlenstoff-Atome so miteinander verknüpft, dass sie eine bienenwabenartige Struktur formen: Je sechs Atome bilden einen Ring, der mit den benachbarten Ringen ein Netz formt. Dieses hat nur die Dicke eines einzigen Atom-Durchmessers und besitzt viele außergewöhnliche Eigenschaften: Das Material ist chemisch inert und mechanisch extrem steif, dabei äußerst flexibel und hat eine sehr hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit. Forscher hoffen, aus innovativen Graphen-Varianten Sensoren, nanoelektronische Bauteile, Komponenten für künftige Quantencomputer und hocheffiziente Batterien fertigen zu können. Doch bevor das Material in solchen technologischen Anwendungen eine Rolle spielen kann, müssen vor allem noch Hürden bei der Herstellung überwunden werden. Denn als ein Halbmetall ohne elektronische Bandlücke lässt sich Graphen nicht direkt in elektronische Bauteile integrieren. Daher wird intensiv daran geforscht, wie sich eine solche Bandlücke in Graphen erzeugen und sich ihre Größe genau einstellen lässt. Um reines Graphen mit kontrollierbaren Halbleitereigenschaften auszustatten, gilt Dotieren als vielversprechende Methode. Dabei werden gezielt Fremd- atome in das Kristallgitter des Materials eingefügt. Einer Gruppe von Forschern der Universität Sankt Petersburg und der Technischen Universität Dresden unter Leitung der beiden Physiker Dr. Dimitry Usachov und Dr. Denis Vyalikh gelang es nun erstmals zu zeigen, wie sich Atome von Stickstoff (N) oder Bor (B) in das Graphen-Gitter einbauen lassen. In geschickten Experimenten und mithilfe von Modellrechnungen gelang es den Wissenschaftlern, sogenanntes N- und B-Graphen als zweidimensionale Systeme herzustellen und deren elektronische und strukturelle Eigenschaften zu analysieren. Graphen, das auf diese Weise



Diese Grafik zeigt die verschiedenen Stickstoff-Fremdatome in einem Graphen-Gitter (blau). Die darunter befindliche Gold-Oberfläche sorgt für kontrollierbare Bedingungen, unter denen sich unerwünschte Defekte in eine Art von Störstellen verwandeln, die als wirkungsvolle Elektronenspendeure im N-Graphen dienen (leuchtende Atome).

modifiziert wurde, eignet sich für die Verwendung in Batterien, Superkondensatoren, Brennstoffzellen sowie etlichen anderen chemischen oder elektronischen Anwendungen.

### Gezielte Kontrolle über Stickstoff-Störstellen

Um etwa Proben von N-Graphen auf einem metallischen Substrat herzustellen, setzen sie auf das Verfahren der Chemischen Gasphasenabscheidung sowie auf s-Triazin-Moleküle. Das ist eine organische Verbindung, die Stickstoff-Atome enthält. Jedes davon hat gegenüber Kohlenstoff ein zusätzliches Elektron. Ersetzt man im Graphen-Gitter Kohlenstoff- durch Stickstoff-Atome, so erhält das



Material dadurch neue elektronische Eigenschaften. Es war bekannt, dass der Einschluss von Stickstoff-Atomen in eine Matrix aus Kohlenstoff wie in Graphen zu verschiedenen Arten von Störstellen führen kann. Doch das Forscherteam fand einen Weg, den Einbau von Stickstoff in das Kohlenstoff-Netz präzise zu lenken und unwillkommene Arten von Störstellen in eine graphitartige Form zu verwandeln. Diese Form ist wichtig, um beim Dotieren von Graphen den gewünschten Effekt zu erzielen und die elektronische Bandstruktur sowie die Konzentration der Ladungsträger in N-Graphen gezielt einstellen zu können.

#### Auf dem Weg zum Spintronik-Prozessor

Neben dem Dotieren von Graphen haben die Forscher noch eine weitere Anwendung des exotischen Stoffs im Visier: als Ausgangsmaterial für die Entwicklung der Spintronik. Diese neue Generation der Elektronik setzt nicht wie bislang üblich auf eine Kontrolle der elektrischen Ladung von Elektronen, sondern nutzt deren Spin. Dieser lässt sich als Drehimpuls der Elektronen betrachten und durch Magnetfelder beeinflussen. Zusammen mit der elektrischen Ladung soll sich der Spin künftig zum Rechnen oder Speichern von Daten verwenden lassen. Doch die Entwicklung von Spintronik-Bauelementen befindet sich noch in einem

frühen Stadium. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, Systeme zu finden, die einen Spinstrom mit wohldefinierten Eigenschaften hervorbringen.

Die Wissenschaftler aus Sankt Petersburg und Dresden favorisieren auch dafür Graphen – in Kombination mit einer Schicht aus ferromagnetischem Kobalt. Wenn Graphen unter geeigneten Bedingungen auf einer monokristallinen Kobaltschicht wächst, richtet es sich exakt nach der metallischen Unterlage aus. Durch Wechselwirkungen mit dem ferromagnetischen Kobalt bildet sich im Graphen ein leicht bewegliches zweidimensionales Gas aus spin-polarisierten Ladungsträgern, das exzellente Voraussetzungen für eine mögliche Anwendung in der Spintronik bietet. Dass Graphen tatsächlich magnetisch polarisiert wird, konnten Denis Vyalikh und seine Forscherkollegen nun eindrucksvoll belegen. Ermöglicht wurden alle diese Ergebnisse durch eine erst vor Kurzem installierte experimentelle Einrichtung am Berliner Synchrotron-Speicherring BESSY II, die das deutsch-russische Forscherteam – in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des HZB – entwickelt und aufgebaut hat. rb

Nano Lett., 2014, 14 (9), pp 4982–4988 (DOI: 10.1021/nl501389h): The Chemistry of Imperfections in N-Graphene; D. Usachov et. al.

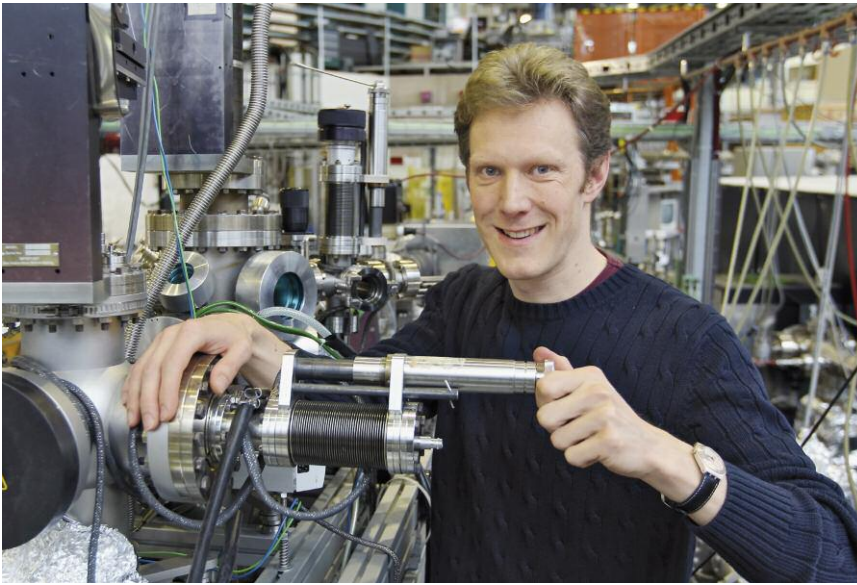
---

## DEM DREHIMPULS AUF DER SPUR

Französische Wissenschaftler haben gemeinsam mit Kollegen des HZB den **Drehimpuls von zwei unterschiedlichen Ferrimagneten** unter dem Einfluss von Laserstrahlen untersucht. Diese auf mikroskopischer Ebene und in Femtosekunden laufenden Prozesse steuern zu können, ist der Schlüssel zu ultraschnellen Datenspeichern.

**F**errimagneten sind ungewöhnliche Materialien: Sie enthalten verschiedene Bereiche mit entgegengesetzt orientierter Magnetisierung. Die kommt durch die Bewegung von Elektronen und durch deren Spinzustände – eine Art Eigendrehimpuls der Teilchen. Da die Magnetisierungen der kristallinen Teilbereiche unterschiedlich stark sein können, erscheinen viele Ferrimagneten – meist metallische Legierungen – auch als Ganzes magnetisch. Doch ihre innere Struktur bleibt verborgen. Das macht die Substanzen zu Kandidaten für die Entwicklung neuartiger magnetischer Datenspeicher, die riesige Datenmengen aufnehmen können und sich besonders schnell beschreiben oder auslesen lassen. Sie nutzen das

Drehmoment des Materials, das mit der Magnetisierung verknüpft ist und das sich zum Speichern von Daten umschalten lässt. Bisher verwendete ferromagnetische Werkstoffe stoßen mit fortschreitender Miniaturisierung an eine Grenze, an der die thermische Instabilität der Bits zum Verlust der gespeicherten Information führt. „Vor einer technischen Nutzung ist es notwendig, zu verstehen, was auf mikroskopischer Ebene in den Materialien geschieht“, sagt der Physiker Dr. Christian Stamm. Eine bis vor Kurzem offene Frage lautete: Wie steht es um die Erhaltung des Drehimpulses, etwa wenn man einen magnetischen Werkstoff – zum Speichern oder Löschen von Daten – mit Laserlicht bestrahlt? Stamm, der im Bereich Magne-



Dr. Christian Stamm, ehemals am HZB tätig, nutzte für seine Forschung am Drehimpuls-Transfer erneut die weltweit einzigartigen Möglichkeiten der Femtosekunden-Quelle an BESSY II.

tismus und Grenzflächen der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich forscht und zuvor neun Jahre am HZB tätig war, konnte diese Frage nun gemeinsam mit Forscherkollegen von den französischen Universitäten Straßburg und Nancy sowie Kollegen vom HZB beantworten. Für ihre Experimente wählte das Team zwei verschiedene ferrimagnetische Legierungen: eine aus Kobalt und Gadolinium und eine andere aus Kobalt und Terbium. Diese untersuchten die Forscher mit Röntgenlaserlicht-Blitzen aus einer Femtosekunden-Quelle am Synchrotron-Speicherring BESSY II des HZB.

### Schnelle Übertragung des Drehimpulses

Dort wird mit Laserpulsen von wenigen Femtosekunden (Billiardstel-Sekunden) Dauer auf Elektronen geschossen, die mit fast Lichtgeschwindigkeit durch den Ring schießen und dabei Röntgenlicht aussenden. Es erhält durch den Rhythmus der Laserpulse eine ultraschnelle Zeitstruktur: Femtosekunden kurze Röntgenblitze entstehen, mit denen sich die Materialien stroboskopartig durchleuchten lassen. Das Besondere: Die Blitze sind nicht nur extrem kurz, sondern auch zirkular polarisiert und eignen sich daher für magnetische Untersuchungen. „Das ist weltweit einzigartig“, schwärmt Stamm. „Neben dem HZB gibt es keine zweite Quelle, die diese experimentellen Bedingungen bietet.“

Die Kombination aus Röntgenlicht und zirkularer Polarisation ist entscheidend. Denn damit gelingt es, tief ins Herz der Materialien hineinzublicken, sehr schnelle Vorgänge zu verfolgen – und das selektiv für die verschiedenen chemischen Elemente der Probe. Die Methode heißt magnetische Zirkular-Dichroismus-Spektroskopie. Damit gelang es

Stamm und seinem Team erstmals, mit extrem genauer Zeitauflösung zu beobachten, wie sich die Drehimpulse in den beiden ferrimagnetischen Legierungen nach Anregung durch einen Laserpuls verhalten.

Die Ergebnisse der Forscher zeigen: Die Legierung aus Kobalt und Gadolinium, in der sich die Magnetisierungen der beiden kristallinen Teilgitter gegenseitig aufheben, behält auch nach der Anregung einen Gesamtdrehimpuls von null. Von außen betrachtet geschieht also scheinbar nichts. Doch im Inneren des Kristalls finden grundlegende und sehr schnelle Veränderungen statt: „Die Spins in beiden Teilgittern verlieren durch den Laserpuls ihre Ausrichtung, die magnetische Ordnung geht

verloren“, erklärt Stamm. „Offenbar wird Drehimpuls zwischen Kobalt und Gadolinium übertragen.“ Und das geschieht innerhalb von rund 100 Femtosekunden.

### Rätselhafter Drehimpuls-Transfer im Terbium

Anders sind die Verhältnisse im Terbium-haltigen Metall: Terbium hat im Ausgangszustand einen größeren Drehimpuls als Kobalt, wodurch sich der Gesamtdrehimpuls von null unterscheidet. „Nach der Laseranregung geht zudem nur ein Teil der inneren Ordnung verloren“, sagt Stamm. Doch das führt dazu, dass der Gesamtdrehimpuls fast ganz verschwindet. „Das ist ein Hinweis darauf, dass – im Gegensatz zum Gadolinium-haltigen Material – ein äußeres Reservoir beteiligt ist, das den Drehimpuls aufnimmt“, erklärt der Physiker. Ein weiteres Indiz dafür ist eine Verzögerung von etwa 140 Femtosekunden beim Drehimpuls-Transfer, die die Wissenschaftler beobachtet haben. Wohin der Drehimpuls befördert wurde, ist noch unbekannt. Das könnten weitere Experimente ans Licht bringen. Die Experimente haben zu wertvollen neuen Erkenntnissen geführt: Die Resultate der Messungen am HZB liefern entscheidende Puzzleteile zum Verständnis der komplizierten physikalischen Vorgänge in magnetischen Materialien. Damit helfen sie, die Substanzen für einen möglichen Einsatz in neuartigen leistungsfähigen und ultraschnellen Datenspeichern vorzubereiten.

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

## BRÜCKEN IM SHAMPOO

Der vom Seifenrindenbaum stammende Stoff Saponin wird als Emulgator in Wasch- und Lebensmitteln eingesetzt. Um mögliche Seiteneffekte zu erforschen, haben polnische Forscher am HZB mit Hilfe der **Neutronenreflektometrie** sein Verhalten an biologischen Membranen untersucht.

**A**uf den ersten Blick sieht der in den Bergwäldern Chiles wachsende Seifenrindenbaum *Quillaja saponaria* eher harmlos aus. Dabei weiß das Gehölz sich durchaus seiner Rinde zu wehren, denn es speichert in seiner Borke jede Menge Saponine, die es gegen Insekten schützen. Saponine sind natürliche Schaumbildner und werden deshalb von den Wissenschaftlern der Kosmetik- und der Lebensmittelbranche für eine ganze Reihe von Anwendungen unter die Lupe genommen. Der Haken: einige Saponine können rote Blutkörperchen auflösen. Saponine sind in der Pflanzenwelt weit verbreitet und finden sich auch in Gemüse wie Spargel, Tomaten oder Kartoffeln. Weil ihre Struktur sehr vielfältig ist, sind generelle Aussagen über ihre Wirkung auf den Menschen nicht möglich. Um böse Überraschungen zu vermeiden, muss man die Eigenschaften der jeweiligen Biomoleküle gut kennen. Deshalb suchen Forscher wie Dr. Kamil Wojciechowski von der Technischen Universität in Warschau gern Dr. Thomas Gutberlet und Dr. Marcus Trapp vom HZB auf. Die beiden Wissenschaftler sind neben der eigenen Forschung auch für die Gäste zuständig, die an den wissenschaftlichen Großgeräten des HZB ihre Proben analysieren. Saponine wie die des Seifenrindenbaums, die Wojciechowski untersuchte, bestehen aus zwei Hälften: Aus einer Terpenoid genannten Substanzgruppe, die sich gut mit Fetten und Ölen verträgt, und einer Kette aus Zucker, der wiederum hervorragend mit Wasser zusammenwirkt. Ein solches Zwittermolekül kann als Emulgator Brücken zwischen zwei Stoffen schlagen, die sich sonst nicht miteinander verbinden: den Fetten und Wasser. Eine Mayonnaise oder ein Ketchup sind genau solche Mischungen. Aber auch Reinigungsmittel wie Shampoos profitieren davon, denn die Terpenoid-Seite hält fettigen Schmutz fest, während die Zuckerseite sich mit dem Waschwasser verbindet, sodass der Schmutz weggeschwemmt wird.

### Gefahr für rote Blutkörperchen?

Um die Risiken solcher Emulgatoren für den Menschen besser einschätzen zu können, haben die Forscher um Wojciechowski untersucht, wie sich Saponine des Seifen-



Die Saponine des Seifenrindenbaums *Quillaja saponaria* schützen den Baum vor Insektenfraß. Ob sie tatsächlich rote Blutkörperchen zerstören, hat ein polnisches Forscherteam am HZB untersucht.

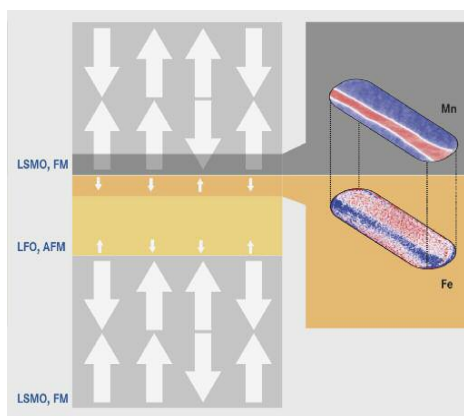
rindenbaums gegenüber der äußeren Hülle der roten Blutkörperchen verhalten. „Genau diese Zellmembran scheinen manche Saponine zu beschädigen“, erklärt Gutberlet. Wie das passiert, liegt aber weitgehend im Dunkeln. „Deshalb untersuchen wir das Verhalten dieser Naturstoffe am HZB.“ Dazu nutzten sie die Neutronenreflektometrie am HZB: Ähnlich wie ein Lichtstrahl eine Oberfläche beleuchtet, traf dabei ein Neutronenstrahl aus der Neutronenquelle BER II auf Saponine und eine künstliche Membran, die der Außenwand eines roten Blutkörperchens stark ähnelt. Die reflektierten Neutronen zeigten den Forschern zusammen mit einer parallel angewendeten Infrarot-Spektroskopie, dass die Saponine die Membran nicht etwa zerstören, sondern in sie eindringen und sie dabei sogar noch stärken. „Das heißt natürlich nicht, dass Saponine für rote Blutkörperchen generell unschädlich sind“, betont der Chemiker Gutberlet. Schließlich gibt es sehr viele unterschiedliche Saponine, und bei einer anderen Struktur als der untersuchten kann das Ergebnis schon wieder anders aussehen. Auf die Saponin-Forscher wartet also noch viel Analyse-Arbeit. rk

Biochimica et Biophysica Acta BBA) – Biomembranes, Vol. 1838, Is. 7, pp. 1931-1940 (DOI: 10.1016/j.bbamem.2014.04.008): Unusual penetration of phospholipid mono- and bilayers by Quillaja bark saponin biosurfactant; K. Wojciechowski et. al.

## EINBLICK INS INNERE MAGNETISCHER SCHICHTEN

Mit Messungen an BESSY II konnte ein internationales Forscherteam zeigen, wie sich in **magnetischen Sandwiches „Spin-Filter“** bilden, die den Tunnelmagnetwiderstand beeinflussen. Ihre Ergebnisse können beim Design spintronischer Bauelemente helfen.

In jeder Festplatte und jedem Schreib-Lesekopf stecken heute magnetische Schichtstrukturen, deren einzelne Schichten nur wenige Nanometer dick sind. Entscheidend für ihre Funktion ist ein quantenphysikalischer Effekt, der Tunnelmagnetwiderstand (TMR). Er tritt auf, wenn zwei ferromagnetische Schichten voneinander durch eine isolierende Schicht von wenigen Atomlagen Dicke getrennt sind, wie zwei Brotecken durch eine Scheibe Käse. Solange die



Die LFO-Schicht weist normalerweise eine antiferromagnetische Ordnung auf (AFM) und besitzt keine ferromagnetischen Domänen. Doch die ferromagnetischen Domänen (weiße Pfeile) der LSMO-Schichten bewirken, dass sich an den Grenzflächen in der LFO-Schicht ferromagnetische Domänen ausbilden, die antiparallel zu den angrenzenden Domänen der LSMO-Schicht ausgerichtet sind.

schichten der elektrische Widerstand präzise steuern und mit den binären Werten „Null“ und „Eins“ verbinden, mit denen sich rechnen lässt.

Forscherteams aus Frankreich, Spanien und dem HZB haben entdeckt, dass in Sandwich-Strukturen aus verschiedenen Übergangsmetalloxiden an den Grenzflächen Effekte auftreten, die den TMR-Widerstand stark beeinflussen. Dies hatte das französische Team um Manuel Bibes und Agnès Barthélémy von der Unité Mixte de Physique CNRS/Thales in Palaiseau in Zusammenarbeit mit dem

Magnetisierung in den beiden „Brotecken“ parallel ist, dürfen Elektronen durch den „Käse“ tunneln, so dass der Widerstand niedrig ist. Ändert sich jedoch in einer der Schichten die Magnetisierung, dürfen die Elektronen nicht mehr durch die mittlere Schicht tunneln und der Widerstand ist hoch. So lässt sich durch magnetischen Einfluss auf eine der Außen-

Team um Prof. Dr. Jacobo Santamaria in Madrid zunächst durch Messungen der Transporteigenschaften beobachtet. Die Wissenschaftler untersuchten dafür ein Schichtsystem aus zwei Lanthan-Strontium-Mangan-Oxid-Schichten (La<sub>0,7</sub>Sr<sub>0,3</sub>MnO<sub>3</sub>), die durch eine sehr dünne Lanthan-Eisen-Oxid-Schicht (LaFeO<sub>3</sub>) getrennt war. Dabei waren die LSMO-Schichten ferromagnetisch (Mangan-Atome richten ihre magnetischen Momente in Domänen parallel zueinander aus), die LFO-Isolatorschicht dagegen antiferromagnetisch (Eisenatome ordnen hier ihre magnetische Momente antiparallel zueinander).

### Neue magnetische Ordnung an den Grenzflächen

Messungen mit der Messkammer ALICE und am XPEEM-Instrument der UE49-Beamline von BESSY II haben deutlich gemacht, was an den Grenzschichten zwischen den ferromagnetischen Schichten und der antiferromagnetischen Innenschicht geschieht. „Wir haben gesehen, dass die Eisen-Atome der Isolatorschicht an der Grenzschicht durch die Mangan-Atome beeinflusst werden und ihre magnetischen Momente nun antiparallel zu denen der Mangan-Atome ausrichten“, erklärt Dr. Sergio Valencia Molina, der das HZB-Team leitet. „Dadurch entsteht direkt an der Grenzschicht auch in der Isolatorschicht eine ferromagnetische Ordnung. Damit haben wir erstmals experimentell nachgewiesen, dass sich auch in nicht-ferromagnetischen Barriereschichten ferromagnetische Ordnung induzieren lässt.“

Das französische Team rechnete daraufhin durch, wie sich solche Spin-Filter auf den TMR-Widerstand auswirken, und konnte die experimentellen Daten reproduzieren. „Solche komplexen Oxid-Heterostrukturen könnten in der Spintronik zukünftig eine große Rolle spielen“, sagt Valencia. Die Ergebnisse erklären einen wichtigen Prozess und helfen damit beim Design von Tunnelbarrieren mit den gewünschten Eigenschaften.

arö

Nature Communications, 6, 6306, (DOI: 10.1038/ncomms7306): Insight into spin transport in oxide heterostructures from interface-resolved magnetic mapping; F. Y. Bruno et al.

## DER TANZ DER NANOWIRBEL

Mit Hilfe der Röntgenholografie gelang es einem internationalen Forscherteam, die **Bewegungsmuster von magnetischen Nanowirbeln** sichtbar zu machen. Forscher vermuten, dass sich mit Hilfe dieser Skyrmionen zukünftig Informationseinheiten auf kleinerem Raum und deutlich stabiler als bisher speichern und bewegen lassen.

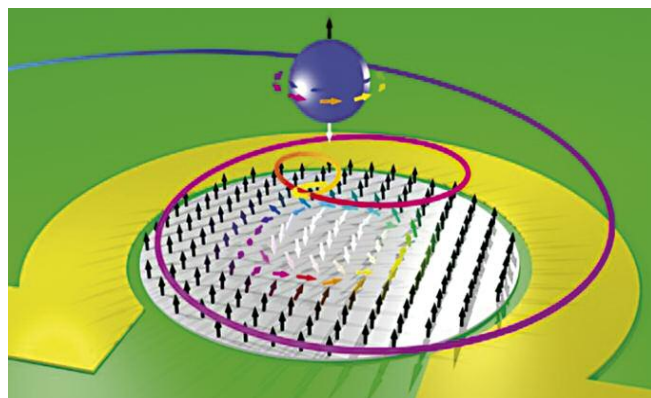
Wenn ein Kreisel angeschubst wird oder auf einer geneigten Fläche rotiert, bewegt er sich meist nicht geradlinig vorwärts, sondern beschreibt kleine Bögen. Forschern der TU Berlin und des HZB sowie der Universität Mainz ist es zusammen mit Forschungsteams aus den Niederlanden und der Schweiz nun gelungen, solche Bewegungsmuster auch in einem magnetischen Schichtsystem sichtbar zu machen – und zwar in Form von kleinen magnetischen Nanowirbeln. „Die magnetischen Nanowirbel können wir mit Hilfe von Magnetfeldern gezielt erzeugen und dann ‚anschubsen‘, sodass sie aus ihrer Gleichgewichtslage herausgelenkt werden“, erklärt Dr. Felix Büttner von der Universität Mainz. „Wir konnten dann sehr genau verfolgen, auf welchem Weg diese Skyrmionen sich in ihre Ruhelage zurückbewegen“, so Büttner weiter.

Die Wirbel entstehen in dünnen magnetischen Schichtsystemen, in denen abwechselnd Lagen aus einer Kobalt-Bor-Legierung und Platin-Schichten übereinandergestapelt sind. Jede Einzelschicht ist weniger als ein Nanometer dick. Dadurch entstehen besondere magnetische Eigenschaften. Der Durchmesser dieser magnetischen Wirbel ist nicht größer als 100 Nanometer.

### Holografische Aufnahmen an BESSY II

Mit einer besonderen Technik gelang es den Forschern, die Bewegung der Skyrmionen mit einer Präzision von wenigen Nanometern in Zeitabständen von weniger als einer Nanosekunde zu dokumentieren. Ermöglicht wurde dies durch holografische Aufnahmetechniken mittels intensiver Röntgenpulse an BESSY II. Diese holografischen Aufnahmetechniken sind am TU-Fachgebiet „Nanometeroptik und Röntgenstreuung“ von Prof. Dr. Stefan Eisebitt gemeinsam mit dem HZB über Jahre weiterentwickelt worden. Was Büttner und seine Mitstreiter in den Röntgenhologrammen sahen, war bemerkenswert: „Ähnlich wie ein angestoßener Kreisel bewegt sich der Nanowirbel nicht geradlinig, sondern auf einer spiralförmigen Bahn“, erklärt Büttner. „Durch den Vergleich unserer Messungen mit Modellrechnungen stellten wir fest, dass sich diese spiralförmige Bewegung nur erklären lässt, wenn das Skyrmion eine Masse besitzt.“

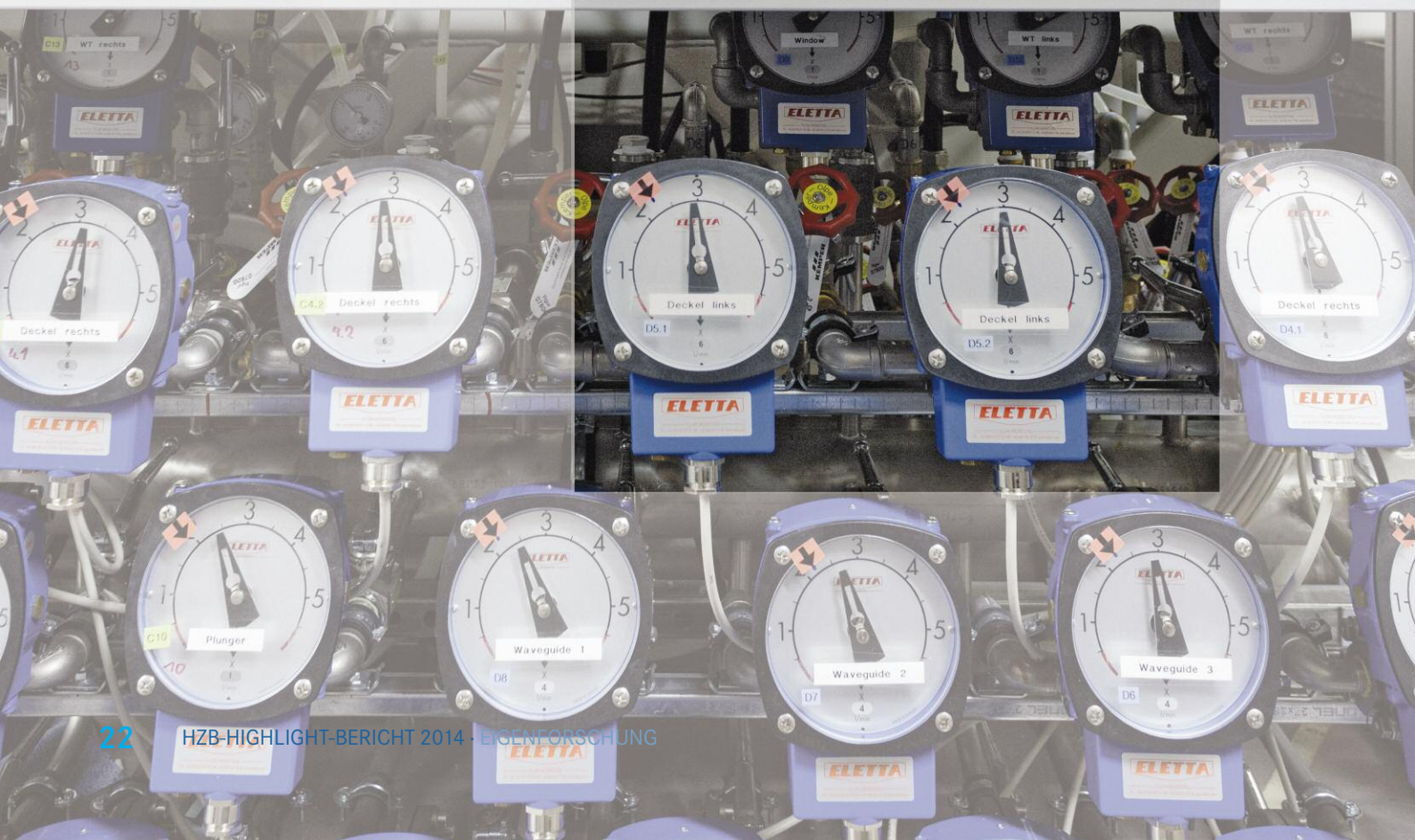
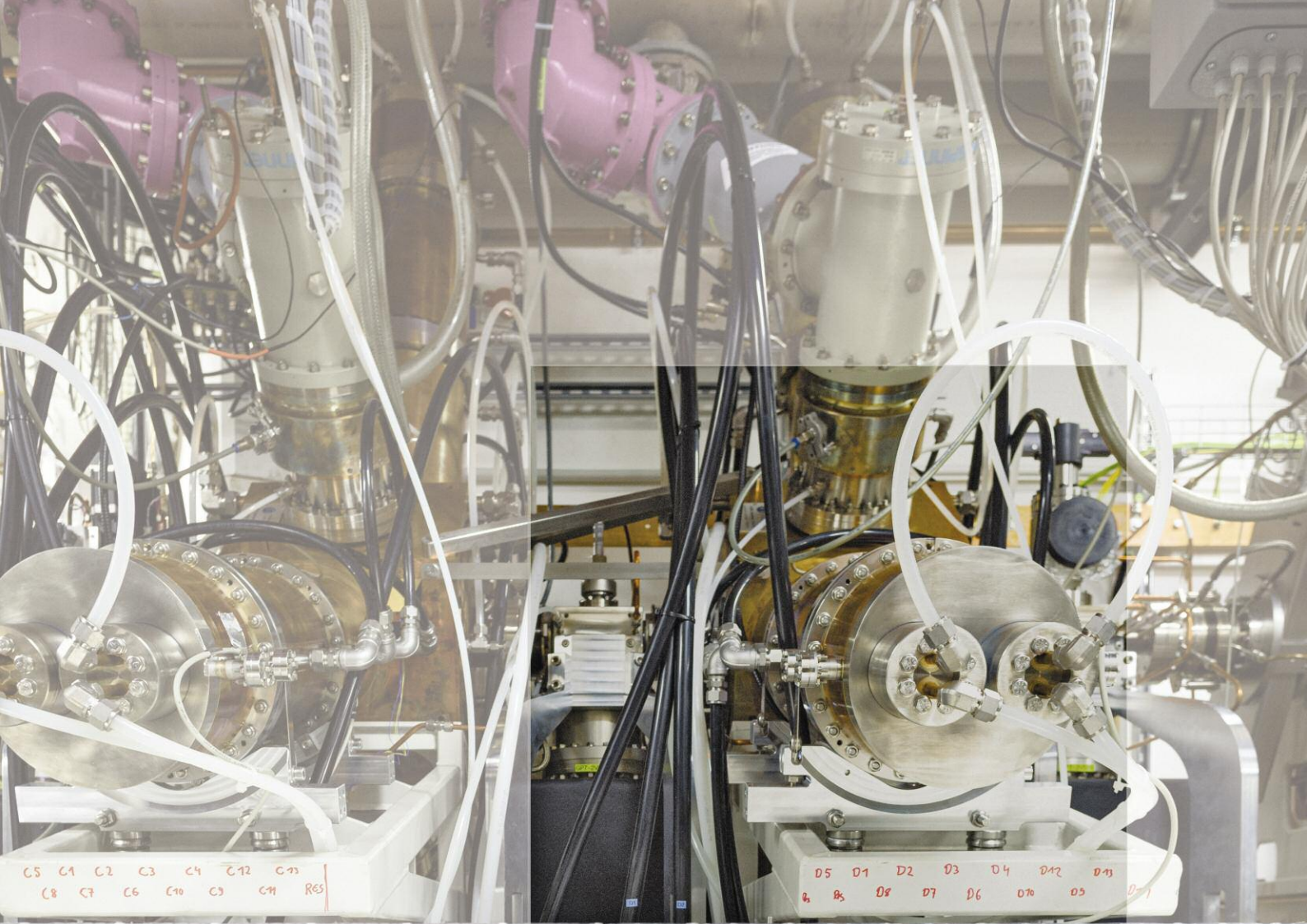
Dies ist ein wichtiger Befund, da die hier beobachteten Nanowirbel nur eine spezielle Art von in der Natur zu findenden Skyrmionen sind. „Skyrmionen wurden in der Vergangenheit vielfach als Teilchen ohne Masse beschrieben“, erläutert Christoforos Moutafis vom Paul Scherrer Institut, der sich schon lange mit solchen Strukturen auseinandersetzt. Daher wird das in dieser Arbeit etablierte „Konzept“ von Masse auch zum Verständnis dieser Teilchen beitragen.



In der Mitte einer dünnen magnetischen Schicht befindet sich ein Wirbel. Ein kurzer Strompuls durch einen Nanodraht lenkt den magnetischen Wirbel (Skyrmion) aus seiner Ruhelage. Auf einer Spiralbahn bewegt er sich zurück in seine Ausgangsposition. Dies lässt sich mit Hilfe der Röntgenholografie beobachten. Die spiralförmige Bahn und das Skyrmion sind schematisch oberhalb der Struktur dargestellt.

Speziell diese magnetischen Nanowirbel in dünnen magnetischen Schichten könnten auch für konkrete Anwendungen in Frage kommen: Forscher vermuten, dass sich aufgrund ihrer „Wirbeleigenschaft“ Bits, also Informationseinheiten, auf kleinerem Raum und deutlich stabiler als bisher speichern und bewegen lassen. Möglicherweise können nun die neuen Einsichten in das Verhalten der Skyrmionen dazu beitragen, solche neuartigen Konzepte für die Datenspeicherung und -verarbeitung zu verwirklichen. arö

Nature Physics, 11, 225–228 (DOI: 10.1038/nphys3234): Dynamics and inertia of skyrmionic spin structures; F. Büttner et. al.



# HIGHLIGHTS AUS DER EIGENEN FORSCHUNG

**1.160 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter** waren 2014 durchschnittlich beim Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie beschäftigt, inklusive der Auszubildenden. 20 neue Ausbildungsverträge wurden abgeschlossen. Ende 2014 befanden sich insgesamt 53 Jugendliche in 10 Ausbildungsberufen am HZB. Mit 322 Mitarbeiterinnen lag der Frauenanteil unter den Beschäftigten am HZB bei 27,8 Prozent.

**537 ISI-zitierte Publikationen** wurden 2014 von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am HZB veröffentlicht. Dazu kamen weitere 58 referierte Publikationen. Insgesamt stammten 202 Publikationen aus dem Forschungsbereich Erneuerbare Energien und 393 Publikationen aus dem Forschungsbereich Photonen, Neutronen und Ionen (PNI).

**134** Doktoranden wurden 2014 am HZB betreut. Insgesamt wurden am HZB 21 Doktorarbeiten, 4 Diplomarbeiten,

35 Master-Arbeiten, 12 Bachelor-Arbeiten und 1 Studienarbeit abgeschlossen. 69 Doktoranden arbeiteten für ihre Dissertation im Forschungsbereich Erneuerbare Energien, 65 im Bereich PNI.

**85 Kooperationen** mit Unternehmen ging das HZB 2014 neu ein. Ende 2014 war das HZB an 146 Industriekooperationen beteiligt, darunter 61 im Bereich Erneuerbare Energien und 85 im Bereich PNI.

**8 Patente** wurden dem HZB 2014 vom Deutschen Patent- und Markenamt erteilt, davon 4 im Bereich Erneuerbare Energien und 4 im Bereich PNI. Ende 2014 umfasste der Schutzrechtsbestand des HZB 286 Schutzrechte im In- und Ausland. 42 Schutzrechte waren Vertragsgegenstand laufender Lizenzverträge.

## VOM AUGE ABGESCHAUT

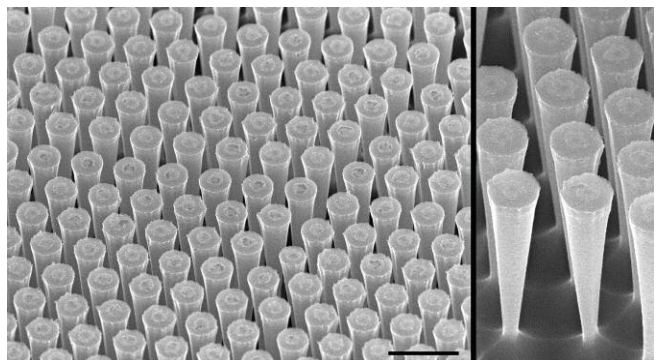
Eine **Biostruktur im Säugetierauge** hat ein Forscherteam um Prof. Dr. Silke Christiansen inspiriert, ein anorganisches Pendant für die Gewinnung erneuerbarer Energie zu entwerfen: Mikrotrichter aus Silizium erhöhen die Effizienz von Solarzellen.

Das menschliche Auge ist ein faszinierendes und höchst komplex aufgebautes Sinnesorgan. Mit der Makula, dem sogenannten Gelben Fleck, verfügt die Netzhaut am Ende der Sichtachse über ein eng umschriebenes Areal, in dessen Mitte die *Fovea centralis*, die Sehgrube, liegt. Dieser im Durchmesser circa 1,5 Millimeter kleine Bereich weist die größte Dichte an trichterartigen, schlanke Farb-Sehzapfen auf. Sie sind in einem gleichmäßigen Mosaik angeordnet. Weil die Sehzapfen überdies eins zu eins mit Nervenzellen verschaltet sind, wird hier das höchste Auflösungsvermögen erreicht, das heißt, wir sehen in diesem kleinen Bereich ein maximal scharfes Bild. Diese dichtgepackte Zapfen-Struktur hat das Team um Silke Christiansen dazu angeregt, eine ähnliche Struktur in Silizium nachzubilden und ihre Eignung als lichtsammelnde und -leitende Oberfläche für Solarzellen zu untersuchen. Die Nachbildung der *Fovea centralis* stellte die Forscher vor keine allzu großen technischen Probleme. Sie ist mit herkömmlichen halbleitertechnologischen Verfahren wie etwa dem reaktiven Ionenätzen oder nasschemischen Ätzprozessen machbar. Mit Modellrechnungen und im Experiment testeten sie, wie solche Trichterfelder das einfallende Licht sammeln und in die darunter liegende aktive Schicht einer Siliziumsolarzelle leiten.

### Einfacher Nachbau mit großer Effizienz

Wie groß die Auswirkung der Trichteranordnung war, überraschte die Forscher allerdings: Schon geringe Abweichungen von der Säulenform hin zum Trichter verstärken die Absorption und damit auch den Wirkungsgrad einer damit versehenen Dünnschicht-Siliziumsolarzelle ganz erheblich. Im Vergleich mit den Nanosäulen-Teppichen weisen die Mikrotrichter eine um 65 Prozent höhere Lichtabsorption auf, was sich in deutlich verbesserten Solarzellparametern widerspiegelt.

Mit ihren Modellierungen konnten die Wissenschaftler auch eine schlüssige Erklärung für das Ergebnis liefern: Optische Moden in Nanosäulen „stören“ sich gegenseitig, das heißt die Wege, denen die Photonen des Lichts entlang der Nanosäulen folgen können, beeinträchtigen einander aufgrund



Aufnahmen mit dem Raster-Elektronenmikroskop zeigen, wie regelmäßig die in ein Silizium-Substrat eingätzten Trichter angeordnet sind (links: Längenskala fünf Mikrometer, rechts: ein Mikrometer). Die Trichter messen oben im Durchmesser noch circa 800 Nanometer und laufen unten auf etwa hundert Nanometer spitz zu.

ihrer Nähe. „Ein Feld von eng stehenden Nanosäulen nimmt dadurch also weniger effizient Licht auf, als dieselbe Zahl einzelner Nanosäulen es könnte. Bei den Lichttrichtern tritt das Gegenteil ein: Dicht benachbarte Lichttrichter verstärken ihre Absorption gegenseitig“, erklärt Sebastian Schmitt vom Max-Planck Institut für die Physik des Lichts (MPL), einer der beiden Erstautoren der Veröffentlichung. „Mit diesem interessanten ersten Ergebnis planen wir in verschiedenste Richtungen vorzudringen“, sagt Silke Christiansen, die das Institut für Nanoarchitekturen für die Energiewandlung am HZB und eine Arbeitsgruppe am MPL leitet. Sie und ihr Team arbeiten weiter an der Verbesserung von Dünnschichtsolarzellen auf Siliziumbasis und wollen die Trichter nun in robuste Zellkonzepte einbauen, die sich auch großflächig und kostengünstig realisieren lassen. arö

Scientific Reports, 5, 8570 (DOI: 10.1038/srep08570): Enhanced photovoltaics inspired by the fovea centralis; G. Shalev, S.W. Schmitt, H. Embrechts, G. Brönstrup and S. Christiansen und Nano Energy, Vol. 12, 2015, 801-809 (DOI: 10.1016/j.nanoen.2015.01.048): Maximizing the ultimate absorption efficiency of vertically-aligned semiconductor nanowire arrays with wires of a low absorption cross-section; G. Shalev et. al.



# KUPFER, ZINN UND ZINK FÜR SONNENSTROM

Dr. Galina Gurieva hat im Team von Prof. Susan Schorr, Leiterin der Abteilung Kristallographie, neue Materialien für die Herstellung von **effizienten Dünnschichtszell**en untersucht. Damit könnten die bislang notwendigen seltenen Erden, die teuer und nur begrenzt verfügbar sind, ersetzt werden.

Für die Stromerzeugung in einer Dünnschichtszelle ist die Absorberschicht entscheidend. Sie ist meist nur wenige Mikrometer dick, steckt wie bei einem Sandwich zwischen anderen Schichten und bildet mit ihnen einen so genannten pn-Übergang. In dieser Schicht findet die Entstehung von positiven (p) und negativen (n) Ladungsträgern durch Absorption des einfallenden Sonnenlichts statt. Bei den derzeit effizientesten Dünnschichtszellen, die auf Chalkopyrit basieren, enthält die lichtempfindliche Schicht unter anderem Indium und Gallium. Sie machen die Solarzelle teuer und zudem gilt ihre langfristige Verfügbarkeit als kritisch. Daher suchen Forscher weltweit seit Jahren nach besseren Alternativen.

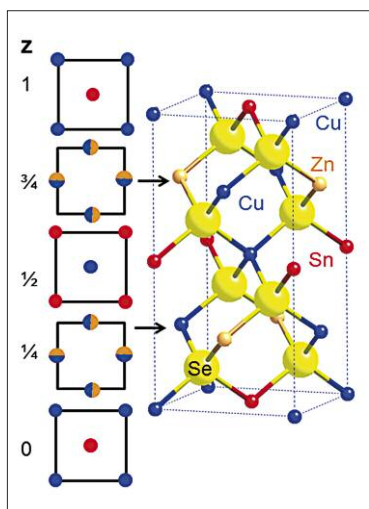


Abbildung einer Kesterit-Struktur, in der neben Selen (gelb) auch Kupfer (blau), Zink (orange) und Zinn (rot) enthalten sind.

Als besonders aussichtsreich gelten Kupferverbindungen, die die weit verbreiteten, ungiftigen und günstig erhältlichen Elemente Zink und Zinn einschließen. „Allerdings erreichen Dünnschichtszellen mit diesen Substanzen maximal

rund 12,6 Prozent Wirkungsgrad“, berichtet Galina Gurieva aus dem Team von Susan Schorr. Das ist deutlich schlechter als bei den Chalkopyrit-Zellen, die mehr als 20 Prozent der solaren in elektrische Energie umwandeln. Durch eine optimierte chemische Zusammensetzung der Verbindung wollen die Berliner Materialforscher die Effizienz der zink- und zinnhaltigen Zellen verbessern. Das Problem dabei: „Bislang ist so gut wie nichts über die grundlegenden strukturellen Eigenschaften dieser Materialien wie atomare Defekte in der

Kristallstruktur bekannt“, stellt Gurieva fest. Der Grund: Mithilfe der für Kristallstrukturanalysen gebräuchlichen Röntgendiffraktometrie lassen sich Verbindungen mit Kupfer und Zink nicht untersuchen, da die beiden Metalle das Röntgenlicht ähnlich streuen und sich deshalb bei der Analyse der Daten kaum unterscheiden lassen.

## Mit Neutronen auf der Suche nach Defekten

Die HZB-Wissenschaftler setzten daher auf Neutronen statt Röntgenstrahlung, um neue Kenntnisse zu gewinnen. Für Streuexperimente mit den elektrisch neutralen Teilchen verwendeten sie eine Mischverbindung mit der komplexen chemischen Formel  $\text{Cu}_{2,04}\text{Zn}_{0,91}\text{Sn}_{1,05}\text{S}_{2,08}\text{Se}_{1,92}$ . Von Verbindungen, die neben Kupfer, Schwefel und Selen nur entweder Zink (Zn) oder Zinn (Sn) enthalten, war schon zuvor bekannt, dass sie in der sogenannten Kesterit-Gestalt kristallisieren – einer Struktur, die sich als günstig für den Einsatz in solaren Absorberschichten erwiesen hat. Die besonderen Halbleitereigenschaften dieser Verbindungen werden vor allem durch Defekte wie Fehlordnungen der Atome bestimmt. Doch solche Fehlordnungen waren in einem Kristall mit Anteilen von Kupfer, Zink und Zinn bisher nicht bekannt.

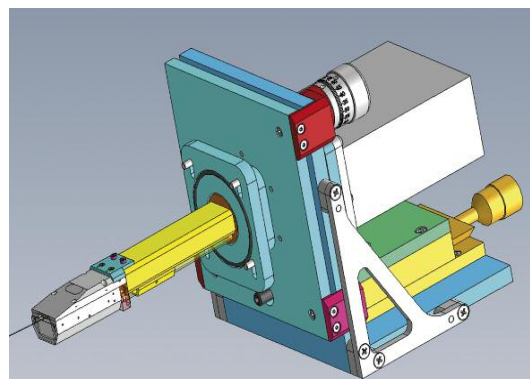
„Mithilfe der Neutronenstreuung gelang es uns nun, das Rätsel zu lösen“, freut sich Galina Gurieva. Das Ergebnis der aufwendigen Messungen: „Auch dieses Material besitzt eine Kesterit-Struktur“ – auch wenn darin ein „gewisses Maß an Unordnung herrscht“, wie die Wissenschaftlerin es nennt. Gemeinsam mit ihren Forscherkollegen gelang es ihr, die kristallinen Defekte zu entdecken, die dafür verantwortlich sind. „Das ist wichtig, um zu verstehen, welche genaue Zusammensetzung das Material haben muss, um sich als Absorberschicht für Dünnschichtszellen mit hohem Wirkungsgrad zu eignen“, betont Gurieva. Ihre Hoffnung: „Künftig werden sich optimal angepasste kristalline Werkstoffe im Labor maßschneidern lassen. Der Entwicklung der Solarzellentechnologie würden sie neuen Schub verleihen.“ *rb*

Phys. Status Solidi C 12, No. 6, 588–591, 2015 (DOI:10.1002/pssc.201400307); Structural characterisation of  $\text{Cu}_{2,04}\text{Zn}_{0,91}\text{Sn}_{1,05}\text{S}_{2,08}\text{Se}_{1,92}$ ; G. Gurieva et. al.

## „MULTISPEKTRAL-BRILLE“ FÜR DAS RASTERELEKTRONENMIKROSKOP

Neuartige **Reflektionszonenplatten** aus dem HZB ermöglichen effizient den präzisen Nachweis von leichten Elementen in Materialproben unter dem Rasterelektronenmikroskop. Dazu bieten sie eine hohe Auflösung im Energiebereich von 50 bis 1120 Elektronenvolt.

**D**ie Rasterelektronenmikroskopie wird genutzt, um Probenoberflächen genau zu vermessen. Mit ihr kann man aber auch die chemische Zusammensetzung dieser Oberflächen bestimmen. Dafür regt der Elektronenstrahl beim Abtasten der Probe die Atome zu Fluoreszenz an.



Das wellenlängendispersive Spektrometer (li.) wird an ein Rasterelektronenmikroskop (Zeiss- EVO 40) angeschlossen.

Diese Strahlung gibt, sofern sie präzise analysiert werden kann, Auskunft über Ort und Art des Elements. Doch die leichten Elemente des Periodensystems wie Lithium, Bor, Beryllium, Kohlenstoff und Stickstoff geben Strahlung in einem Energiebereich ab, der mit energiedispersiven Spektrometern (EDS) nicht hinreichend gut aufgelöst werden kann. Diese Elemente spielen jedoch sowohl in Energie- als auch in funktionalen Materialien eine wichtige Rolle.

### Beugung statt Brechung

Die Lösung für dieses Problem kommt aus dem HZB: Prof. Dr. Alexei Erko, der das Institut für Nanometeroptik und Technologie leitet, hat bereits vor einiger Zeit neuartige Optiken aus sogenannten Reflektionszonenplatten entwickelt und patentieren lassen. Sie bestehen aus Tausenden von konzentrischen oder elliptischen Strukturen und werden inzwischen an Synchrotronquellen wie BESSY II bei der Analyse der Röntgenstrahlung im niedrigen Energiebereich eingesetzt. Strahlung wird durch diese Optiken nicht gebrochen, wie etwa an einer Glaslinse, sondern gebeugt, so-

dass Interferenzen entstehen. „Unsere Kollegen vom IfG-Institute for Scientific Instruments GmbH hatten mich gefragt, ob sich eine Reflektionszonenplatten-Optik nicht auch an einem Elektronenmikroskop nutzen ließe, um dort die Auflösung im niedrigen Energiebereich zu steigern“, sagt Erko.

Auf dieser Grundlage wurden im Institut für angewandte Photonik e.V. ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt sowie in der IfG GmbH ein Anschlussprojekt durchgeführt.

Als Ergebnis der gemeinsamen Anstrengungen konnte nun ein Funktionsmuster eines speziellen wellenlängendispersiven Spektrometers (WDS) realisiert werden. „Mit ihm können am Elektronenmikroskop auch die leichten Elemente sehr präzise nachgewiesen werden“, erklärt

Erko. Das Spektrometer besteht aus einer Anordnung von 17 Reflektionszonenplatten und deckt den Energiebereich von 50 bis 1120 eV ab. Um eine noch höhere Auflösung zu erreichen, stellten die Wissenschaftler eine Optik aus 200 Reflektionszonenplatten her, die im Energiebereich von 100 bis 1000 eV quasi-kontinuierliche Spektralmessungen liefert. „Hohe Auflösungen in diesem Energiebereich sind wichtig, um die leichteren Elemente des Periodensystems nachweisen zu können. Das ist insbesondere für die Forschung an Energiematerialien wie Solarzellen, Batterien, solaren Brennstoffen und Katalysatoren interessant. Es könnte aber auch für die Forschung an magnetischen Materialien und in den Lebenswissenschaften nützlich sein. Wir sind gespannt, für welche Fragestellungen dieses neue Werkzeug nun verwendet wird“, sagt Erko. *arö*

Opt Express, Vol. 22, 2014, 16897-902 (DOI: 10.1364/OE.22.016897): New parallel wavelength-dispersive spectrometer based on scanning electron microscope; A. Erko, A. Firsov, R. Gubzhokov, A. Bjeomikhov, A. Günther, N. Langhoff, M. Bretschneider, Y. Höhn and R. Wedell

## WICHTIGES PUZZLETEIL GEFUNDEN

Ein internationales Forscherteam hat Ladungsdichtemuster in einem besonders **reinen Hochtemperatursupraleiter** identifiziert und ihr Verhalten in Magnetfeldern beobachtet. Das ist ein Schritt auf dem Weg zum besseren Verständnis des widerstandsfreien Stromflusses.

Das Phänomen der Supraleitung beschäftigt Wissenschaftler seit Jahrzehnten und ist recht gut verstanden – zumindest bei den klassischen Supraleitern, die sich in nicht-supraleitendem Zustand wie Metalle verhalten. Die Supraleitung entsteht dabei durch die Paarung von Elektronen zu sogenannten Cooper-Paaren, die mit dem Kristall-Gitter nicht mehr zusammenstoßen und sich daher widerstandsfrei bewegen. Allerdings sind dazu Temperaturen nahe des absoluten Nullpunkts von minus 273 Grad Celsius erforderlich. Auch hinter der Supraleitung in den Cupraten – keramischen Materialien, die diese Eigenschaft bereits bei Temperaturen von minus 140 Grad Celsius zeigen und damit als Hochtemperatursupraleiter (Hoch-TC-Supraleiter) gelten – steht eine Kopplung zwischen Ladungsträgern. In Cupraten sitzen jeweils Kupfer- und Sauerstoff-Atome in Ebenen und bilden quasi-zweidimensionale Strukturen. Führt man Ladungsträger in die Cu-O-Ebenen ein, entsteht nicht einfach ein metallisches Verhalten, sondern es bilden sich komplexe und ungewöhnliche Phasen. Wie sich der supraleitende Zustand aus diesen exotischen Phasen heraus entwickelt, konnte bislang noch nicht erklärt werden.

### Ladungsträger verteilen sich in Streifen

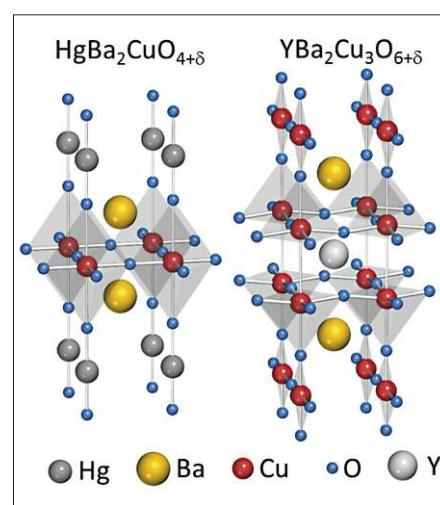
Eines der Phänomene, die in Hoch-Tc-Cupraten beobachtet werden, ist die sogenannte Ladungsordnung. Dabei bilden die Ladungsträger regelmäßige Streifenmuster innerhalb der Cu-O-Ebenen. Dies macht die Ladungsträger weniger beweglich und behindert die Bildung des supraleitenden Zustands. Ladungsordnung steht also im Widerspruch zur Supraleitung. Obwohl sie an einem Cuprat bereits 1995 beobachtet wurde, dauerte es lange, Ladungsordnung auch in anderen Cupraten nachzuweisen. Unter Federführung der University of Minnesota hat nun ein internationales Forschungsteam auch im Cuprat  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_4$  Ladungsordnung nachgewiesen und damit dieses offenbar universelle Verhalten bestätigt. Darüber hinaus fanden die Forscher, dass die Ladungsordnung eng mit einer weiteren Eigenschaft des Materials zusammenhängt: Ein äußeres hohes Magnetfeld zerstört die Supraleitung, dabei kann der elektrische Widerstand mit dem sich ändernden Magnetfeld periodisch steigen und

sinken, es kommt zu Quantenoszillationen. Die Wissenschaftler konnten nun erstmals eine Beziehung zwischen der Periode dieser Quantenoszillationen mit der räumlichen Periode der Ladungsordnung herstellen und damit zwei scheinbar unterschiedliche Phänomene miteinander in Beziehung setzen.

Dies kann nun wiederum in die theoretische Beschreibung der komplexen Phänomene dieser Materialklasse einfließen und aufklären, wie unterschiedliche Effekte zusammenhängen und welche dabei dominieren.

Ein wichtiger Teil der Forschung wurde am XUV-Diffraktometer der UE46\_PGM1-Beamline an BESSY II am HZB durchgeführt, wo die besonders empfindliche Methode der resonanten weichen Röntgenstreuung zur Verfügung steht. „Nach Jahrzehnten der Forschung rätseln wir immer noch über die ungewöhnlichen Zustände in Cupraten und wie sie sich zum Phänomen der Hochtemperatursupraleitung verhalten“, sagt Dr. Eugen Weschke von der Abteilung Quantenphänomene in neuen Materialien am HZB. „Die Beobachtung von Ladungsordnung in diesem besonders reinen Modellsystem fügt dem Gesamtbild ein wichtiges Puzzleteil hinzu. Wir freuen uns, dass wir durch unsere Experimente dazu einen Beitrag leisten konnten.“ *Eugen Weschke/arö*

Nature Communications 5, 5875 (DOI: 10.1038/ncomms6875)  
Charge order and its connection with Fermi-liquid charge transport in a pristine high-Tc cuprate; W. Tabis et al.



Kristallstrukturen in den Cupraten  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_4$  und  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ .

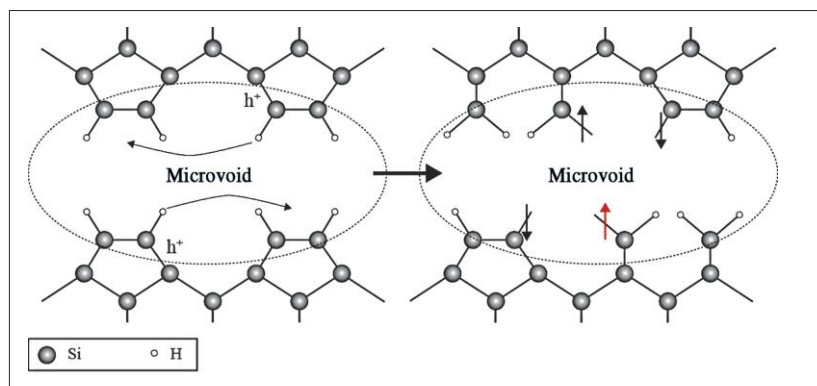
# MAGNETISCHE FINGERABDRÜCKE BRINGEN DEFEKTE IN AMORPHEM SILIZIUM ANS LICHT

Forscher am HZB haben herausgefunden, dass **Silizium winzige Hohlräume** enthält. Diese tragen maßgeblich dazu bei, dass sich die Effizienz von Solarzellen zu Beginn der Nutzung um etwa 10 bis 15 Prozent verschlechtert.

**D**ünnschicht-Solarzellen aus amorphem Silizium gelten als aussichtsreichste Alternative zu den bisher bei der Stromerzeugung aus Sonnenlicht dominierenden Zellen auf der Basis hochreiner Silizium-Wafer. Ein Vorteil der amorphen Silizium-Dünnschicht-Photovoltaik, bei der das lichtaktive Material in einer weniger als ein Tausendstel-Millimeter dünnen Schicht auf ein Glassubstrat aufgetragen wird: Die Herstellung der Zellen ist wesentlich einfacher und kostengünstiger als bei konventionellen kristallinen Silizium-Solarzellen. Von Nachteil ist hingegen der niedrigere Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom. Bedingt durch die Unordnung im amorphen Silizium, leiden die Solarzellen unter dem nach seinen Entdeckern benannten Staebler-Wronski-Effekt. Er bewirkt, dass das Sonnenlicht die Effizienz der Zellen in den ersten 1000 Stunden bis zu 15 Prozent schwinden lässt. Auslöser für diesen unerwünschten Effekt ist die interne Vernichtung von nicht abgeflossener Ladung. Die dabei freiwerdende Energie bildet Defekte im amorphen Netzwerk. Einen vergleichbaren Effekt gibt es in kristallinen Wafer-Solarzellen daher nicht. „Wo die Defekte im Material genau erzeugt werden und ob Nano-Hohlräume hierbei eine Rolle spielen, war bislang ungeklärt“, sagt Matthias Fehr vom Institut für Silizium-Photovoltaik des HZB. Gemeinsam mit Institutskollegen sowie Wissenschaftlern des Forschungszentrums Jülich und der FU Berlin gelang es ihm, der Lösung dieses Rätsels einen bedeutenden Schritt näher zu kommen.

## Magnetische Fingerabdrücke identifiziert

Da die entstehenden Defekte paramagnetische Eigenschaften haben, hinterlassen sie einen charakteristischen magnetischen Fingerabdruck – abhängig von der mikroskopischen Umgebung. Die Forscher konnten ihn mithilfe von Elektronen-Paramagnetischer-Resonanz (EPR)-Spek-



Im Ausgangszustand (links) sind die internen Oberflächen der Hohlräume (Microvoids) mit Wasserstoffatomen abgesättigt, so dass keine Defekte existieren. Licht erzeugt Ladungsträger ( $h^+$ ), die die atomaren Bindungen destabilisieren. Das Aufbrechen von atomaren Bindungen erzeugt Defekte (vertikale Pfeile, rechts), die den Wirkungsgrad von Solarzellen verringern.

roskopie und Elektronen-Spin-Echo (ESE)-Experimenten identifizieren. Mit diesen sehr empfindlichen Methoden gelang es ihnen nachzuweisen, dass Defekte im amorphem Silizium in zwei Gruppen vorkommen: zum einen gleichmäßig verteilt und zum anderen angehäuft an Oberflächen von winzigen Hohlräumen, den sogenannten Microvoids. Diese bilden sich während der Herstellung der Solarzellen in dem Werkstoff. „Wir vermuten, dass sich Cluster aus mehreren Defekten an den Innenwänden dieser Hohlräume anlagern, die nur rund ein bis zwei Nanometer Durchmesser haben“, erklärt Fehr. „Unsere Ergebnisse legen nahe, dass Microvoids höchstwahrscheinlich zur lichtinduzierten Degradation von Dünnschicht-Solarzellen aus amorphem Silizium beitragen“, resümiert Fehr. „Damit sind wir der mikroskopischen Ursache des Effekts wesentlich näher gekommen.“ In neuen Experimenten wollen die Forscher nun weitere Details der atomaren und elektronischen Vorgänge beim Staebler-Wronski-Effekt enthüllen. rb

Phys. Rev. Lett. 112, 066403 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.066403): Metastable defect formation at microvoids identified as a source of light-induced degradation in  $a$ -Si:H; M. Fehr et. al.

## ORGANISCHE SCHICHT ADDIERT DAS LICHT

Jede Solarzelle nutzt nur einen kleinen Teil des Sonnenspektrums. Eine Idee, um mehr „Farben“ des Lichts zu nutzen, ist die Aufkonversion: Dabei wird die Rückseite der Solarzelle mit einem Material beschichtet, das die niederenergetischen Photonen zu höherenergetischen Photonen addiert und in die Solarzelle zurückwirft, wo sie zur Stromerzeugung beitragen. Seit 2011 forschen HZB-Wissenschaftler um Prof. Dr. Klaus Lips mit der University of New South Wales (Australien) an Materialien zur Optimierung der Aufkonversion (siehe Highlight-Bericht 2012).

Eine neue Klasse von Aufkonversions-Materialien basiert auf organischen Molekülen und nutzt die sogenannte Triplett-Triplett-Annihilation (TTA). Dr. Tim Schulze aus dem Team von Klaus Lips hat zusammen mit den australischen Partnern um Prof. Timothy Schmidt nun auch die Lang-

lebigkeit der TTA-Moleküle unter Bestrahlung untersucht – eine extrem kritische Größe bei organischen Materialien. Ihre Ergebnisse zeigen, dass ein TTA-System auch unter Sonneneinstrahlung einige Jahre halten würde. Gleichzeitig präsentieren sie noch deutlich höhere Werte für die TTA-unterstützte Stromausbeute. „Die TTA-Aufkonversion ist eine generische optische Technologie, die nicht nur Dünnschicht-Solarzellen, sondern potenziell auch die photoelektrochemische Produktion von Brennstoffen oder auch organische LEDs verbessern könnte“, erklärt Klaus Lips. Deshalb geht die Zusammenarbeit weiter. arö

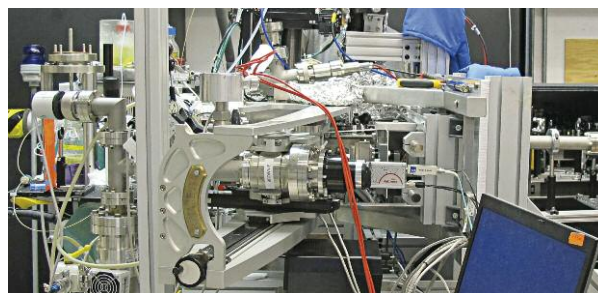
Energy Environ. Sci., 2015, 8, 103-125 (DOI: 10.1039/C4EE02481H): Photochemical upconversion: present status and prospects for its application to solar energy conversion; T. F. Schulze and T. W. Schmidt

## RÄTSELHAFTE DOPPEL-PEAKS ENTSCHLÜSSELT

Wissenschaftler des HZB haben herausgefunden, wie sich mit Röntgen-Spektren (RIXS) die Dynamik der elektronischen und molekularen Struktur in komplexen Flüssigkeiten und Materialien untersuchen lässt.

Wer sich dafür interessiert, wie die elektronische Struktur bestimmter Materialien aussieht, kann diese seit wenigen Jahren mit einer neuen Methode sehr genau untersuchen: RIXS steht dabei für resonante, inelastische Röntgenstreuung mit weichem Röntgenlicht. Bei RIXS wird weiche Röntgenstrahlung an den Molekülen der Probe gestreut. Enthalten diese Proben viele leichte Elemente, zum Beispiel Hydroxid-Gruppen (OH) wie beim Alkohol, dann sind die Spektren manchmal schwer zu interpretieren: Insbesondere zeigen sie aufgespaltene spektrale Formen, sogenannte Doppel-Peaks. Die vorherrschende Interpretation war, dass solche Doppel-Peaks darauf hinweisen, dass die Moleküle innerhalb der Probe zwei unterschiedliche Strukturen ausbilden. Ein Team des HZB hat unterschiedliche Alkohole mit RIXS untersucht und neues Licht auf dieses Thema geworfen.

Im Rahmen ihrer Forschung konnten sie zeigen, dass die Doppel-Peaks hauptsächlich aus den dynamischen Bewegungen resultieren, die die Röntgenstrahlen selbst auslösen, wenn sie an den Molekülen streuen. „Wir fanden, dass die Doppel-Peaks in den RIXS-Spektren von flüssigen Alkoholen vor allem durch die Dynamik der Atomkerne bestimmt wird“, sagt Simon Schreck, Wissenschaftler am Institut für Metho-



Mit RIXS-Spektroskopie lassen sich flüssige oder feste Proben untersuchen. Das HZB-Team kann nun noch mehr Information aus den Spektren gewinnen.

den und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung am HZB und an der Universität Potsdam. Diese Einsicht hilft nun, die oft vertrackten Details der RIXS-Spektren sinnvoll zu interpretieren und erhöht den Nutzen dieser Technik für die Analyse der molekularen und elektronischen Struktur und ihrer Dynamik in komplexen Materialsystemen. Jason Bardi/arö

Struct. Dyn. 1, 054901 (DOI: 10.1063/1.4897981): Dynamics of the OH-group and the electronic structure of liquid alcohols; S. Schreck et al.

## WARPING IN TOPOLOGISCHEN ISOLATOREN

Im POF-Programm „Future Information Technologies FIT“ haben HZB-Physiker um Dr. Jaime Sánchez-Barriga erstmals untersucht, ob die Bewegungsrichtung von **Elektronen in topologischen Isolatoren (TI)** Einfluss auf ihr Verhalten hat. Ihr Ergebnis könnte zu Verbesserungen in der neuen Materialklasse führen, die für neue Bauelemente zukünftiger Informationstechnologien genutzt werden können.

**D**ie Oberflächen von topologischen Isolatoren leiten Strom im Prinzip verlustlos, das heißt Elektronen schaffen es dort, Stöße an Hindernissen zu vermeiden. Dennoch fragen sich Forschungsteams weltweit, warum sich diese Stoßvermeidung nicht in stärkerem Maße im Experiment beobachten lässt. HZB-Physiker um Jaime Sánchez-Barriga haben nun mit Hilfe von Simulationen gezeigt, dass sich die experimentellen Daten zur Energieverteilung der Elektronen besser erklären lassen, wenn sie den Eigendrehimpuls der Elektronen mitberücksichtigen. Sie untersuchten dafür das sogenannte Warming der Fermi-Oberfläche, die die Energieverteilung der Leitungselektronen beschreibt. Mit dem Warp-Antrieb in der Science Fiction Serie Star Trek hat dies allerdings nicht viel zu tun, denn hier wird nicht die Raumzeit verbogen, sondern die Beziehung zwischen Energie und Impuls von Elektronen an der Ober-

fläche topologischer Isolatoren. Allerdings gibt es wie in der Raumzeit einen Lichtkegel, den sogenannten Dirac-Kegel, denn die Elektronen in topologischen Isolatoren verhalten sich annähernd wie Licht.

### Elektronengeschwindigkeit hängt von der Richtung ab

In einem idealen Dirac-Kegel bewegen sich die Elektronen gleich schnell in alle Richtungen, so wie auch ein Ball auf einer Ebene, Windstille vorausgesetzt, in alle Himmelsrichtungen gleich schnell rollen würde. Für das Material Bismutellurid ist aber bekannt, dass die Elektronengeschwindigkeit sehr stark von der Richtung abhängt. Sánchez-Barriga und seine Mitarbeiter fanden nun heraus, dass diese Abhängigkeit etwas anders ist als vermutet. Dies bedeutet, dass der Dirac-Kegel nicht nach innen sondern nach außen ausgebeult ist. Und obwohl Elektronen an der Oberfläche

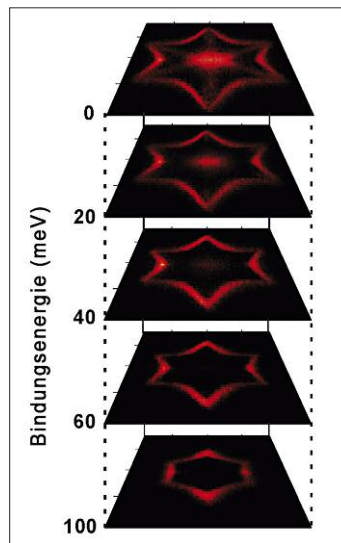
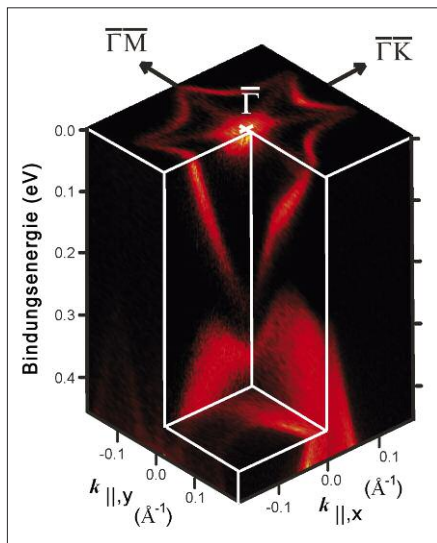
## DAS DFG-SCHWERPUNKTPROGRAMM TOPOLOGISCHE ISOLATOREN

Die Entdeckungen des Quanten-Spin-Hall-Effekts und der topologischen Isolatoren (TI) haben eine neue Materialklasse in zwei beziehungsweise drei Dimensionen begründet. Topologische Isolatoren sind nur in ihrem Inneren Isolatoren und weisen elektrisch leitende, topologisch geschützte Oberflächenzustände auf. Derzeit ist die Zahl der Materialien überschaubar, für die die elektronische Bandstruktur eines TI nachgewiesen wurde, und nur sehr wenige Systeme zeigen experimentell nachweisbare Oberflächenzustände, obwohl die Zahl der vorhergesagten TI-Materialien beständig steigt. Das seit 2013 laufende und von Prof. Dr. Oliver Rader geleitete Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) soll daher einen wesentlichen Fortschritt durch die Bearbeitung von drei Aufgabengebieten herbeiführen: Verbesserung existierender TI-Materialien, Erforschung grundlegender Eigenschaften und Bauelementstrukturen und Entdeckung neuer Materialien und Konzepte. Dazu führt das Schwerpunktprogramm die deutschen For-

scherguppen auf dem Gebiet der zwei- und dreidimensionalen TI zusammen, insbesondere experimentell und theoretisch arbeitende Gruppen.

Die momentan verfügbaren Materialien sollen verbessert werden, um Anwendungen bei Raumtemperatur unter Mitwirkung des ein- beziehungsweise zweidimensionalen Oberflächenzustands zu ermöglichen. Hierzu sind Untersuchungen des Wachstums und der geometrischen und elektronischen Struktur erforderlich. Die grundlegenden Eigenschaften der TI führen zu vielen außergewöhnlichen elektronischen Merkmalen wie der verbotenen Rückstreuung. Deren Untersuchung ist wesentlich, um Bauelementstrukturen und Messtechniken, insbesondere für spinabhängige Transportphänomene, zu entwickeln, die in zukünftigen elektronischen Bauteilen verwendet werden können. Neue Materialien wie beispielsweise Oxide können die Beschränkungen gegenwärtig bekannter TI-Materialien überwinden helfen sowie weitere neue Eigenschaften mit sich bringen.

cn



Beide Abbildungen zeigen experimentelle Daten zum „Dirac-Kegel“. Deutlich erkennbar sind die Ausbeulung nach außen sowie die Verbreiterung der Kegelwände durch Stöße der Leitungselektronen mit Hindernissen im realen, nicht-idealen, topologischen Isolator Bismutellurid.

von idealen topologischen Isolatoren keinerlei Stöße mit Hindernissen erleiden sollten, zeigen sich im Experiment diese Stöße durchaus: der Dirac-Konus erscheint verwaschen und bekommt dickere Wände.

Sánchez-Barriga und Mitarbeiter fanden heraus, dass diese Verbreiterung in dem verbeulten Dirac-Konus von Bismutellurid ebenfalls von der Richtung abhängt. Erst wenn man diese Abhängigkeit erklären kann, lassen sich auch die Grenzen des verlustlosen Stromtransports besser verstehen. Hierzu ist jedoch noch viel Detailarbeit nötig. Zunächst muss ausgeschlossen werden, dass nicht die unterschiedliche Geschwindigkeit an sich, also das Warping, das unterschiedliche Stoßverhalten erzeugt. Nach dem Motto: ein schnellerer Ball gerät eher aus der Bahn.

### Elektronenspins beeinflussen das Verhalten

Die naheliegendste Erklärung wäre das sogenannte Nesting, ein Zustand, der nur unzureichend mit „Verschachtelung“ beschrieben werden kann. Das Nesting eines verbeulten Dirac-Konus ist hoch, wenn sich möglichst viele Umrisslinien parallel gegenüber stehen. Das ist bei einem Quadrat oder Sechseck maximal der Fall, bei einem Kreis kaum und bei einem Dreieck überhaupt nicht.

Die Berliner Wissenschaftler konnten ihre Ergebnisse nicht mit dem Nesting in Einklang bringen. Also suchten sie nach bisher übersehenen Faktoren und betrachteten den Spin, die Eigendrehachse der Elektronen. Um bei dem Bild des getretenen Balles zu bleiben: „Beim Bismutellurid rollt der Ball nicht nur schneller, wenn ich ihn nach Norden trete als nach Osten. Nur nach Osten rollt er normal, nach Norden kann man nicht mehr von Rollen sprechen, sondern seine Eigendrehachse zeigt nun ein wenig zum Himmel wie bei einem angeschnittenen Schuss beim Fußball“, erklärt Jaime Sánchez-Barriga. Die Forscher haben hierzu Simulationen durchgeführt und konnten bei Berücksichtigung der Eigendrehachse die experimentellen Ergebnisse reproduzieren.

### Neue Möglichkeiten mit BESSY-VSR

Die Verluste durch Stöße lassen sich auch als Lebensdauer der Elektronen auffassen, die hier offenbar von der Richtung abhängt. Diese dynamischen Effekte laufen auf extrem kurzer Zeitskala ab und sollen als nächstes mit expliziter Zeitauflösung untersucht werden. Perspektivisch wird diese Forschung enorm von den zukünftigen Möglichkeiten eines BESSY-VSR profitieren. Die Experimente wurden im Rahmen der Helmholtz-Russia Joint Research Group von Andrei Varykhalov durchgeführt und sind Teil des DFG-Schwerpunktprogramms „Topologische Isolatoren“, das von Prof. Dr. Oliver Rader koordiniert wird. arö

Phys. Rev. B 90, 195413 (DOI: 10.1103/PhysRevB.90.195413):

Anisotropic effect of warping on the lifetime broadening of topological surface states in angle-resolved photoemission from  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ; J. Sánchez-Barriga, M. R. Scholz, E. Golias, E. Rienks, D. Marchenko, A. Varykhalov, L. V. Yashina and O. Rader

### ZUSAMMENGEFASST

- HZB-Physiker haben den Einfluss der Bewegungsrichtung von Elektronen in topologischen Isolatoren (TI) auf deren Verhalten untersucht.
- Dabei identifizierten sie Richtungen, in denen die Elektronen sehr viel anfälliger für Streuverluste sind und daher den Strom schlechter leiten.
- Um ihr Ergebnis zu erklären, bezogen sie erstmals auch den Spin der Elektronen ein und stellten damit eine vorherrschende Vorstellung in Frage.
- Das Ergebnis könnte die Forschung an topologischen Isolatoren beflügeln, insbesondere wenn in Zukunft durch BESSY-VSR deutlich kürzere Lichtpulse zur Verfügung stehen, um die Dynamik der Elektronen zu untersuchen.

## IM TANDEM WASSERSTOFF ERZEUGEN

Im Rahmen der Programmorientierten Forschung am HZB gelang es Wissenschaftlern um Prof. Roel van de Krol, Leiter des Instituts für Solare Brennstoffe, zusammen mit Forschern der Technischen Universität Delft neuartige Bismutvanadiumoxid-Schichten in verschiedenen Bauelementen zur **Gewinnung von Wasserstoff** zu nutzen.

**W**asserstoff kann durch die Spaltung von Wasser mithilfe von elektrischem Strom gewonnen werden. Einen besonders einfachen Weg eröffnen photo-elektrochemische Zellen, bei denen Strom aus Sonnenlicht direkt zum Zerlegen von Wasser-Molekülen dient. Das gelingt durch den Einsatz von Tandemzellen – einer Kombination von Solarzellen, die unterschiedliche spektrale Anteile aus dem Sonnenlicht nutzen und in elektrische Energie verwandeln. Als Materialien für Elektroden, an denen die Spaltung des Wassers stattfindet, eignen sich Metalloxide wie Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), Eisenoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) und Bismutvanadiumoxid ( $\text{BiVO}_4$ ).

Das Team um Prof. Roel van de Krol kombinierte bismuthaltige, dünne Schichten mit einer mikromorphen Silizium-Solarzelle ( $\alpha\text{-Si}/\mu\text{c-Si}$ ), die einen blauen und einem roten Lichtabsorber in sich vereint. Mit dieser Tandemzelle gelang es den Forschern, einen neuen Wirkungsgradrekord bei der solaren Wasserstofferzeugung aufzustellen: 5,2 Prozent der Energie des Sonnenlichts konnten sie in Wasserstoff umwandeln. Dazu dopten sie das  $\text{BiVO}_4$  mit Wolfram-Atomen in einer bestimmten Dichteverteilung und brachten die Elektrode auf ein Substrat mit strukturierter Oberfläche auf, die das Sonnenlicht für die Stromgewinnung einfiel.

In einem anderen Projekt arbeiteten die HZB-Forscher mit einem Team der École polytechnique fédérale in Lausanne (EPFL) zusammen. Auch hier stand eine Photoelektrode aus  $\text{BiVO}_4$  im Mittelpunkt. Die Forscher kombinierten sie mit einer Gegenelektrode aus Kupferoxid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) zu einem Tandemsystem, das ausschließlich aus Oxidmaterialien bestand. Theoretisch lässt sich damit solarer Wasserstoff mit



Wasserstoff gilt als hervorragendes Speicher- und Transportmedium für Energie, die aus Sonnenlicht gewonnen wurde. Automobilhersteller wie BMW arbeiten an entsprechenden Fahrzeugen, die mit Wasserstoff betrieben werden können.

einer Effizienz von bis zu acht Prozent gewinnen. In Experimenten belegte das Team, dass die Kombination aus  $\text{BiVO}_4$  und  $\text{Cu}_2\text{O}$  grundsätzlich zur Spaltung von Wasser geeignet ist, wenn auch bislang nur mit einem Wirkungsgrad von einem Prozent. Allerdings löste sich das Katalysatormaterial, das die Forscher zur Unterstützung der chemischen Reaktionen in die Zelle integriert hatten, recht schnell auf. „Doch mit einem alternativen Katalysator werden wir diese Instabilität überwinden können“, ist Roel van de Krol überzeugt. *rb*

ChemSusChem 2014, 7, 2832 – 2838 (DOI: 10.1002/cssc.201402456): Efficient Water-Splitting Device Based on a Bismuth Vanadate Photoanode and Thin-Film Silicon Solar Cells; L. Han et. al. and J. Phys. Chem. C 2014, 118, 16959–16966 (DOI: 10.1021/jp500441h): A Bismuth Vanadate–Cuprous Oxide Tandem Cell for Overall Solar Water Splitting; P. Bornoz et. al.

### TITANDIOXID VERLANGSAMT UNERWÜNSCHTE REKOMBINATION

Der Wirkungsgrad von Solarzellen aus Perowskit ließ sich in wenigen Jahren von 3 auf über 16 Prozent steigern. Doch die Vorgänge in den Zellen sind noch kaum verstanden. Forscher an der EPFL und am HZB-Institut für Solare Brennstoffe konnten mit zeitaufgelöster Spektroskopie zwei zentrale Prozesse aufklären: Die für die Stromerzeugung entscheidende Ladungstrennung durch das Sonnenlicht läuft stets in weniger als einer Pikosekunde ab. Bei der Rekombination – einem unerwünschten Vorgang, der den Wirkungsgrad vermindert – spielt das Material eine wichtige Rolle: Bei Titandioxid verläuft sie deutlich langsamer als bei Aluminiumtrioxid. Diese Erkenntnis hilft, gezielt bessere Solarzellen zu designen.



# SCHÄRFER SEHEN MIT RÖNTGENLICHT

HZB-Physiker haben ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe zukünftig die Auflösung in der Röntgenmikroskopie deutlich erhöht und ein **Vielfaches des Röntgenlichtes** für die Abbildung genutzt werden kann.

In der Mikroskopie begrenzt die Wellenlänge des Lichts die Auflösung. Sichtbares Licht kann Strukturen im Bereich von einem viertel Mikrometer voneinander trennen, während das deutlich kurzwelligere Röntgenlicht im Prinzip Strukturen bis in den Bereich von wenigen Nanometern auflösen kann. Zudem dringt Röntgenlicht auch tiefer in die Proben ein, sodass auch innere Strukturen von dreidimensionalen Proben untersucht werden können. Doch während Licht im sichtbaren Bereich durch Brechungslinsen aus Glas gebündelt werden kann, gelingt dies mit weichem Röntgenlicht nicht. Um Röntgenlicht für Abbildungen zu nutzen, arbeitet man daher mit sogenannten Fresnel-Zonenplatten aus konzentrischen Ringen, die aus Metallen wie Nickel oder Gold bestehen. Das Röntgenlicht wird durch die Ringstrukturen gebeugt, wobei sich die Beiträge der verschiedenen Zonen im Fokuspunkt konstruktiv überlagern. So können Fresnel-Zonenplatten wie ein Objektiv Röntgenlicht fokussieren oder in Röntgenmikroskopen eingesetzt werden. Hierbei gibt die kleinste herstellbare Ringbreite die erzielbare Auflösung vor, die bislang bei etwa zehn Nanometern liegt. Eine Steigerung der Auflösung auf weniger als zehn Nanometer wirft fundamentale physikalische wie auch technologische Probleme auf: Zum einen ist es technologisch extrem heraus-

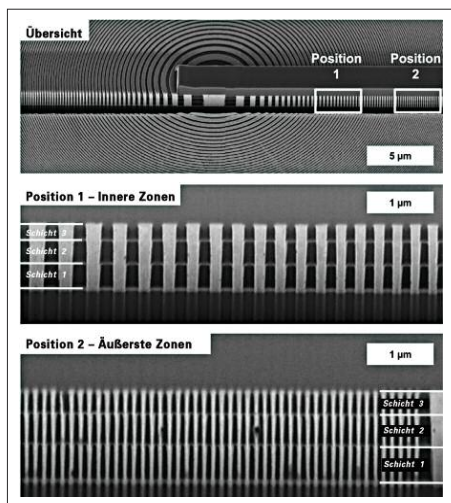
fordernd, quasi periodische Zonenstrukturen mit einer Ringbreite von weniger als zehn Nanometern und einer Strukturhöhe im Bereich einiger 100 Nanometer herzustellen. Zum anderen zeigen theoretische Berechnungen, dass solche Optiken mit abnehmender Ringbreite zu wenig Licht sammeln würden. Dieses Dilemma kann mit Hilfe der „Volumenbeugung“ gelöst werden: Diese erfordert jedoch Zonenstrukturen mit radial wachsenden Kippwinkeln und abnehmenden Zonen-Höhen, das heißt eine dreidimensional strukturierte Röntgenoptik. „Theoretisch könnte so fast 100 Prozent des einfallenden Lichts für die Abbildung genutzt werden“, sagt Dr. Stephan Werner von der Arbeitsgruppe Mikroskopie am HZB-Institut für Weiche Materie und Funktionale Materialien.

## Präzise Stapel von Fresnel-Zonenplatten

Um eine dreidimensionale Röntgenoptik zu erzeugen, haben die HZB-Experten nun drei Fresnel-Zonenplatten nahezu perfekt übereinander positioniert. „Wir haben ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, Schichten aus Fresnel-Zonenplatten mit einer Präzision von weniger als zwei Nanometern übereinander anzuordnen“, sagt Dr. Gerd Schneider, der die Arbeitsgruppe Mikroskopie leitet. Die ersten Messungen zeigen, dass schon diese Strukturen deutlich mehr Licht für die Abbildung nutzen als konventionelle Fresnel-Zonenplatten. „Wenn es uns gelingt, fünf Zonenplatten aufeinander zu positionieren, wird ein Vielfaches des bisher genutzten Röntgenlichts für die Abbildung verwendet“, sagt Werner. Die Röntgenmikroskopie ist eine wichtige Methode für ganz unterschiedliche Fragestellungen, zum Beispiel in den Life Sciences, um Zellorganellen, Viren oder Nanopartikel innerhalb von Zellen zu untersuchen. Sie kann aber auch in der Material- und Energieforschung eingesetzt werden, etwa um Prozesse in neuartigen elektrochemischen Energiespeichern in situ abzubilden. Demnächst können auch die Nutzer an BESSY II von den verbesserten Röntgenoptiken bei der Klärung entsprechender Fragestellungen profitieren. arö

Nano Research 2014, 7(4): 528–535 (DOI: 10.1007/s12274-014-0419-x): Three-dimensional structured on-chip stacked zone plates for nanoscale X-ray imaging with high efficiency; S. Werner et. al.

Unter dem Rasterelektronenmikroskop wird sichtbar, wie genau die drei Fresnel-Zonenplatten übereinander positioniert werden konnten. Mit solchen 3D-Röntgenoptiken lassen sich Auflösung und Lichtstärke deutlich steigern.



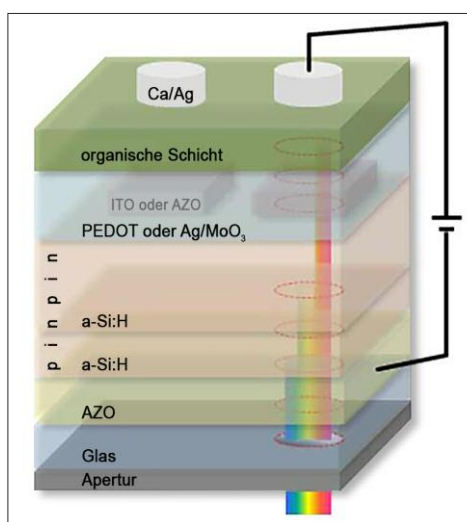
## MAXIMALE EFFIZIENZ, MINIMALER EINSATZ

Zwei Forschungsprojekte am PVcomB konnten den Wirkungsgrad von Dünnschichtsolarzellen verbessern. So erreichte eine neu am PVcomB entwickelte **hybride Dünnschichtsolarzelle einen Rekord-Wirkungsgrad** von mehr als elf Prozent. Außerdem gelang es den Forschern, den Absorber für Solarzellen aus Chalkopyriten zu verbessern.

**B**ei Silizium-Dünnschichtsolarzellen liegt der Silizium-einsatz um den Faktor 10 bis 100 unter dem von klassischen kristallinen Wafern. Am HZB widmet sich eigens das Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik (PVcomB) unter Leitung von Prof. Dr. Rutger Schlatmann der Weiterentwicklung dieser Technologien. Gemeinsam mit einem Team der Universität Potsdam um Prof. Dr. Dieter Neher hat das PVcomB nun eine hybride Stapelzelle entwickelt, die anorganische und organische Materialien kombiniert. Damit kann die Solarzelle nicht nur Photonen im blauen und grünen Bereich des Lichtspektrums nutzen, sondern auch das rote und infrarote Licht der Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandeln. Diese hybride organisch-anorganische Triplezelle erreicht einen Wirkungsgrad von mehr als elf Prozent – eine deutliche Steigerung gegenüber reinen a-Si:H-Solarzellen, deren Wirkungsgrad in der Regel zwischen sieben und acht Prozent liegt. „Die Zelle lässt sich einfach mit etablierten Dünnschichttechnologien herstellen, die industriegängig und auch für die Produktion von großen Folien geeignet sind“, sagt Rutger Schlatmann. Und Dieter Neher fügt an: „Die hohen Absorptionskoeffizienten der a-Si:H-Schichten und die Eigenschaften der organischen Schicht ermöglichen eine aktive Schichtstruktur, die nicht dicker als einen Mikrometer ist. Das ist maximale Effizienz mit minimalem Einsatz.“ Maßgeblich beteiligt an der Entwicklung waren zwei Nachwuchswissenschaftler der beiden beteiligten Institute: Steffen Roland von der Universität Potsdam und Sebastian Neubert vom PVcomB.

### Optimierungsfaktoren für flexible Solarzellen

Als vielversprechende Alternative zum weit verbreiteten kristallinen Silizium gelten Halbleitermaterialien aus Chalkopyrit-Verbindungen wie etwa Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGSe). Am PVcomB haben die Wissenschaftler unter der Koordination von Dr. Christian Kaufmann nun untersucht, welche Faktoren bei der Herstellung der CIGSe-Absorber auf einer Kunststoffolie einen positiven Einfluss auf den Wirkungsgrad haben. Sie brachten dazu den Halbleiter in einer zwei bis drei Mikrometer dün-



Die Silizium-(a-Si:H)-Unterzellen werden auf dem transparenten Frontkontakt (Aluminiumdotiertes Zinkoxid, AZO) abgetrennt, als Rückkontakt dient eine Schicht Indiumzinnoxid (ITO). Die organische Sub-Zelle besitzt einen Frontkontakt aus leitfähigem PEDOT (Poly-3,4-ethylendioxythiophen) und einen metallischen Rückkontakt (Ca/Ag).

nen Schicht auf einer flexiblen Polyimidfolie auf. „Das Ziel der aktuellen Forschungen am PVcomB ist es, die Aspekte, die über die Qualität des CIGSe-Absorbers entscheiden, für niedrigere Temperaturen zu optimieren“, erläutert Projektmitarbeiter Dr. Dieter Greiner. Durch ein besseres Verständnis des CIGSe-Wachstumsprozesses konnten die Forscher den Selenverbrauch beim Herstellungsprozess senken, die Prozesszeit verkürzen und die Qualität der Absorberschicht verbessern. „Außerdem hat die Verringerung der Zinkoxid-Schichtdicken im transparenten Frontkontakt dazu beigetragen, den Wirkungsgrad auf 17,9 Prozent zu erhöhen“, sagt Greiner. Die Dünnschicht-Solarzellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-Verbindungen sind also nicht nur potenziell günstiger als solche aus polykristallinem Silizium, sondern auch in Sachen Wirkungsgrad könnten sie in Zukunft ihre Schwestern überholen. *tm/arö*

Adv. Mater., 27: 1262–1267. (DOI:10.1002/adma.201404698): Hybrid Organic/Inorganic Thin-Film Multijunction Solar Cells Exceeding 11 percent Power Conversion Efficiency: S. Roland et. al. und Präsentation auf der 42. IEEE Photovoltaics Specialists Conference: Optimizing the Growth Path for Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Thin Films Co-Evaporated at low Temperatures on Flexible Polyimide Film; D. Greiner

## RÖNTGENBLICK IN DIE ELEKTROCHEMISCHE ZELLE

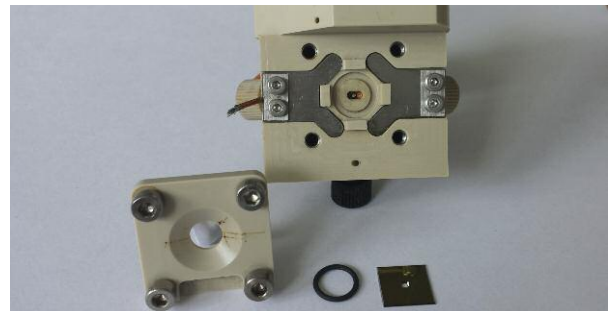
Dr. Kathrin Aziz-Lange vom Institut für Solare Brennstoffe hat gemeinsam mit ihrem Team am HZB eine **neuartige Messzelle** entwickelt. In ihr können elektrochemische und katalytische Prozesse mit Röntgenspektroskopie im weichen Röntgenlicht untersucht werden.

**K**atalysatoren, die elektrochemische Reaktionen befeuern, spielen eine wichtige Rolle für die Leistungsfähigkeit von Batterien, Brennstoffzellen und Solarzellen. Um ihre Funktion optimieren zu können, müssen Forscher möglichst detailliert die elektronische Struktur der beteiligten Materialien kennen. Warum und unter welchen Bedingungen entstehen chemische Bindungen oder brechen wieder auf? Ein ideales Werkzeug, um solche Fragen zu beantworten, ist weiches Röntgenlicht – elektromagnetische Strahlung von etwa 100 bis 2000 Elektronenvolt. Sie erlaubt einen tiefen Blick in das Innenleben von Metallverbindungen, etwa auf Eisen- oder Kobaltbasis, die als Katalysatoren fungieren. „Mit weicher Röntgenstrahlung lassen sich die d-Orbitale der Metalle betrachten, die für die chemischen Bindungen und damit für die katalytische Wirkung entscheidend sind“, sagt Aziz-Lange. Das Problem: Da Röntgenstrahlung vom Sauerstoff und Stickstoff in der Luft absorbiert wird, müssen die Messungen unter Vakuum stattfinden. Zugleich aber finden die elektrochemischen Prozesse an der Grenzfläche zwischen einem Feststoff und einer Elektrolytflüssigkeit statt, während eine Spannung angelegt wird – „zum Beispiel wenn es um Materialien geht, die Wasser spalten“, erklärt Aziz-Lange. „Das mit einer Bestrahlung im Vakuum zu kombinieren, ist eine Herausforderung.“ Um sie zu meistern trennten die Forscher die Probe durch eine nur 100 Nanometer dünne Membran von dem umgebenden Vakuum. Das Röntgenlicht kann die Membran mühelos passieren – ebenso eine dahinter aufgetragene 20 Nanometer dünne Goldschicht. Sie dient als Elektrode. Zwischen ihr und einer Gegenelektrode an der Rückwand der Messzelle lässt sich eine elektrische Spannung anlegen. Auf dem Gold können dann die zu untersuchenden Materialien aus der angrenzenden Elektrolytflüssigkeit abgeschieden werden.

### Zwei Methoden liefern zahlreiche Informationen

Die Durchflusszelle lässt sich im LiXEdrom-Spektrometer am Speicherring BESSY II anbringen, der das Röntgenlicht für Experimente liefert. Detektoren können die Fluoreszenzintensität in Abhängigkeit sowohl von der Energie der anregenden Photonen als auch von der emittierten Photonenenergie detektieren. „Man kann damit jetzt Absorptions- und Emissions-

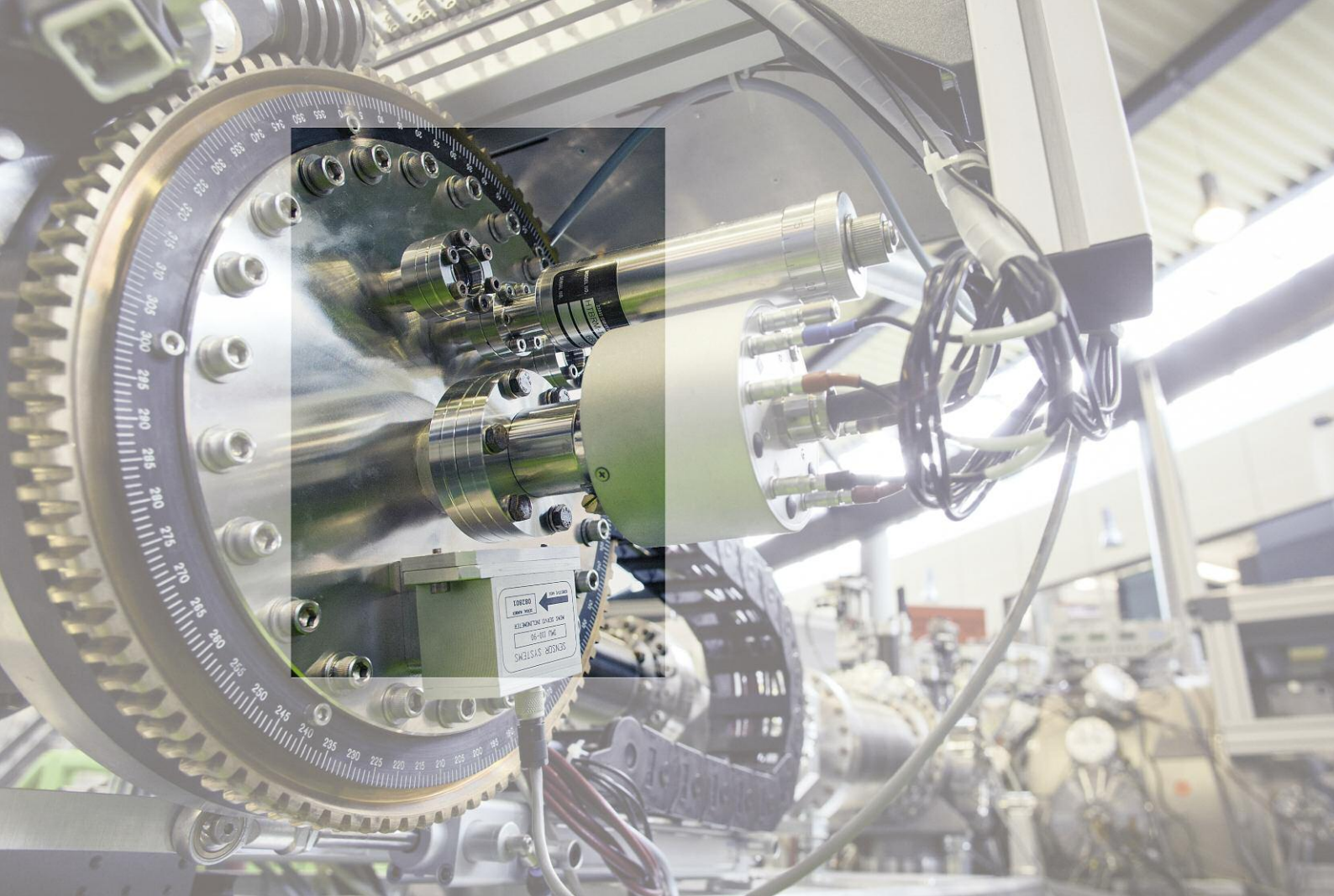
spektroskopie an elektrochemischen Systemen betreiben“, erklärt Aziz-Lange. Beide Methoden liefern eine Fülle an Informationen über die elektronischen Eigenschaften des Materials und chemische Reaktionen, die in der Probe stattfinden. „Durch inelastische Röntgenstreuung können wir sogar Informationen über ultraschnelle Prozesse auf der Femtosekundenzeitskala gewinnen“, sagt die Wissenschaftlerin. Dass die Messzelle funktioniert, haben sie und ihr Team an einer Kobaltchlorid-Lösung demonstriert. Diese ließen die Forscher bei angelegter elektrischer Spannung über die Goldoberfläche strömen während sie verfolgten, was geschah. Die Messresultate belegen, dass sich das Kobalt



In der neuen Messzelle des LiXEdroms können jetzt die elektrochemischen Reaktionen an den Grenzflächen von Feststoffen und Flüssigkeiten unter Vakuum mit weicher Röntgenstrahlung untersucht werden.

auf dem Gold abgeschieden hat – ähnlich wie bei der Herstellung von Katalysatorschichten. „In ersten Experimenten an Katalysatoren für die Wasserspaltung haben wir analysiert, wie sich die elektronische Struktur der Materialien in Abhängigkeit von der angelegten Spannung verändert und in welchen Oxidations- und Spinzuständen das Metall vorlag“, berichtet Aziz-Lange. Vom Nutzen ihrer Entwicklung ist sie überzeugt: „Das Interesse an der Apparatur und die Anwendungsmöglichkeiten sind immens.“ Fortan steht sie allen interessierten Wissenschaftlern zur Verfügung. *rb*

Rev. Sci. Instrum. 85, 103120, 2014 (DOI: 10.1063/1.4899063): Electrochemical flowcell for in-situ investigations by soft X-ray absorption and emission spectroscopy; C. Schwanke, R. Golnak, J. Xiao and K. M. Lange



## KOOPERATIONEN

**58 Kooperationen** hat das HZB im Jahr 2014 neu abgeschlossen. Insgesamt lag die Zahl der wissenschaftlichen Kooperationen Ende 2014 bei 249.

Das HZB hat mit der Freien Universität Berlin und dem Zuse Institut Berlin das **Berlin Joint Lab for Optical Simulations for Energy Research (BerOSE)** gegründet. BerOSE ist das mittlerweile zehnte Joint Lab des HZB (siehe Seite 50). Verbunden mit der Etablierung der Joint Labs ist die Nachwuchsförderung durch die gemeinsame Berufung jeweils einer Juniorprofessorin oder eines Juniorprofessors.

Die **Türkisch-Deutsche Universität** in Istanbul wird seit 2014 durch das HZB und die Universität Potsdam unterstützt. Beide Einrichtungen wirken an der Konzeption und Einrichtung zweier Bachelor-Studiengänge am Fachbereich Materialwissenschaften und -technologien sowie beim Lab Design und Instrumentenaufbau mit.

Das HZB richtete im Dezember 2014 das gemeinsame **BER II und BESSY II Nutzertreffen** aus. Mehr als 500 Nutzerinnen und Nutzer der beiden HZB-Großgeräte haben sich dabei über den Stand der technischen Möglichkeiten informiert und über wissenschaftliche Fragen ausgetauscht.

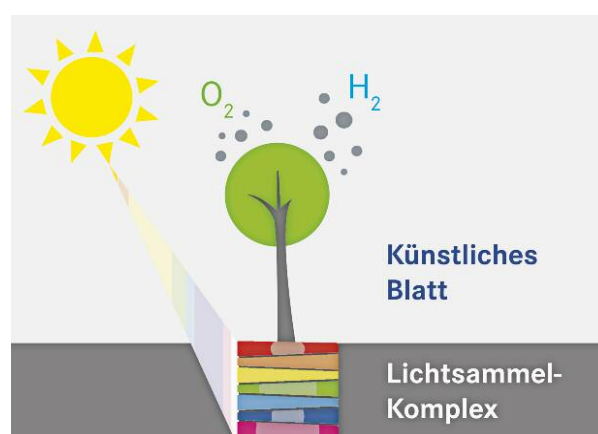
## AUF DEM WEG ZUR KÜNSTLICHEN PHOTOSYNTHESE

Wissenschaftler des HZB haben gemeinsam mit Kollegen der Monash University in Australien die **Elektronenzustände eines Mangan-Katalysators** exakt beschrieben, der Licht direkt in chemische Energie umwandeln kann.

Könnte man das Licht der Sonne ohne großen Aufwand direkt in chemische Energie umwandeln – sämtliche Energiesorgen der Menschheit wären Vergangenheit. Grüne Pflanzen haben dafür einen Mechanismus entwickelt: die Photosynthese. Sie nutzen Sonnenlicht, um aus Wasser und Kohlendioxid energiereiche Substanzen wie Zucker aufzubauen. Doch die Moleküle des sogenannten Oxygen Evolution Centre, wo diese Vorgänge in den Pflanzenzellen stattfinden, sind hochkomplex und sehr empfindlich. Wissenschaftler sind deshalb bestrebt, die katalytischen Vorgänge im Labor in künstlichen Systemen ablaufen zu lassen und diese für den kommerziellen Einsatz zu optimieren. Prof. Dr. Emad Aziz untersucht am HZB-Institut Methoden der Materialentwicklung chemische Katalysatoren zur Wasserspaltung, die zu ähnlicher Leistungsfähigkeit gebracht werden sollen wie die Photosynthese-Enzyme. Mit ihren Experimenten haben die Wissenschaftler herausgefunden, welche Beschaffenheit solche Energiewandler haben müssen. Am besten geeignet sind Mangan-Komplexe, die in eine Nafion-Matrix – einen Teflon-ähnlichen Polymer – eingebettet sind. Die Proben dafür hat das Team um Prof. Leone Spiccia von der School of Chemistry und dem ARC Centre of Excellence for Electromaterials Science an der Monash University in Australien entwickelt und zur Verfügung gestellt: „Beim Kontakt mit Nafion bilden die Mangan-Komplexe Nanopartikel aus Manganoxiden“, sagt Spiccia: „Diese Oxide katalysieren bei Lichteinfall die Spaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff. Der Wasserstoff kann als Energieträger gespeichert werden.“

### Tiefer Einblick in katalytische Prozesse

„Wir wollten herausfinden, welcher der vielen Mangan-Komplexe in Nafion die besten Manganoxide bildet“, erläutert die bei den Versuchen federführende Wissenschaftlerin Munirah Khan von der FU Berlin ihre Aufgabe. Gefördert vom DAAD und von der pakistanischen „Higher Education Commission“ hat Khan die Bildung der Manganoxide und ihre katalytische Wirkung beim HZB mit Hilfe der Röntgenspektroskopie (RIXS) an BESSY II genau untersucht. Mit der resonanten, inelastischen Röntgenstreuung mit weichem Röntgenlicht



Künstliche Katalysatoren ahmen das Prinzip der Photosynthese nach.

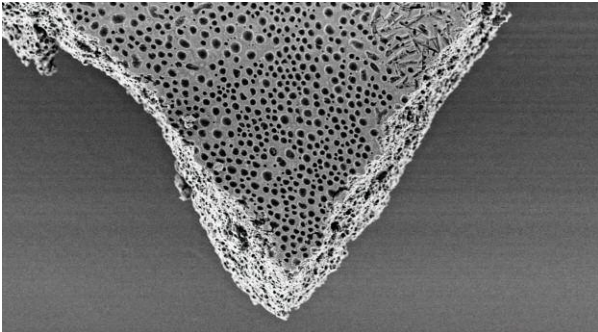
lassen sich die an den Katalyse-Prozessen beteiligten Manganoxide sehr genau untersuchen. Dabei erwies sich der als Mn(III) bezeichnete Komplex als Produzent der Manganoxide, die am effizientesten als Katalysatoren wirken. „Wir entwickeln jetzt unsere Methoden so weiter, dass wir katalytische Prozesse mit solchen neuen Materialien in Bezug auf ihr energetisches und zeitliches Verhalten untersuchen können“, sagt Emad Aziz: „Unser Ziel ist es, den an Syntheseprozessen arbeitenden Chemikern ein genaues Bild dieser Vorgänge zu geben, um so ihre Forschung zur Funktion der Materialien zu unterstützen. So muss man zum Beispiel herausfinden, ob und unter welchen Bedingungen die Materialien für technische Anwendungen genutzt werden können, sodass Licht in chemische Energie umgewandelt wird. Wenn dies gelingt, wären wir auf dem Weg zu einer kontinuierlichen, umweltfreundlichen und kostengünstigen Speicherung von Sonnenenergie ein wesentliches Stück weiter gekommen.“ hs

ChemSUSChem, Vol. 8, 5, 872-877 (DOI: 10.1002/cssc.201403219): Enhancing Catalytic Activity by Narrowing Local Energy Gaps—X-Ray Studies of a Manganese Water Oxidation Catalyst; J. Xiao et. al. bzw. J. Mater. Chem. A, 2014,2, 18199-18203 (DOI: 10.1039/C4TA04185B): Electronic structural insights into efficient MnOx catalysts; M. Khan et. al.

## EINFACHE FORMELN FÜR KOMPLEXES VERHALTEN

In einer Kooperation mit Chemikern des MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Golm hat HZB-Physiker Prof. Dr. Joachim Dzubiella die mechanischen Eigenschaften **biomimetischer Materialien** mit Hilfe rechnergestützter Simulationen analysiert.

**S**eegurken verändern die Steifigkeit ihrer Haut, Venusfliegenfallen rollen ihre Blätter blitzschnell zusammen und Tannenzapfen klappen bei steigender Luftfeuchtigkeit ihre Schuppen zu: Die Natur hat im Laufe der Evolution komplexe Materialien entwickelt, die auf äußere Reize mit mechanischer Bewegung reagieren. Das versuchen Chemiker ebenfalls zu erreichen – mit Erfolg. So ist es einem Team von Wissenschaftlern um Dr. Jiayin Yuan vom Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung gelungen, eine Membran zu synthetisieren, die sich extrem rasch zusammenrollt, wenn sie mit Dämpfen in Berührung kommt. Welche



Dank der in der Rasterelektronenmikroskopie gut erkennbaren Poren und ihrer chemischen Struktur rollt sich die von Wissenschaftlern des MPI entwickelte biomimetische Membran schneller und kräftiger auf als vergleichbare Materialien.

Faktoren dabei für die hohe Geschwindigkeit sorgen, konnte der theoretische Physiker Joachim Dzubiella zeigen. Das Material ist porös wie ein Schwamm und besteht aus untereinander vernetzten Polymeren. Dabei sind die oberen Schichten deutlich enger vernetzt als die unteren. Sobald die Membran bestimmte Gasmoleküle wie Azeton aufnimmt, quillt sie oben stärker auf als unten, sodass sie sich krümmt und zusammenrollt. „Jiayin Yuan und sein Team haben die Phänomene bereits sehr gut beschrieben, darauf konnten wir aufsetzen“, berichtet Dzubiella. Er nahm daher an, dass die Gasmoleküle zunächst durch die Membran hindurchwandern – diffundieren. Die Zeit, die sie benötigen, um die Membran zu durchdringen, hängt sowohl von der Porengröße als auch

von der Dicke der Membran ab: Je größer die Poren sind und je dünner die Membran, desto schneller wandern die Gasmoleküle durch die Schicht. Genau dieses Verhalten haben die Chemiker bereits im Labor beobachtet.

### Dünne Membrane krümmen sich schneller

Außerdem hat Dzubiella gezeigt, warum sich diese Membran regelrecht aufwickelt, wenn sie bedampft wird, also einen besonders kleinen Krümmungsradius besitzt: „Das ist einfache Geometrie“, sagt er, „denn wenn die Membran sehr dünn ist, genügen schon ganz kleine Ausdehnungen der oberen Schichten, um sie stark zu krümmen.“ Binnen einer Zehntelsekunde krümmt sich die Membran zum Kreis, nach einer halben Sekunde ist sie mehrfach aufgerollt. Das ist zehnmal schneller als bei vergleichbaren Materialien. Dzubiella arbeitet zusammen mit Dr. Jan Heyda weiter daran, die Bewegung und Einbettung der Gasmoleküle im Netzwerk der Membran im Computer zu simulieren. Denn auf mikroskopischer Ebene sind die Vorgänge komplex, insbesondere können unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen den Polymermolekülen und den Gasen auftreten. So nimmt das Polymer Netzwerk auch Wassermoleküle aus der Luftfeuchtigkeit auf. Wenn dann die Membran mit Azeton in Kontakt kommt, wandern Azetonmoleküle ins Netzwerk ein und verdrängen die Wassermoleküle. „Häufig zeigen dann erst Simulationen, wie das ablaufen könnte, und welche Prozesse und Faktoren dabei entscheidend sind. Diese Erkenntnisse helfen wiederum den Chemikern, im Labor zielgerichtet den einen oder anderen Parameter zu optimieren um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen“, erklärt Dzubiella. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig: Man könnte etwa Materialien mit solchen Membranen beschichten, die sich zusammenfallen, sobald sie mit bestimmten Molekülen in Kontakt kommen. Wie die Chemiker bereits gezeigt haben, funktioniert das nicht nur mit dem stechend riechenden Azeton, sondern auch mit französischem Parfum. arö

Nature Communications, 5, 4293 (DOI: 10.1038/ncomms5293): An instant multi-responsive porous polymer actuator driven by solvent molecule sorption; Q. Zhao et. al.

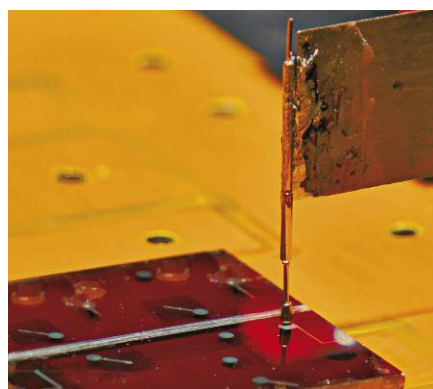
## AUS AMORPH WIRD KRISTALLIN

In Kooperation mit Evonik Industries haben Wissenschaftler des HZB eine flüssige Siliziumverbindung auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft. Aus ihr lassen sich in einfachen Prozessschritten **kristalline Dünnschichtsolarzellen** herstellen.

Der Wirkungsgrad, aber auch die Herstellungskosten von photoaktiven Schichten sind entscheidend für den Erfolg der Solartechnologie. Ein vielversprechendes Verfahren mit geringem Material- und Energieeinsatz besteht darin, die photoaktive Schicht aus einer flüssigen Siliziumverbindung herzustellen. Ein Ausgangsmaterial, das dafür in Frage kommt, ist die vom Spezialchemie-Unternehmen Evonik entwickelte Verbindung Neopentasilan. Experten des HZB haben sie auf ihre Einsatzfähigkeit hin überprüft. In einer ersten Versuchsanordnung hat ein Team um Dr. Tobias Sontheimer einen auf Glas aufgetragenen, einige Mikrometer dünnen Film des Neopentasilans weiterverarbeitet. „Unser Ziel war es, dieses amorphe Silizium in kristallines Silizium zu überführen“, erläutert Dr. Daniel Amkreutz aus dem Projektteam. Dazu nutzten die Wissenschaftler des HZB eine skalierbare, also leicht für größere Substrate erweiterbare Strahlenquelle, mit der sie das Substrat lokal auf 1400 Grad erhitzen konnten. „Die beschleunigten Elektronen erhitzen das Silizium so stark, dass die Schicht lokal schmilzt und anschließend gerichtet erstarrt. Dadurch werden elektrische Verluste minimiert und die Effizienz erhöht“, erläutert Amkreutz das Verfahren, bei dem ein Präparat entsteht, das wie eine Solarzelle funktioniert.

### Leistungsfähige Heterosolarzellen durch Passivierung

In einer zweiten Versuchsanordnung wurde das Neopentasilan als dünner, amorpher Siliziumfilm auf einen monokristallinen Siliziumwafer aufgebracht. Diese sogenannten Heterosolarzellen erreichen eine sehr gute Passivierung und da-



Solarzellen aus flüssig-prozessiertem Silizium – im Bild ein Exemplar aus einer Kooperation von Evonik mit dem Forschungszentrum Jülich – versprechen höhere Wirkungsgrade bei niedrigeren Kosten.

durch eine hohe Leistungsfähigkeit: „Die Passivierung bewirkt, dass nur wenige der durch die Sonnenstrahlung generierten Ladungsträger an der Außenfläche der Solarzelle durch den Prozess der Rekombination wieder verloren gehen“, erläutert HZB-Wissenschaftler Mathias Mews. Während kristallines Silizium am Rand viele freie Bindungen aufweist, an denen Rekombination auftritt, hat amorphes Silizium an den Grenzflächen keine offenen Bindungen. In einer amorph-kristallinen Siliziumsolarzelle schließt die amorphe Schicht daher den Wafer an der Außenseite ab. *tm*

Adv. Mat. Interfaces, 2014, 1, 1300046 (DOI: 10.1002/admi.201300046): Solution-Processed Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells; T. Sontheimer et. al. und Appl. Phys. Lett., 2014, 105, 122113 (DOI: 10.1063/1.4896687): Solution-processed amorphous silicon surface passivation layers; M. Mews et. al.

### DÜNNERE SOLARZELLEN DANK NANOPARTIKELN

Dünnschichtsolarzellen aus Chalkopyrit (CIGS) bestehen teilweise aus seltenen und teuren Elementen wie Indium und Gallium. Macht man die aktive Schicht solcher Zellen zu dünn, sinkt der Wirkungsgrad. Nanostrukturen könnten das Licht im aktiven Material einfangen und so die Effizienz erhöhen. Diese Idee verfolgt Prof. Dr. Martina Schmid, die am HZB die Nachwuchsgruppe NanooptiX leitet und an der

Freien Universität Berlin eine Juniorprofessur hat. Eine Option dafür sind einfache Nanostrukturen aus Metallpartikeln. Dafür untersuchte Martina Schmid mit Kollegen am California Institute of Technology (CalTech) wie unregelmäßig verteilte Silber-Partikel die Lichtausbeute verändern. Ihre Arbeit weist den Weg für das gezielte Design und damit die Nutzung solcher Nanostrukturen. *arö*

## MASSGESCHNEIDERTE UNORDNUNG

Prof. Dr. Silke Christiansen, die am HZB, der FU Berlin und am MPI für die Physik des Lichts forscht, koordiniert das neue DFG-Schwerpunktprogramm „**Tailored Disorder**“. Es soll zu innovativen Lösungen bei Solarzellen, optischen Elementen und Oberflächen beitragen.

**A**uf dem Gebiet der Nano-Optik hat es in den letzten Jahren große Fortschritte gegeben. Bisher wurde ein Höchstmaß an Regelmäßigkeit als Voraussetzung für perfekte Funktionalität angenommen. Dabei liefert die Natur viele Vorlagen für die Nutzung maßgeschneiderter Unordnung auf kleinsten Strukturskalen: So zeigen Schmetterlingsflügel schillernde Farben, während das nahezu identische Ausgangsmaterial bei Käfern der Familie *Cyphochilus* mit



Ob eine Oberfläche – hier ein Schmetterlingsflügel – bunt schillert oder ebenmäßig weiß wirkt, hängt auch von ihrer Nanostrukturierung ab.

einer dreidimensionalen Nano-Architektur zu einer fast perfekt weißen, gleichmäßig streuenden Oberfläche führt. Erst in den vergangenen zwei Jahren werden auch unregelmäßige

Strukturen systematisch auf ihren Nutzen für optische Anwendungen untersucht. Erste Publikationen belegen das enorme Potenzial zufälliger Nanostrukturen, wie etwa das kleinste Spektroskop der Welt, das auf Unordnung basiert. Mit ihm wird Licht in sein Spektrum zerlegt und untersucht. Um systematisch die Möglichkeiten dieser neuen Klasse von Materialien auszuloten, arbeiten im Kernteam des von der HZB-Wissenschaftlerin Prof. Dr. Silke Christiansen koordinierten DFG-Schwerpunktprogramms „Tailored Disorder“ Wissenschaftler aus unterschiedlichen Disziplinen und Einrichtungen zusammen. Sie kommen aus den Fachrichtungen Biologie, Physik und Chemie sowie aus der Informatik und den Materialwissenschaften. Mit dieser vielfältigen Expertise können die theoretische Beschreibung komplexer Systeme, die numerische Simulation, die Herstellung und Modifikation von Materialien mit Hilfe von Nanostrukturierung und die chemische Synthese realisiert werden. Ziel ist es, am Ende maßgeschneiderte technologische Anwendungen in unterschiedlichen Bereichen von der Planung bis zur industriellen Herstellung umzusetzen.

### Neuartige Solarzellen oder Spezial-Lacke

„Beherrschen wir diese neuartigen Materialien, wird das völlig neue Möglichkeiten zur Kontrolle breitbandigen Lichts ergeben, da die Anzahl der Freiheitsgrade mit maßgeschneiderter Unordnung viel höher ist als für geordnete Systeme“, erklärt Silke Christiansen. Die möglichen Anwendungen

### DAS POTENZIAL VON „UNORDNUNG“ AUSLOTEN

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) setzt weiterhin auf sogenannte Schwerpunktprogramme (SPP), um die Forschungsanstrengungen auf vielversprechenden Gebieten zu bündeln. Zu den 16 SSP, die 2015 offiziell an den Start gingen, gehört auch das SPP „Tailored Disorder“, das es den Wissenschaftlern der beteiligten Institute ermöglichen soll, neue Materialien zu entwickeln, die das Prinzip der maßgeschneiderten Unordnung in ihrer Struktur ausnutzen. Das SPP „Tailored Disorder“ wird bis voraussichtlich 2021 mit insgesamt circa zwölf Millionen Euro von der DFG gefördert.

Um die Interessenten an dem Thema besser zu vernetzen, fand im September 2014 ein Kick-off-Meeting mit etwa 65 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler statt. Dabei erläuterte das Programmkomitee um Prof. Christiansen die Struktur des Schwerpunktprogramms, das sich in fünf Themenfelder unterteilt: Natural photonic systems in Biology, Physics of disordered materials, Computational Simulation, Material Science and Engineering sowie Interface Chemistry. Darüber hinaus präsentierten die Teilnehmer ihre Themenideen auf 40 Postern, die im Rahmen von Kurzvorträgen diskutiert wurden. „Das Treffen diente dazu, dass sich die Interessenten kennenlernen und austauschen, um gemeinsam erfolgversprechende Anträge formulieren zu können“, erläuterte Silke Christiansen.

ih



reichen von verbesserten Solarzellen über neuartige optische Elemente bis hin zu speziellen Autolacken. Aber auch in der Grundlagenforschung verspricht man sich neue Erkenntnisse, zum Beispiel zur sogenannten Anderson-Lokalisierung in drei Dimensionen oder zum Verständnis der Eigenschaften

von Zufalls-Lasern. Die Medizin wird von den Ergebnissen des neuen Schwerpunktprogramms ebenfalls profitieren: Denn versteht man die Streueigenschaften von organischen Materialien, wie etwa der menschlichen Haut, wird es auch möglich sein durch sie „hindurchzusehen“. arö

## WARUM ALTERN LITHIUM-IONEN-AKKUS?

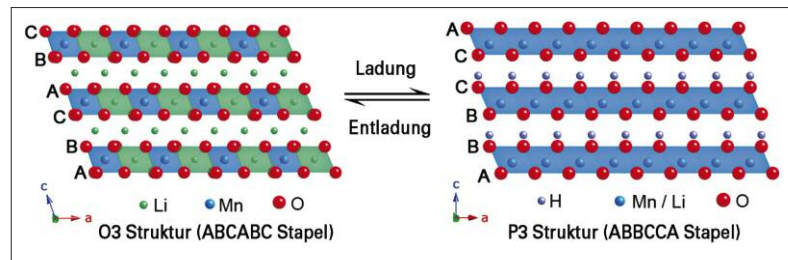
Ein Team von Forschern des HZB und der Universität Münster hat an den beiden Synchrotronquellen BESSY II am HZB und DORIS am DESY die **elektrochemischen Prozesse in Lithium-Ionen-Akkus** untersucht. Dabei fanden sie heraus, warum ihre Kapazität mit jedem Ladevorgang nachlässt.

Wiederaufladbare Lithium-Ionen-Akkus liefern Strom für Handys, Laptops und Kameras. „Sie werden allmählich auch für die Automobilindustrie interessant“, sagt Dr. Jatinkumar Rana vom HZB. Der junge Wissenschaftler und seine Kollegen haben mit der Gruppe um Prof. Dr. Martin Winter von der Universität Münster Lithium-reiche Kathodenmaterialien untersucht, die durch die Summenformel  $(x)\text{Li}_2\text{MnO}_{3+(1-x)}\text{LiMO}_2$  beschrieben werden. Dabei steht „M“ für ein Übergangsmetall wie Mangan, Chrom oder Eisen. Solche Kathodenmaterialien gelten als beste Kandidaten für die nächste Generation von Lithium-Ionen-Akkus. „Sie besitzen im Vergleich zu kommerziellen Kathodenmaterialien eine doppelt so hohe Kapazität und eine hohe Ladegeschwindigkeit. Außerdem enthalten sie weniger seltene und toxische Elemente wie Nickel oder Kobalt, was sie billiger und umweltfreundlicher macht“, sagt Rana.

Doch zu diesen positiven Eigenschaften kommen leider auch unerwünschte Effekte wie das Nachlassen der Batteriespannung im Laufe mehrerer Zyklen, so wie bei herkömmlichen Akkus auch. Außerdem ist nicht ausreichend bekannt, welche Rolle die  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$ -Komponente bei den elektrochemischen Prozessen überhaupt spielt. „Um diese Fragen zu klären, haben wir untersucht, wie die elektrochemischen Prozesse beim Laden und Entladen die atomare Struktur der  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$ -Komponente verändern“, berichtet Rana.

### Verschiedene Ladezyklen untersucht

Die Wissenschaftler untersuchten Proben von  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  während des ersten und des 33. Ladezyklus mit Röntgen-Absorptions-Spektroskopie (XAS) an den Synchrotronquellen BESSY II am HZB und DORIS am DESY in Hamburg. Dabei konnten sie beobachten, was beim Aufladen passierte:



Ursprünglich besitzt das Kathodenmaterial eine ABCABC-Struktur (links). Im Laufe mehrerer Ladezyklen wird diese Ordnung „abgebaut“ – zu ABBCCA (rechts).

Beim ersten Aufladen wanderten Sauerstoffatome aus der Probe ab, außerdem führte bei jedem Ladevorgang der Austausch von Lithium- und Wasserstoff-Ionen zu einer Verformung in den Sauerstoff-Schichten, der sogenannten Scherung. Diese Scherungen werden beim Entladen nicht komplett rückgängig gemacht, sodass die ursprünglich regelmäßige, kristalline Struktur im Lauf mehrerer Zyklen immer ungeordneter wird. Damit konnten die Forscher erstmals experimentell eine Vermutung bestätigen, die in Fachkreisen bereits länger diskutiert wurde: Das Material verliert mit der Zeit die ursprüngliche kristalline Struktur, und die elektrochemische Leistung der Batterie wird schlechter. Die Ergebnisse liefern auch konkrete Hinweise auf die entscheidenden elektrochemischen Prozesse in Lithium-reichen Kathodenmaterialien. „Eine Reihe der bisher untersuchten Materialien zeigt ähnliche strukturelle Veränderungen wie  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$ . Aber inzwischen verstehen wir die elektrochemischen Prozesse besser, sodass wir in Zukunft die Leistung gezielt verbessern können“, hofft Rana. arö

Adv. Energy Mater. 2014, 4, 1300998 (DOI: 10.1002/aenm.201300998): Structural Changes in  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  Cathode Material for Li-Ion Batteries; J. Rana, M. Stan, R. Kloepsch, J. Li, G. Schumacher, E. Welter, I. Zizak, J. Banhart and M. Winter

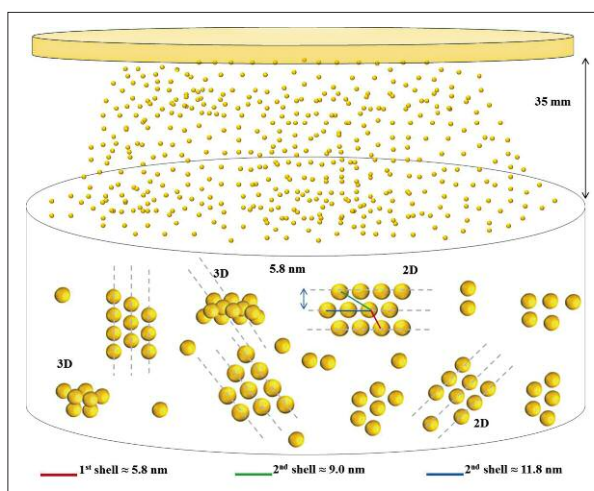
## SELBSTSTÄNDIGE CLUSTERBILDUNG

Forscher des HZB und der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB) haben mit Hilfe von Kleinwinkelstreuung an BESSY II die Bildung von **Gold-Nanoteilchen** in einem Lösungsmittel aus Vitamin B und Harnstoff untersucht. Ihre Ergebnisse sind für die Katalysatorforschung von großem Interesse.

Mit diesem Ergebnis hatten Prof. Dr. Klaus Rademann von der HUB und Dr. Armin Hoell vom HZB nicht gerechnet, als sie die Bildung von Gold-Nanoteilchen in einem Lösungsmittel untersuchten. Anstatt sich gleichmäßig in der Lösung zu verteilen, gruppieren sie sich von selbst zu kleinen Clustern. Dieses ungewöhnliche Verhalten wiesen sie mit Kleinwinkelstreuung an BESSY II nach. Eine Überprüfung am Elektronenmikroskop bestätigte ihren Befund. „Das Besondere an unserem Verfahren ist, dass es sehr einfach ist und mit einem umweltfreundlichen und billigen Lösungsmittel funktioniert“, erklärt Klaus Rademann. Die Clusterbildung ist ein wichtiger chemischer Vorgang, der gezielt für technische Anwendungen genutzt wird. Das Lösungsmittel besteht aus zwei Pulvern, die man eher in der Landwirtschaft vermuten würde als in einem Forschungslabor: das als Hühnerfutterzusatz verwendete Cholin-Chlorid oder Vitamin B sowie Harnstoff (Urea). Vor ein paar Jahren entdeckten britische Kollegen, dass die beiden Pulver vermischt eine transparente Flüssigkeit bilden, die in der Lage ist, Metalloxide und Schwermetalle zu lösen. Über diesem Lösungsmittel brachten die Berliner Forscher nun eine Goldfolie an, aus der sie durch Beschuss mit Edelgasionen einzelne Goldatome herauslösten. Dabei bildeten sich zunächst die Nanoteilchen, die sich im Lösungsmittel verteilen.

### Wachstumsstopp bei Nanoteilchen

Je länger das sogenannte Sputtern, also der Beschuss der Goldfolie dauert, desto größer könnten die Nanoteilchen werden, vermuteten die Wissenschaftler. Doch dies war nicht der Fall: Bei einem Durchmesser von fünf Nanometern hörten die Teilchen auf zu wachsen. Stattdessen bildeten sich bei längerer Sputter-Zeit auch immer mehr Nanoteilchen. Die zweite Überraschung: Diese Nanoteilchen verteilten sich nicht einfach gleichmäßig in der Flüssigkeit, sondern organisierten sich von selbst zu kleinen Grüppchen oder Clustern, die aus bis zu zwölf Nanoteilchen bestehen konnten. Solche Beobachtungen erfordern allerdings eine indirekte und mittelnde Methode: „Mit der Kleinwinkelstreuung an BESSY II konnten wir nicht nur ermitteln, dass die Nanoteilchen alle um die fünf Nanometer im Durchmesser groß sind,



Schematische Darstellung der Selbstorganisation von Clustern aus Gold-Nanoteilchen.

sondern auch ausmessen, welche Abstände sie untereinander haben. Dabei fanden wir dann, dass sie sich zu Clustern anordnen“, erklärt Hoell.

„Um die Messergebnisse zu verstehen, haben wir vorab im Computer durchgespielt, wie sich die Nanoteilchen in der Lösung verteilen könnten und dann die Ergebnisse der Simulation mit den Ergebnissen der Kleinwinkelstreuung verglichen“, erklärt Dr. Vikram Singh Raghuvanshi, der als Postdoktorand an der HU Berlin und am HZB arbeitet. Eine Aufnahme mit dem Kryo-Transmissionselektronen-Mikroskop, die ein Kollege an der HUB anfertigte, bestätigte den Befund. „Mit der Elektronenmikroskopie alleine hätten wir dieses Resultat jedoch nicht erzielen können, da sie immer nur Details und Ausschnitte aus der Probe zeigen kann“, betont Hoell. „Um generelle Trends und Mittelwerte auszumessen, ist die Kleinwinkelstreuung unverzichtbar.“ Dass das besondere Lösungsmittel bei diesem Selbstordnungsprozess eine wichtige Rolle spielt, liegt für die Forscher auf der Hand: Verschiedene Wechselwirkungen zwischen den Ionen des Lösungsmittels und den Gold-Partikeln sorgen dafür, dass die Nanopartikel erstens nur wenige Tausend

Atome stark werden und zweitens sich dann gegenseitig etwas anziehen. Allerdings nur schwach, sodass die kleinen Cluster entstehen. „Wir wissen, dass solche kleinen Cluster aus Nanopartikeln als Katalysatoren für chemische Reaktionen ganz besonders wirkungsvoll sind: Eine mehrfache Verstärkung der Reaktionsgeschwindigkeit nur aufgrund der Anordnung wurde schon nachgewiesen“, sagt Rademann. „Die Forschung daran geht jetzt weiter, denn wir sind davon überzeugt, dass sich solche Nanocluster sehr gut als Katalysatoren eignen, sei es in Brennstoffzellen, bei der

Wasserspaltung mit Sonnenlicht oder für andere technisch wichtige Reaktionen“, erklärt Armin Hoell. *arö*

Langmuir, 2014, 30 (21), pp 6038–6046 (DOI: 10.1021/la500979p): Deep Eutectic Solvents for the Self-Assembly of Gold Nanoparticles: A SAXS, UV-Vis and TEM Investigation; V.S. Raghuvanshi et. al.

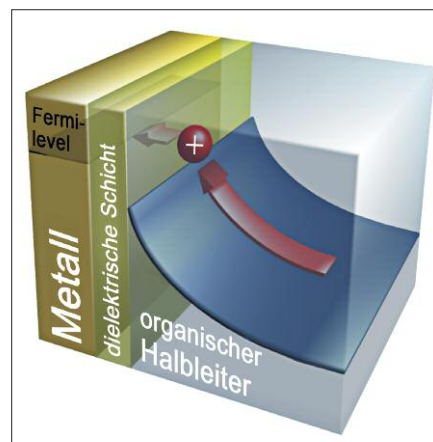
Chem. Commun., 2014, 50, 8693–8696 (DOI: 10.1039/C4CC02588A): Self-assembly of gold nanoparticles on deep eutectic solvent surfaces; V.S. Raghuvanshi, M. Ochmann, F. Polzer, A. Hoell and K. Rademann

## ISOLIERENDE SCHICHT VERBESSERT ORGANISCHE HALBLEITER

HZB-Wissenschaftler Dr. Martin Oehzelt hat in einem Modell beschrieben, wie sich Elektronen an der Grenze zwischen **organischen Halbleitern und anliegenden metallischen Kontakten** verhalten. Seine Arbeit trägt dazu bei, diese modernen Bauelemente noch weiter zu verbessern.

Organische Halbleiter ermöglichen flexible, biegsame Bildschirme, Solarzellen und andere interessante Anwendungen. Ein Problem bei ihrem Einsatz stellt die Grenzfläche zwischen den metallischen Kontakten und dem organischen Halbleitermaterial dar, an der unerwünschte Stromverluste auftreten. Bislang gab es viele unterschiedliche Ansätze, um diesen Übergang zu beschreiben. Oehzelt hat sie nun vereinheitlicht und ein universelles Modell entwickelt, das vor allem auf dem elektrostatischen Potenzial basiert, das von den Ladungsträgern im Metall und im organischen Halbleiter hervorgerufen wird.

Das Modell zeigt, worauf es ankommt, wenn die Ladungsverluste zwischen Metall und organischem Halbleiter minimiert werden sollen. „Ich habe die Auswirkungen der Ladungsträgerverteilung auf die elektronischen Zustände an der Grenzfläche berechnet, und wie deren Veränderung auf die Ladungsträgerverteilung zurückwirkt“, erklärt er. „Für mich war überraschend, dass hier die quantenphysikalische Ebene gar nicht so stark in Erscheinung tritt. Die elektrostatischen Effekte überwiegen. Das sehen wir auch daran, wie gut das Modell zu den Messergebnissen passt“, erläutert Oehzelt. Am Beispiel von Pentazen, einem gebräuchlichen organischen Halbleiter, hat er die Vorhersagen des Modells zu den Grenzflächenverlusten quantitativ überprüft. Dabei entscheidet die Energieverteilung der elektronischen Zustände im organischen Halbleiter darüber, welche Mindestbarriere die Ladungsträger beim Übergang vom oder in das Metall überwinden müssen. Die Berechnung zeigt, dass



Eine ultradünne dielektrische Schicht kann den Übergang der Ladungsträger (rote „Löcher“) vom organischen Halbleiter in das Metall erleichtern. Sie schafft eine kontinuierliche Verbindung zwischen den Energieniveaus im organischen Material (blau) und im Metall (schwarz, Fermi-level). Dadurch gelingt ein guter elektrischer Kontakt.

auch die Form dieser Energiebarrieren variieren kann – von einer Stufe bis hin zu langsam ansteigenden Kurven, die zu wesentlich weniger Verlusten führen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass man zwischen dem organischen Halbleiter und dem Metall eine hauchdünne isolierende Schicht einfügt. Entgegen der Erwartung wird dadurch der elektrische Kontakt verbessert. Die Ergebnisse könnten es deutlich erleichtern, Grenzflächen und Kontakte zu optimieren und effizientere organische Halbleiter zu entwickeln. *arö*

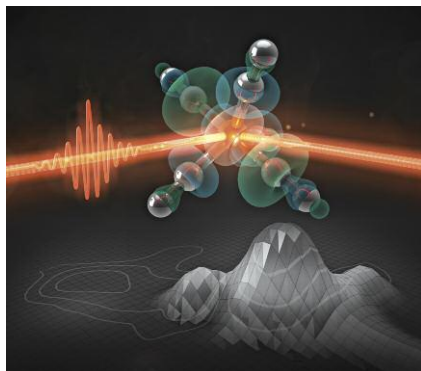
Nature Communications, 5, 4174 (DOI:10.1038/ncomms5174): Organic semiconductor density of states controls the energy level alignment at electrode interfaces; M. Oehzelt, N. Koch and G. Heimel

# FEMTO-SCHNAPPSCHÜSSE VON DER REAKTIONSKINETIK

Ein internationales Forscherteam hat detailliert entschlüsselt, wie Licht auf die Außenelektronen einer Metallkomplexverbindung wirkt und die Verbindung als Katalysator aktiviert. Dies könnte zur Entwicklung besserer **chemischer Speicher für Sonnenlicht** beitragen.

**A**lle Pflanzen speichern mit Hilfe einer Metallkomplexverbindung Sonnenenergie in Form von Kohlenwasserstoffen. Auch für die Energieversorgung wäre es ideal, wenn Sonnenlicht chemisch speicherbar wäre. Doch dafür müsste man besser verstehen, was genau geschieht, wenn Photonen auf Moleküle treffen. Die wesentlichen Prozesse laufen dabei auf Zeitskalen von nur wenigen Hundert Femtosekunden ( $1 \text{ Femtosekunde} = 10^{-15} \text{ s}$ ) ab. Nun ist es einem Forschungsteam um Dr. Philippe Wernet erstmals gelungen, die Entstehung der chemischen Bindungen, die sich während des Speichervorgangs ultraschnell aufbauen, auf der Skala von Elektronenorbitalen zu verfolgen.

Nachdem eine Carbonylgruppe abgetrennt wurde, wirkt das verbleibende Eisentetracarbonyl-Molekül als Katalysator. Die Wissenschaftler verfolgten die Entwicklung der äußeren Orbitale mit einem Röntgenlaser und interpretierten die so erhaltenen Energielandkarten mit quantenchemischen Berechnungen.



Ihre Messungen führten die Forscher an Eisenpentacarbonyl ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ) durch, einer Metallkomplexverbindung, in der ein Eisen-Atom von fünf Kohlenmonoxid-Gruppen umgeben ist. Die gelbe Flüssigkeit wird als Grundstoff für die Synthese von metallorganischen Verbindungen gebraucht und kommt auch als Katalysator in Frage.  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  besitzt 18 äußere Elektronen, sogenannte Valenzelektronen, und ist damit inert wie ein Edelgas. Durch Licht lässt sich das Molekül „aktivieren“: Photonen trennen dabei eine CO-Gruppe und damit zwei äußere Elektronen ab, sodass das verbleibende  $\text{Fe}(\text{CO})_4$ -Molekül nur noch 16 Valenzelektronen besitzt und reaktiv wird. So aktiviert wird das Molekül zum Beispiel eingesetzt, um Methan zu Methanol umzuwandeln. Reaktiv ist die Verbindung aber nur, solange die Valenzelektronen in einer

bestimmten Konfiguration sind, dem Singlett-Zustand. Sind sie dagegen im Triplett-Zustand, bleibt das Molekül inert und geht keine weiteren Verbindungen ein. Mit dem Experiment konnte diese Gesetzmäßigkeit nun auch überprüft werden.

## Ein Jahr Aufbau, 60 Stunden Messzeit, vier Jahre Analyse

An dem Forschungsprojekt waren 21 Forscherinnen und Forscher aus elf Einrichtungen beteiligt, viele davon im Rahmen des Helmholtz Virtuellen Instituts „Dynamic Pathways in Multidimensional Landscapes“. Das Team um Prof. Dr. Alexander Föhlisch brachte seine Expertise in zeitaufgelöster, resonanter inelastischer Röntgenstreuung ein. Doktorand Kristjan Kunnus und Privatdozent Philippe Wernet bauten das Experiment zusammen mit der Gruppe um Prof. Dr. Simone Techert auf. Nach eingehenden Tests an BESSY II wurde der gesamte experimentelle Aufbau verschifft und am Röntgen-Freie-Elektronen-Laser LCLS am SLAC National Laboratory in Kalifornien wieder aufgebaut. „Wir haben Ende 2009 mit dem Aufbau des Experiments begonnen und konnten im Herbst 2010 circa 60 Stunden messen“, erinnert sich Wernet. In den folgenden vier Jahren arbeiteten Michael Odelius und seine Doktorandin Ida Josefsson, Uni Stockholm, daran, das Molekül und seine Anregungszustände mit quantentheoretischen Berechnungen zu modellieren. Dies ermöglichte detaillierte Aussagen zu den chemischen Wechselwirkungen innerhalb des Systems. Die Ergebnisse zeigen auch, inwieweit die Spinzustände der Elektronen darüber bestimmen, ob Moleküle durch Sonnenlicht in angeregte Zustände übergehen oder nicht. Dies ist eine wichtige Frage, da sich gezeigt hat, dass ultraschnelle Übergänge zwischen Singlett- und Triplett-Zuständen vorkommen. Die Messungen sind ein erster Schritt hin zur Entwicklung einer multidimensionalen Röntgenspektroskopie mit gepulsten Röntgenquellen, um die chemische Dynamik an Molekülen im Detail zu untersuchen. „Wenn wir die Reaktionskinetik genau verstehen, können wir gewünschte Reaktionen begünstigen, zum Beispiel, um Sonnenenergie chemisch zu speichern“, so Wernet. arö

Nature, 520, 78-81 (DOI: 10.1038/nature14296): Orbital-specific mapping of the ligand exchange dynamics of  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  in solution; P. Wernet et. al.

## VERBRENNUNG AM KATALYSATOR BEOBACHTET

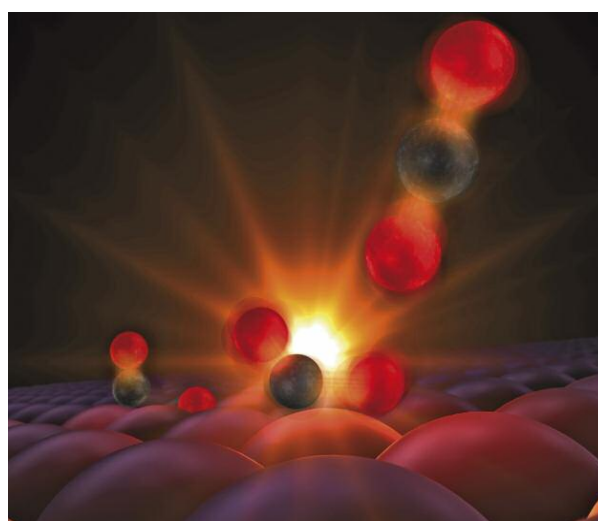
Ein internationales Forschungsteam unter Beteiligung des HZB hat erstmals die flüchtigen Zwischenstufen beobachtet, die sich exakt in dem Augenblick bilden, wenn Kohlenmonoxid auf einer heißen **Ruthenium-Oberfläche zu Kohlendioxid oxidiert**. Die Erkenntnisse sind wichtig für die Entwicklung leistungsfähigerer Katalysatoren – beispielsweise für Autos.

**W**enn Moleküle miteinander reagieren, um eine neue chemische Bindung einzugehen, muss dazu eine Energiebarriere überwunden werden. Das ist so als würde man Kugeln einen Berg hinaufschubsen: Ein Teil der Kugeln rollt nur einen Teil des Berges hinauf, ehe sie ohne zu reagieren wieder herunterrollen. Manche Kugeln schaffen es bis auf den Gipfel des Berges und treten in einen neuen Zustand über. Moleküle genau im Augenblick der Überwindung der Energiebarriere und damit bei der Entstehung einer neuen chemischen Verbindung zu beobachten – das heißt, wenn die Kugeln auf der Spitze des Berges angekommen sind – galt bislang als unmöglich. „Weil sich zu jedem beliebigen Moment einer Reaktion so wenige Moleküle genau in diesem Übergangszustand befinden, hat niemand damit gerechnet, dass wir jemals in der Lage wären, ihn zu beobachten“, sagt Prof. Anders Nilsson.

Doch genau dies ist den Wissenschaftlern um Nilsson gelungen. Der Professor am SLAC/Stanford SUNCAT Center for Interface Science and Catalysis und an der Stockholm University hat das Forschungsprojekt geleitet. Ein Team vom Institut für Methoden und Instrumentierung für Forschung mit Synchrotronstrahlung am HZB hat zu diesem Forschungsprojekt beigetragen. Die fruchtbare Zusammenarbeit haben unter anderem die Volkswagen-Stiftung sowie das Helmholtz Virtual Institute „Dynamic Pathways in Multidimensional Landscapes“ ermöglicht.

### Nur wenige stabile $\text{CO}_2$ -Moleküle

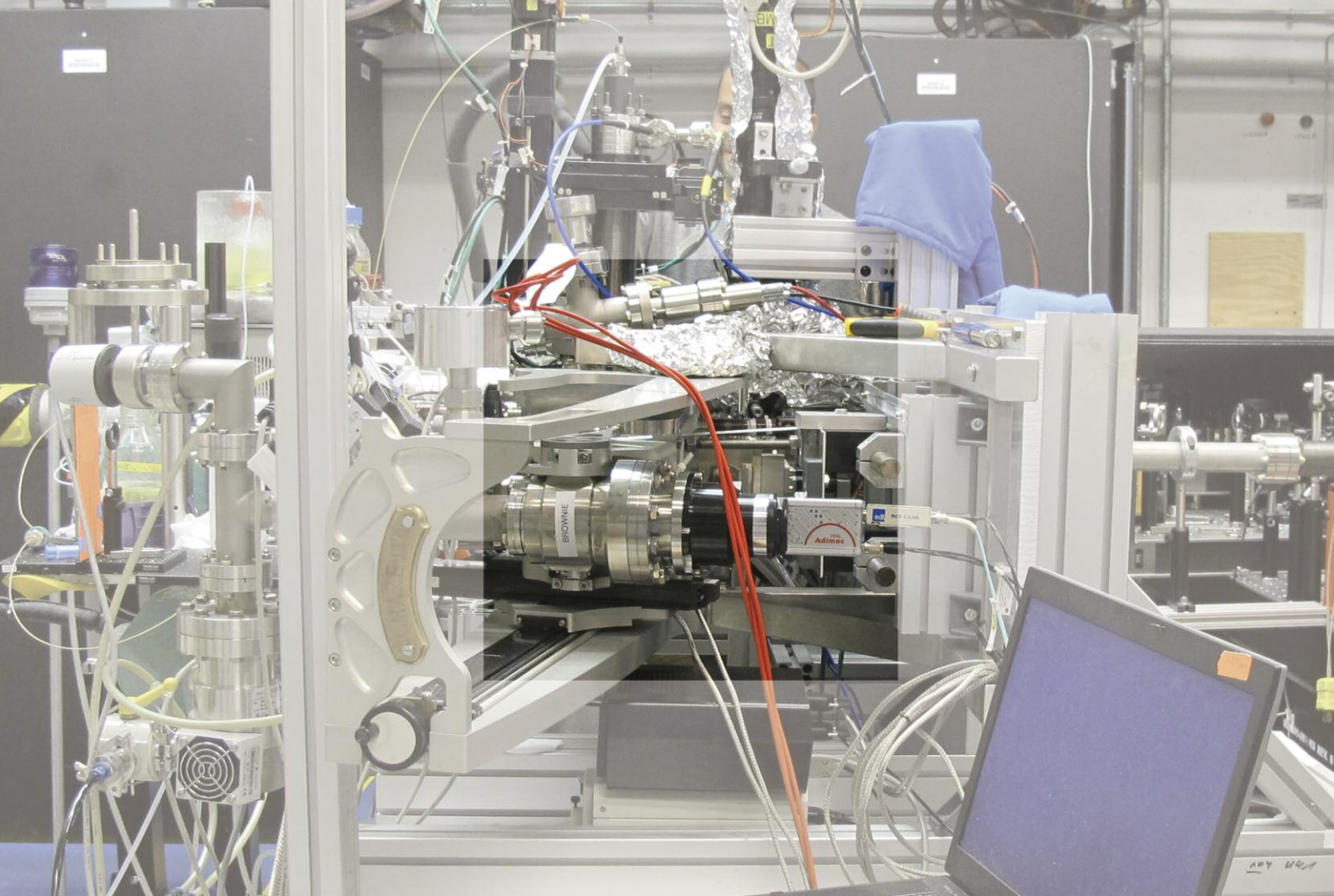
Die Wissenschaftler nutzten für die Untersuchung der Reaktion von giftigem Kohlenmonoxid mit Sauerstoff zu Kohlendioxid, die auch im Katalysator eines Kraftfahrzeugs stattfindet, ultrakurze Röntgenblitze und Laserpulse am SLAC National Accelerator Laboratory, Menlo Park, Kalifornien. Dabei erhitze ein Laserblitz zunächst die Ruthenium-Oberfläche und aktivierte so die absorbierten Kohlenmonoxid-Moleküle und Sauerstoff-Atome. Über Röntgenabsorptions-Spektroskopie konnte das Team dann ermitteln, wie sich die elektronische Struktur der Sauerstoffatome veränderte, während sie mit Kohlenstoffatomen Bindungen anbahnten. Die beobachteten Übergangszustände stimmen mit quantenchemischen Be-



Die Abbildung, aufgenommen am SLAC, illustriert eine Momentaufnahme während der Reaktion von  $\text{CO}$  zu  $\text{CO}_2$ , wie sie nun erstmals gelungen ist.

rechnungen gut überein. Überraschend war jedoch, wie viele Reaktionspartner in einen Übergangszustand aktiviert wurden und dass nur ein kleiner Bruchteil davon tatsächlich stabile  $\text{CO}_2$ -Moleküle bildete. „Diese Ergebnisse helfen uns, eine wichtige Katalysatorreaktion zu verstehen, die für den Umweltschutz sehr wichtig ist“, erklärt Martin Beye vom HZB. Bereits im Jahr zuvor (HZB-Highlight-Bericht 2013, S. 31) hatten die Wissenschaftler sich intensiv mit der Gasumwandlung im Katalysator beschäftigt und dabei herausgefunden, wie sich Kohlenmonoxid-Moleküle von einer Rutheniumoberfläche ablösen. Dabei hatten sie festgestellt, dass es zu schwachen Bindungen zwischen den  $\text{CO}$ -Molekülen und der Katalysatoroberfläche kommt. Dies und die neuen Erkenntnisse könnten dazu beitragen, dass die Automobilindustrie in Zukunft noch effizientere Katalysatoren für Kraftfahrzeuge entwickeln kann. *arö/SLAC*

Science, Vol. 347, 6225, pp. 978-982 (DOI: 10.1126/science.1261747): Probing the transition state region in catalytic  $\text{CO}$  oxidation on Ru; H. Öström et.al



## ZUKUNFTSPROJEKTE

Vor dem Hintergrund der Beendigung des Betriebs der Neutronenquelle BER II im Jahr 2020 fokussiert das HZB seine Aktivitäten zukünftig auf die **Energie- und Materialforschung, auf die Weiterentwicklung der Photonquelle BESSY II sowie die Forschung mit Photonen.**

Mit der Positionierung in den POF III Programmen in den Forschungsbereichen „**Energie**“ und „**Materie**“ baut das HZB sein Engagement in der Forschung an Materialien für die Energiewandlung, -speicherung sowie an energieeffizienten Bauelementen weiter aus. In diesen Bereichen soll die Synchrotronstrahlung an BESSY II verstärkt genutzt werden.

Das neue **Energiematerialforschungslabor EMIL** hat sichtbar weiter Kontur angenommen. Das Gebäude wurde Ende 2014 plangerecht bezugsfertig und die Installation der wissenschaftlichen Instrumente ist in vollem Gange. Nach Abschluss der halbjährigen Kommissionsphase im Jahr 2016 soll das Labor Anfang 2017 voll in Betrieb gehen.

Mit der „**Helmholtz Energy Materials Foundry (HEMF)**“ plant das HZB als koordinierendes Zentrum eine zentrenübergreifende Helmholtz Forschungsinfrastruktur und internationale Nutzerplattform im Forschungsbereich Energie. Der Antrag dafür wurde 2014 eingereicht und von den Vorsitzenden der Wissenschaftlichen Beiräte empfohlen.

## DUNKELSTROM IM LICHT VON BESSY II

Sogenannter Dunkelstrom beeinträchtigt die **Erzeugung von intensiven Elektronenstrahlen**, wie sie in Linearbeschleunigern wie BERLinPro benötigt werden. Dr. Roman Barday vom HZB-Institut für Beschleunigerphysik und Dr. Stefan Lagotzky von der Bergischen Universität Wuppertal haben eine Strategie entwickelt, mit der sich dieser Effekt vermeiden lässt.

**E**lektronenstrahlen lassen sich für viele Anwendungen in der physikalischen Grundlagenforschung nutzen. Besonders dort, wo eine hohe Brillanz und kurze Pulsdauer gefordert sind, werden sie mit einer Photokathode in einem Photoinjektor erzeugt. Die Photokathode besteht aus einer Alkaliverbindung auf einem Substrat aus Molybdän. Sie ist in einem Resonator eingebaut und wird mit kurzen Lichtpulsen aus einem Laser beleuchtet. In der Alkaliverbindung erzeugen die einfallenden Photonen Elektronen, die emittiert werden. Ein Beschleunigungsfeld bringt den Elektronenstrahl, der dabei entsteht, auf hohe Energie. Allerdings: In der Umgebung des Beschleunigungsfeldes können auch andere Mechanismen Elektronen aus Kathodenmaterial und Substrat freisetzen, die dann beschleunigt werden. Dieser unerwünschte „Dunkelstrom“ stellt ein hohes Risiko für den Betrieb des Linearbeschleunigers dar.

Ein wichtiger Mechanismus für die Erzeugung von Dunkelstrom ist die Feldemission, bei der das starke Feld des Beschleunigerresonators den Elektronen ermöglicht, durch die Potenzialbarriere zwischen dem Photokathodenmaterial und dem Vakuum des Beschleunigers zu tunneln. Dr. Roman Barday und Dr. Stefan Lagotzky haben zusammen mit Wissenschaftlern zweier weiterer Institute an HZB und TU Dresden das Emissionsverhalten aus Einkristallen und polykristallinen Proben von Molybdän untersucht. Das Übergangsmetall wird wegen seiner günstigen elektronischen Eigenschaften häufig als Substrat für hocheffiziente Photokathoden verwendet, die etwa Cäsium oder Kalium enthalten.

### Eine Oxidschicht spielt die entscheidende Rolle

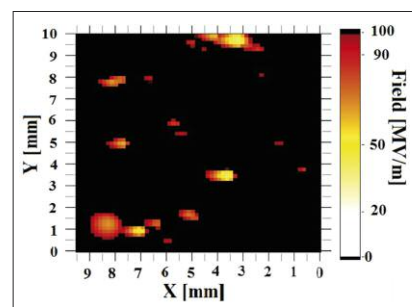
Mit welchen Maßnahmen sich Feldemission hervorrufen oder vermeiden lässt, analysierten die Wissenschaftler per Feldemissionsmikroskop (FEM) an der Universität Wuppertal und mithilfe der Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS) an der Synchrotron-Strahlungsquelle BESSY II des HZB. Mit dem FEM lassen sich Emissionsherde sichtbar machen, XPS gibt Aufschluss über ihre chemische Zusammensetzung. Mit beiden experimentellen Methoden nahmen die Forscher die Molybdän-Proben bei unterschiedlichen elektrischen Spannungen und mit verschiedenen Behandlungstechniken ins Visier. Zuvor hatten sie die Proben thermisch vorbehandelt, wie es auch bei der Herstellung von

Photokathoden auf Basis von Molybdän üblich ist: Das Material wird dazu bei mehreren Hundert Grad Celsius ausgeheizt, um Gase herauszulösen und oxidierte Bereiche abzutrennen.

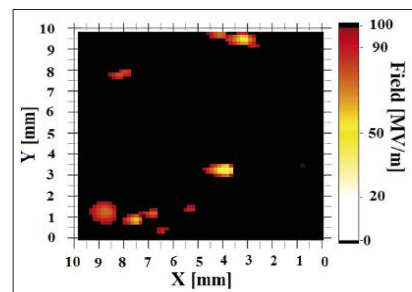
Doch gerade das Ausheizen, so scheint es, fördert die Entstehung von Dunkelstrom. Denn, so die Erkenntnis der Wissenschaftler, eine Oxidschicht, die sich auf natürliche Weise auf der glatt polierten Metalloberfläche bildet, verhindert eine unerwünschte Elektronenemission. Wird sie im Ofen bei über 400 Grad Celsius zerstört, steigt die Wahrscheinlichkeit für einen Dunkelstrom durch Feldemission.

Die Forscher konnten auch einen Weg aufzeigen, um dieses Dilemma zu umgehen: Findet das Ausheizen unter einer reinen Sauerstoffatmosphäre statt, bleibt die Oxidschicht auch bei hohen Temperaturen erhalten. Da die Oxidschicht andererseits die Funktion der Photokathode auf dem Substrat hemmt, soll sie vor deren Präparation mit einem Laser gezielt nur dort entfernt werden, wo im nächsten Schritt die Alkaliverbindung aufwächst. So lässt sich das gewünschte Emissionsverhalten des Kathodenmaterials erhalten und zugleich die unerwünschte Emission von Dunkelstrom unterdrücken. *rb*

Eur. Phys. J. Appl. Phys., 2015, 70: 21301 (DOI: 10.1051/epjap/2015150167): Prevention of electron field emission from molybdenum substrates for photocathodes by the native oxide layer; S. Lagotzky, R. Barday, A. Jankowiak, T. Kamps, C. Klimm, J. Knobloch, G. Müller, B. Senkovskiy and F. Siewert



Feldemissionsansichten einer geglähten, sauerstofffreien (oben) und einer thermisch oxidierten Molybdän-Oberfläche (unten). Offensichtlich reduziert das Oxid die Anzahl an Erzeugern von 1 nA Strom bei Feldstärken von bis zu 100 MV/m.



## MIT GROSSEN SCHRITTEN ZU EMIL

Das HZB steht kurz vor der Fertigstellung des neuen Labors EMIL. Damit schaffen HZB-Experten **weltweit einzigartige Möglichkeiten**, um künftig Materialien für die regenerative Energiegewinnung, aber auch für neuartige Katalysatoren zu untersuchen.

**D**as Energy Materials In-situ Laboratory, kurz EMIL, ist ein Gemeinschaftsprojekt von HZB und Max-Planck-Gesellschaft und entsteht in einem Anbau an die Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II. Seit der Fertigstellung des Anbaus füllt sich die Halle mit immer mehr



Ein Cluster-Tool zur Erforschung neuer Materialien und Bauteilstrukturen für Photovoltaik- und Photokatalyse-Anwendungen.

Hightech-Geräten. „Wir sind gut im Plan und können die Maschinen im Laufe des Jahres eine nach der anderen testen und startklar für den Betrieb machen“, sagt Dr. Gerd Reichardt, der technische Projektleiter für EMIL. So ist beispielsweise im Januar 2015 das Ultrahochvakuum-Transfersystem geliefert worden. Mit ihm werden Materialproben von den Kammern, in denen sie hergestellt werden, zu den Analysestationen gebracht, ohne dass das Vakuum unterbrochen wird: An der Luft würden die empfindlichen Proben sofort zerstört.

Als Lichtquelle für EMIL baut das HZB zwei neue Undulatoren, die brillantes Röntgenlicht über einen besonders weiten Energiebereich erzeugen, von weichem Röntgenlicht ab 80 Elektronenvolt bis zu harter Röntgenstrahlung bis acht Kiloelektronenvolt. „Ein einziger Undulator könnte so ein breites Spektrum auf keinen Fall abdecken. Deshalb bauen wir hier zwei sehr unterschiedliche Undulatorontypen auf“, erklärt Dr. Johannes Bahrtdt, der das Undulator-Team leitet. Den weichen Wellenlängenbereich bedient ein APPLE-Undulator, der aus zwei unteren und zwei oberen Reihen unterschiedlich polarisierter Magnete besteht.

Diese Reihen sind gegeneinander beweglich, sodass sich damit auch zirkular polarisiertes Licht erzeugen lässt, was für die Strukturforschung interessant ist. Die eigentliche Herausforderung ist der zweite Undulator, der die harte Röntgenstrahlung liefern wird. „Hier entwickeln wir in Zusammenarbeit mit Spezialfirmen einen sogenannten kryogenen Undulator“, sagt Bahrtdt. Dabei wird während des Betriebs die gesamte Magnetstruktur mit flüssigem Stickstoff auf rund minus 200 Grad abgekühlt, um trotz sehr hoher Magnetfeldstärken auch eine ausreichende Stabilität des Magnetmaterials zu garantieren.

### Ein neues Cluster-Tool für EMIL

Um an EMIL Materialien für die nächste Generation von hocheffizienten Solarenergiewandlern zu erforschen und zu entwickeln, hat das HZB gemeinsam mit Altatech, einem Unternehmen der Soitec-Gruppe, ein neues Cluster-Tool entworfen. Im Rahmen der gemeinsamen Forschungsarbeiten hat Altatech im Rahmen des EMIL-Ausbaus ein speziell angepasstes Silizium-Depositionsclustertool auf Basis seiner sogenannten AltaCVD-Plattform installiert. Das AltaCVD-System kann unabhängig vom Synchrotron eingesetzt werden, um unter anderem verschiedene Morphologien und Legierungen von Silizium sowie transparente, leitende Oxide und ultradünne Dielektrika abzuscheiden. Diese Stoffklassen werden bei der Herstellung der nächsten Generation von Solarenergie-Baugruppen eine wichtige Rolle spielen. Das Clustersystem ist direkt mit einer Röntgenanalyse-Messstation verbunden, die von einer BESSY II-Beamline mit hochbrillantem Röntgenlicht versorgt wird. „Mit EMIL wollen wir Materialien für neue Hocheffizienz-Photovoltaikzellen und für katalytische Prozesse erforschen, die für zukünftige Solarenergieumwandlungs- und -speicherkonzepte erforderlich sind“, sagt Prof. Dr. Klaus Lips, EMIL-Projektleiter und Chef der „Advanced Analytics“-Gruppe am HZB. Der Anschluss von EMIL an BESSY II und damit an das Synchrotronlicht ist für Herbst 2015 geplant. „Wenn wir das EMIL-Strahlrohr an den Speicherring anschließen, wird das ein ganz besonderer Moment“, meint Klaus Lips. „Damit schalten wir EMIL scharf und die Forschung kann beginnen.“

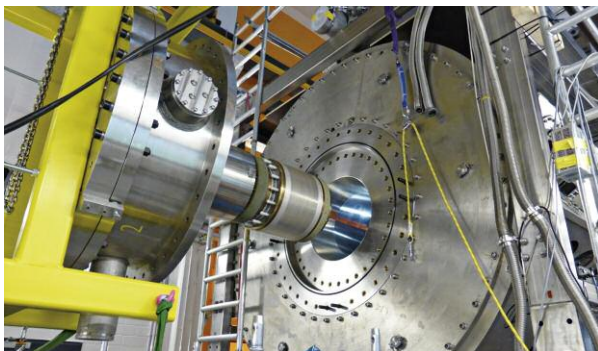
hs/arö



# DER HOCHFELDMAGNET ÜBERTRIFFT DIE ERWARTUNG

Der neue Hochfeldmagnet des HZB produziert zuverlässig ein **Magnetfeld von circa 26 Tesla** und hält diesen Wert auch stabil über längere Zeit. Im Frühjahr 2015 konnte er nach acht Jahren Bau- und Entwicklungszeit in den Dienst der Wissenschaft übergeben werden.

**W**issenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem HZB sowie Nutzerinnen und Nutzer aus aller Welt haben mit großer Spannung auf den neuen Hochfeldmagnet des HZB gewartet, der am National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL), Tallahassee im US-Bundesstaat Florida, entwickelt wurde: Bestimmte quantenphysikalische Phänomene in Materie werden erst unter extremen Magnetfeldern deutlich sichtbar – und Neutronen sind dafür die idealen Sonden. Diese Kombination aus hohen



Hier wird die resistive Bitter-Spule vorsichtig eingebaut. Die äußere Spule ist supraleitend und muss mit flüssigem Helium gekühlt werden.

Magnetfeldern und Neutronen kann nur das HZB anbieten. Unter den extremen Magnetfeldern oberhalb von 20 Tesla können nun neue Ordnungszustände und Phasenübergänge in Hochtemperatursupraleitern, neuen Materialien für die Informationstechnologie und anderen Proben erstmals auch experimentell erforscht werden.

Die Erstinbetriebnahme des Hochfeldmagneten am HZB ging vergleichsweise reibungslos voran. „Die meisten Probleme, die in der Testphase aufgetreten sind, konnten wir überraschend zügig lösen“, sagt Projektkoordinator Dr. Hartmut Ehmler. Dies zeigt, dass die Qualitätskontrolle während der Herstellung der Spulen und während der Systemmontage funktioniert hat, und alle Designvorgaben in die Realität umgesetzt wurden.

## Alle Systeme gründlich getestet

Ein separater Test der resistiven Spule fand nach Abschluss der Endmontage bereits im Juni 2014 statt. Nach dem Ab-

kühlen der supraleitenden Spule, das wegen der großen Masse mehrere Wochen in Anspruch nahm, konnten dann im August 2014 die entscheidenden Tests des Hybridsystems, also beider Spulen in Serienschaltung, beginnen: Das Hochfahren des Stroms, zuerst von null auf nur 1.000 Ampere, und dann auf immer höhere Werte. Dabei wurde unter anderem getestet, wie das System auf sich ändernde Stromstärken (Induktion) reagiert, welche Kräfte und Spannungsspitzen dabei auftreten, und ob dies mit dem vorher berechnetem Verhalten konsistent ist.

Aus Sicherheitsgründen wurde das Verhalten der gesamten Anlage bei einer Notabschaltung und anderen Störfällen getestet. Bis zuletzt blieb es spannend, ob die letzten paar Tausend Ampere bis zum Ziel unerwartete Überraschungen bereithalten würden. Aber zum Glück arbeiteten alle Systeme störungsfrei zusammen, sodass der Strom schrittweise bis zum Endwert von 20.000 Ampère gesteigert werden konnte. Nach dem erfolgreichen Test erfolgte Ende Dezember 2014 der Umzug des Hochfeldmagneten an seinen endgültigen Aufstellungsort in der Neutronenleiterhalle am BER II. Dort musste er dann wieder an seine Versorgungsleitungen für Wasser, Helium und elektrischen Strom angeschlossen werden. Anfang Mai konnte der Magnet dann endlich offiziell seinen Dienst aufnehmen. *hs/arö*

## NEAT II MACHT FORTSCHRITTE

Der Bau des neuen Flugzeitspektrometers NEAT II an der Neutronenquelle BER II hat im vergangenen Jahr weitere Fortschritte gemacht. Im September 2014 wurde die in Spanien hergestellte Detektorkammer angeliefert und in dem eigens für das Instrument geschaffenen Anbau aufgebaut. In ihr wird gemessen, wie lange die Neutronen für den Weg von der Probe bis zum Detektor brauchen, der sie einfängt. Es wird also tatsächlich die Flugzeit der Neutronen bestimmt, die diesem Instrument seinen Namen gibt. „Bis Ende 2015 sollen alle Teile des Flugzeitspektrometers installiert sein, sodass wir im Laufe des Jahres 2016 den Nutzerbetrieb aufnehmen können“, sagt Dr. Margarita Russina, die das Projekt am HZB leitet.

## ERFOLGSMODELL „JOINT LABS“

Mit seinen mittlerweile zehn „Joint Laboratories“ ist das HZB ein wichtiger Treiber für die Vernetzung in der **Wissenschaftsregion Berlin/Brandenburg**.

Das HZB hat in den vergangenen Jahren mit Universitäten und Hochschulen mehrere „Joint Labs“ gegründet, um die Zusammenarbeit auf ein solides Fundament zu stellen. Ausgestattet mit jeweils einer Juniorprofessur stellt das Modell sicher, dass ausgewählte Expertinnen oder Experten sowohl am HZB forschen als auch an der Universität in die Lehre eingebunden sind. Als jüngstes Joint Lab gründete das HZB mit der Freien Universität Berlin und dem Zuse Institut Berlin im Februar 2015 das „Berlin Joint Lab for Optical Simulations for Energy Research (BerOSE)“. Es dient der Erforschung und Weiterentwicklung von Materialien für Photokatalyse, Photovoltaik und Photonik mit Strukturierungen im Nanometerbereich. Ein wichtiger Schwerpunkt sind 3D-Simulationen für Einzelkomponenten und komplette funktionale Systeme. Die bisherige Erfahrung mit den Joint Labs zeigt, dass diese Form der Kooperation sowohl für das HZB als auch für die universitären Partner äußerst vorteilhaft ist – alle Ressourcen werden mit maximaler Effizienz genutzt, die wissen-



Eröffnung: Im Februar 2015 ging das vom HZB gemeinsam mit der Freien Universität Berlin und dem Zuse Institut Berlin gegründete „Berlin Joint Lab for Optical Simulations for Energy Research (BerOSE)“ an den Start.

schaftliche Produktivität steigt. Zugleich erhöht sich die Anziehungskraft des Standorts Berlin für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, und die Nachwuchsförderung wird zu einer wichtigen Säule im HZB-Profil. Auch im Rahmen der Exzellenzinitiative könnten „Joint Labs“ in Zukunft als Modell dienen, um außeruniversitäre und universitäre Forschung besser zu vernetzen. Aktuell gibt es neun „Joint Labs“ in der Region Berlin-Brandenburg sowie eines mit der Universität Uppsala in Schweden. Hier ein Überblick über die Joint Labs und die dazugehörigen Partner:

- **Joint Lab for Structural Research (JLSR)** mit HU Berlin und TU Berlin
- **Joint MX Lab** mit HU Berlin, MDC, FU Berlin und Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP)
- **Joint Lab on Accelerator Physics (JLAP)** mit HU Berlin
- **Berlin Joint EPR Lab (BeJEL)** mit FU Berlin
- **Berlin Joint Lab for Supramolecular Polymer Systems (BerSuPol)** mit FU Berlin
- **Berlin Joint Lab for Optical Simulations for Energy Research (BerOSE)** mit FU Berlin und Zuse Institut Berlin (ZIB)
- **Joint Ultrafast Dynamics Lab in Solutions and at Interfaces (JULiq)** mit FU Berlin
- **Berlin Joint Lab for Non Equilibrium of Matter (BerNEM)** mit FU Berlin
- **Berlin Joint Lab for Quantummagnetism (BerQuam)** mit FU Berlin
- **Uppsala Berlin Joint Lab (UBJL)** mit Universität Uppsala

### FORSCHUNG AN NEUEN ENERGIESPEICHERN

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat Anfang 2015 das Forschungsprogramm „Speicher und vernetzte Infrastrukturen“ aufgelegt, in dem fünf Helmholtz-Zentren an systemübergreifenden Technologien forschen, um Schwankungen auszugleichen und Infrastrukturen so weiterzuentwickeln, dass unterschiedliche Energieträger miteinander gekoppelt werden können. Das Programm hat ein Fünf-Jahres-Budget von circa 310 Millionen Euro und gliedert sich in sechs Themen: Batterien und elektrochemische Speicher, Elektrolyse und Wasserstoff, synthetische Kohlenwasserstoffe, Brennstoffzellen, thermische Energiespeicher sowie Netze und Speicherintegration. Das HZB beteiligt sich am Thema Batterien und elektrochemische Speicher, indem elektrochemische Speicherlösungen bis zur Anwendungsreife weiterentwickelt werden.

## JUBILÄUM FÜR CHARITÉ UND HZB

IM NOVEMBER 2014 WURDE DIE BEHANDLUNG DES **2.500. AUGENTUMOR-PATIENTEN** MIT PROTONEN ERFOLGREICH ABGESCHLOSSEN.

Das Aderhautmelanom gehört mit ungefähr 500 bis 600 Neuerkrankungen pro Jahr in Deutschland zu den seltensten Erkrankungen. Die Augenklinik der Charité hat sich am Campus Benjamin Franklin auf die Behandlung dieser sehr seltenen Tumorerkrankung spezialisiert. Seit 1998 werden jährlich mehr als 200 Patienten aus ganz Deutschland und anderen europäischen Staaten, von Österreich über Polen bis hin zu Bulgarien und Serbien, von der Charité am HZB mit Protonen bestrahlt. Aufgrund der Besonderheiten des Auges wird die Protonentherapie für das Aderhautmelanom weltweit nur an zwölf Zentren durchgeführt. In Deutschland ist das HZB der einzige Ort, an dem eine derartige Behandlung möglich ist. Das Team am HZB um Dr. Andrea Denker sichert Qualität und Präzision des Protonenstrahls und entwickelt



Ein Patient im Behandlungsstuhl vor dem Einsatz des Protonenstrahls.

die Methoden zur Strahldiagnose und Dosimetrie ständig weiter. „Wir konnten Beschleuniger nutzen, die früher für die Grundlagenforschung verwendet wurden. Mit dem Zyklotron und seinen Vorbeschleunigern verfügen wir über eine Anlage, die in der Lage ist, einen Protonenstrahl mit der idealen Energie, Intensität und Zeit-

struktur für die Augentumorthérapie zu erzeugen“, sagt Andrea Denker. Mehr als 95 Prozent der am HZB behandelten Patientinnen und Patienten sind nach fünf Jahren von ihrem Tumor befreit. Abhängig von der Lage des Tumors kann meist ein brauchbares Sehvermögen erhalten werden.



Die beiden Schülerlabore am HZB widmen sich Themen wie „Licht und Farbe“ oder „Solarenergie“.

Das Schülerlabor des HZB startete zunächst, um die Attraktivität naturwissenschaftlicher Berufe unter den Schülern bekannt zu machen. Mittlerweile ist es für viele Schulen zu einer selbstverständlichen Ergänzung des Unterrichts geworden. Anfangs kamen vor allem Schülerinnen und Schüler aus der Oberstufe naturwissenschaftlich geprägter Gymnasien und experimentierten zu Elektromagnetismus

## PHYSIK ZUM ANFASSEN

SEIT ZEHN JAHREN UNTERHÄLT DAS HZB EIN **SCHÜLERLABOR**, DAS JÄHRLICH VON MEHR ALS 2.000 KINDERN UND JUGENDLICHEN BESUCHT WIRD.

und Supraleitung. Inzwischen wird das Angebot besonders von den fünften und sechsten Klassen nachgefragt, die erstmals „Nawi“-Unterricht haben. „Die Schüler können dabei sehen, dass Physik nicht nur ein Fach ist, für das sie in der Schule büffeln, sondern auch Grundlage für die Arbeit in Forschungszentren“, sagt Michael Tovar, der bis Sommer 2015 Leiter des Schülerlabors am Standort Wannsee war, bevor er selbst wieder in die Forschung zurückgekehrt ist. Gemeinsam mit Lehrkräften haben Michael Tovar und Ulrike Witte, Lei-

terin des 2010 am Standort Adlershof eingerichteten zweiten Schülerlabors, Experimentierreihen entwickelt, die die Forschung des Zentrums aufgreifen und sich dabei am schulischen Lehrplan orientieren. Besonders interessierte Schülerinnen und Schüler können in Arbeitsgemeinschaften eigene Experimentideen umsetzen, bis hin zu „Jugend forscht“-Projekten. Darüber hinaus organisiert das HZB-Schülerlabor den jährlichen Girls' Day am HZB und bietet zur „Langen Nacht der Wissenschaft“ und anderen Gelegenheiten Experimentierstände an.

## AUSGEZEICHNETE KOMMUNIKATION

SEIT ANFANG 2014 INFORMIERT DAS HZB MIT DEM #HZBZLOG ÜBER SEINE ZUKUNFTSPROJEKTE UND ERHIELT DAFÜR SOGAR EINEN PREIS.

Mit dem #HZBzlog öffnete das HZB im Januar 2014 ein neues, interaktives Fenster in die Wissenschaft. Anders als bei klassischer Wissenschaftskommunikation stehen hier keine fertigen Ergebnisse im Vordergrund, vielmehr erlebt man die Menschen, die die Wissenschaft machen. Das #HZBzlog ist eine Mischung aus Gruppenblog, Magazin und Langzeitdokumentation. Thematisch geht es um die Zukunftsprojekte des HZB, darunter den Hochfeldmagneten, BESSY-VSR und EMIL. Nur wenige Monate nach dem Start wurde das neue Format von der Deutschen Presseakademie mit dem Deutschen Preis für Online-Kommunikation ausgezeichnet. „Wir freuen uns über den Preis, weil wir die versammelten Experten aus der Branche der Unternehmenskommunikation mit unserem Projekt überzeugen konnten“, sagt Ina Helms, die Leiterin der Kommunikationsabteilung des HZB. „Vor allem sind wir glücklich darüber, dass unsere Protagonisten aus der Wissenschaft so tatkräftig mitmachen.“ Täglich surfen bis zu 1.000 User auf der Seite des #HZBzlog.



## ANTS FINKE IST NEUER IT-LEITER

SEIT OKTOBER 2014 LEITET FINKE DIE NEU GEGRÜNDETE HZB-HAUPTABTEILUNG INFORMATIONSTECHNIK.

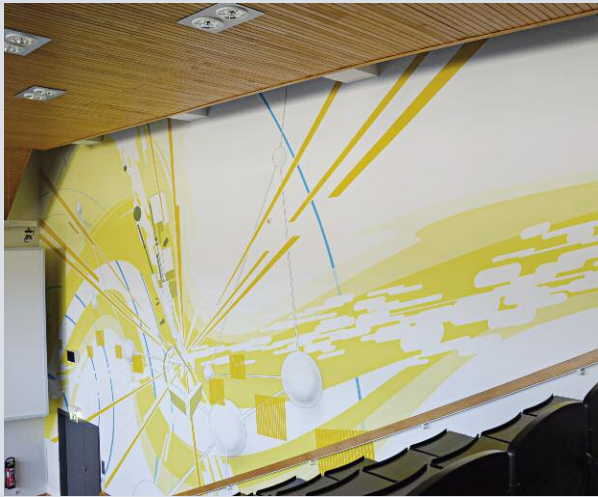
Der 50-jährige Mathematiker war vor seinem Wechsel zum HZB im Datenverarbeitungszentrum des Landes Mecklenburg-Vorpommern verantwortlich für den Softwarebereich. Seit Frühjahr 2015 ist die Hauptabteilung IT auf Finkes Vorschlag hin in vier Abteilungen gegliedert: IT-IS (Infrastruktur), IT-DS (Dienste und Software), IT-FH (Frontoffice und Helpdesk) sowie IT-ED (Experimentsteuerung und Datenerfassung). Ergänzt werden diese Abteilungen durch ein Büro für Querschnittsaufgaben für abteilungsübergreifende Fachgebiete und die Einführung von IT-Betriebsprozessen. „Diese neue Struktur hilft uns dabei, Aufgaben fachgerecht zuzuordnen und für eine effektive Bearbeitung der verschiedensten Themen zu sorgen“, sagt Finke. „Ebenfalls ein sehr vielschichtiges Thema ist der künftige Umgang mit Forschungsdaten. Eine Data Policy soll für den Umgang mit den Daten die nötigen Regeln schaffen, die Hauptabteilung IT wird darauf basierend den technischen Rahmen anbieten“ erläutert er seine Pläne.

## ERNST-ECKARD-KOCH-PREIS FÜR DR. MARKUS RIES



Im Dezember 2014 vergab der Freundeskreis des HZB bereits zum 24. Mal den Ernst-Eckhard-Koch-Preis für eine herausragende Promotionsarbeit auf dem Gebiet der Forschung mit Synchrotronstrahlung. Der Beschleunigerphysiker Dr. Markus Ries (im Bild links mit Prof. Mathias Richter) erhielt den Preis für seine Arbeit über „Nonlinear Momentum Compaction and Coherent Synchrotron Radiation at the Metrology Light Source“ an der HU Berlin. Seine Ergebnisse fließen direkt in das Zukunftsprojekt BESSY-VSR des HZB ein, in dem Markus Ries als Postdoc seine Forschungen fortsetzt. Dr. Alex Manuel Frano Pereira (rechts im Bild), inzwischen Postdoc an der University of California Berkeley, wurde ebenfalls für seine Promotionsarbeit mit dem Preis ausgezeichnet.

## GRAFFITI IM HÖRSAAL



Die Künstler Gerrit Peters und Heiko Zahlmann haben im Frühjahr 2014 den Hörsaal am Standort Wannsee neu gestaltet. Mit Farbrolle, Pinsel und Spraydose haben sie, unterstützt von zwei Kunststudenten, acht Tage lange das Motiv auf die große Wand im Hörsaal aufgetragen: Sie haben dabei den Teilchen-Welle-Dualismus als gemeinsamen Nenner in der Forschung künstlerisch umgesetzt sowie Themen aus der Forschung am HZB integriert. Zuvor hatte das in Hamburg lebende Künstler-Duo mit seinem Entwurf den Zuschlag bei einem vom HZB ausgelobten Wettbewerb erhalten.

## PROF. DR. SEBASTIAN SEIFFERT DOPPELT GEEHRT

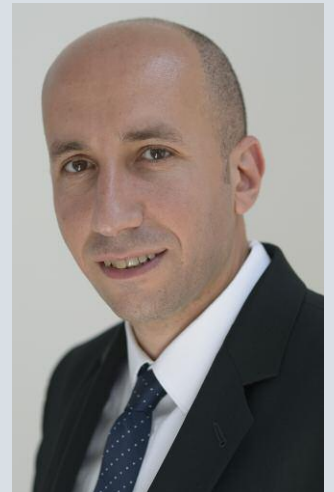


Im Frühjahr 2014 wurde Prof. Dr. Sebastian Seiffert, der am HZB eine Arbeitsgruppe am Institut für „Weiche Materie und Funktionale Materialien“ leitet, für seine Habilitation

mit dem Jahrespreis der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Universitätsprofessoren und -professorinnen für Chemie (ADUC) ausgezeichnet. Den Preis verlieh ihm (im Bild re.) Prof. Dr. Roland Winter im Rahmen der Chemiedozententagung an der TU Paderborn verliehen. Im Sommer 2014 erhielt Seiffert zudem den Preis für Nachwuchswissenschaftler auf dem Gebiet der Makromolekularen Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh). Seiffert untersucht mit seinem Team schaltbare Mikrogele-Partikel, die für unterschiedlichste Anwendungen in Frage kommen.

## NERNST-HABER-BODENSTEIN- PREIS FÜR PROF. DR. EMAD AZIZ

Im Mai 2014 hat die Deutsche Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie Prof. Dr. Emad Flear Aziz mit dem Nernst-Haber-Bodenstein-Preis ausgezeichnet. Emad Aziz leitet am HZB und an der Freien Universität Berlin jeweils eigene Arbeitsgruppen und baut das gemeinsame Labor JULiQ auf (Joint Ultrafast Dynamics Lab in Solutions and at Interfaces). Aziz entwickelt neue Methoden, um die Struktur und Dynamik von ultraschnellen Prozessen und Phänomenen in Lösungen und an Grenzflächen zu untersuchen.



## WICHTIGE BERUFUNGEN

**Prof. Dr. Sebastian Seiffert** übernahm im April 2014 eine W2-Professur für „Supramolekulare polymere Materialien“, die vom HZB und der Freien Universität Berlin gemeinsam finanziert wird.

**Prof. Dr. Silke Christiansen** erhielt im Mai 2014 eine auf drei Jahre befristete Ehrenprofessur an der Fakultät für Halbleiterphysik und Chemie der südkoreanischen Chonbuk National University.

**Prof. Dr. Christiane Becker** übernahm zum Wintersemester 2014 eine Professur an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW Berlin) und lehrt dort am Fachbereich „Ingenieurwissenschaften – Energie und Information“.

**Prof. Dr. Christiane Stephan** hat eine Junior-Professur für „Technische Mineralogie der Energiematerialien“ an der FU Berlin angetreten.

**Prof. Dr. Johannes Reuther** wurde im August 2014 auf eine Juniorprofessur im Rahmen des Berlin Joint Lab for Quantum Magnetism mit der FU Berlin berufen.

**Dr. Simone Raoux** ist seit Januar 2014 Leiterin des Instituts für Nanospektroskopie am HZB. Sie konnte über die Helmholtz Rekrutierungsinitiative von IBM rekrutiert werden. Das Berufungsverfahren auf eine S-W3-Professur mit der HU Berlin läuft.

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

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

**Gesellschafterversammlung**  
(Bund und Land Berlin)

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

**Wissenschaftliche GF**  
Prof. Dr. A. Kayser-Pyzalla

**Geschäftsführung**

**Kaufmännische GF**  
Th. Frederking

**Betriebsrat**  
Vorsitzende: E. Lesner

**Kommunikation**  
(Dr. I. Hejms)

**Geschäftsführungsbüro**  
(Dr. B. Weißner)

**Sicherheit und Strahlenschutz**  
(Th. Frederking)

**Compliance Management**  
(C. Pursian)

**Erneuerbare Energie\***  
Sprecher: Prof. Dr. B. Rech

**Silizium-Photovoltaik**  
(Prof. Dr. B. Rech) EE-IS

**Heterogene Materialsysteme**  
(Prof. Dr. M. Lux-Steiner) EE-IH

**Solare Brennstoffe**  
(Prof. Dr. R. van de Krol) EE-IF

**Kompetenz-Zentrum Photovoltaik Berlin**  
(Prof. Dr. R. Schlämann) EE-IP

**Nanoarchitekturen für die Energiewandlung**  
(Prof. Dr. S. Christiansen) EE-IN

**Komplexe Verbindungshalbleiter**  
(Dr. Th. Ueno) EE-AKV

**Grenzflächendesign**  
(Prof. Dr. M. Bär) EE-NI

**Nanooptische Konzepte für die PV**  
(Prof. Dr. M. Schmidt) EE-NOPT

**Nano-SIPPE**  
(Prof. Dr. C. Becker) EE-NSIP

**Molekulare Systeme**  
(Prof. Dr. N. Koch) EE-GMS

**Energie Materialien\***  
Sprecherin: Prof. Dr. S. Schorr

**Weiche Materie und Funktionale Materialien**  
(Prof. Dr. M. Ballauff) EM-ISFM

**Angewandte Materialforschung**  
(Prof. Dr. J. Banhart) EM-IAM

**Institut für Nanospektroskopie**  
(Dr. S. Raoux) EM-ISPEK

**Methoden der Materialentwicklung**  
(Prof. Dr. E.F. Aziz) EM-IMM

**Kristallographie**  
(Prof. Dr. S. Schorr) EM-AKR

**Methoden zur Charakterisierung von Transportphänomenen in Energiematerialien**  
(Dr. K. Habicht) EM-AMCT

**Quantenphänomene in neuen Materialien**  
(Prof. Dr. B. Lake) EM-AQM

**Materialien für grüne Spintronik**  
(Prof. Dr. O. Rader) EM-AMGS

**Mikrostruktur- und Eigenspannungsanalyse**  
(Prof. Dr. Ch. Genzel) EM-AME

**Energiekatalyse**  
(Prof. R. Schlögl) EM-GKAT

**Berlin Joint Lab für Quantenmagnetismus**  
(Prof. Dr. J. Reuther) EM-NQUAM

**Berlin Joint Lab für Supramolekulare Polymersysteme (BerSuPol)**

**Joint Lab für Ultraschnelle Dynamik in Lösungen und an Grenzflächen (JULiQ)**

**Berlin Energy Recovery Linac Prototype (BERLinPro)**  
(Prof. Dr. A. Jankowiak / Prof. Dr. J. Knobloch)

**Heimholtz Energy Materials Characterisation Platform (HEMCP)**  
(Prof. Dr. R. Schlämann)

**Joint Lab für Makromolekulare Kristallographie (JointMxLab)**

**Joint Lab für Strukturforschung (JLSR)**

**HEMCP**  
(Prof. Dr. R. Schlämann)

**NEAT**  
(Dr. M. Russina)

**Rückbau BER II**  
(Dr. S. Weizel / Dr. A. Rupp)

**Forschung an Großgeräten\***  
Sprecher: Prof. Dr. A. Föhlsch

**Methoden und Instrumentierung der Forschung mit Synchrotronstrahlung**  
(Prof. Dr. A. Föhlsch) FG-ISRR

**Beschleunigerphysik**  
(Prof. Dr. A. Jankowiak) FG-IA

**SRF - Wissenschaft und Technologie**  
(Prof. Dr. J. Knobloch) FG-ISRF

**Nanometroptik und Technologie**  
(Prof. Dr. A. Erko\*) FG-INT

**Undulatoren**  
(Dr. J. Bahrdt) FG-AUND

**ERL-Design Simulationen**  
(Prof. A. Malveenko) FG-NSIMU

**Neutronentomographie**  
(Prof. Dr. W. Treimer) FG-GTOMO

**Funktionale Nanomaterialien**  
(Prof. Dr. S. Eisebitt) FG-GFN

**Ultraschnelle Dynamik**  
(Prof. Dr. M. Bargheer) FG-GUD

**Berlin Joint Lab für Materie im Nicht-Gleichgewicht**  
(N.N.) FG-NNEM

**Uppsala-Berlin Joint Lab (UJL)**

**Joint Lab Beschleunigerphysik (JLAP)**

**Joint Lab für Makromolekulare Kristallographie (JointMxLab)**

**Joint Lab für Strukturforschung (JLSR)**

**HEMCP**  
(Prof. Dr. R. Schlämann)

**NEAT**  
(Dr. M. Russina)

**Rückbau BER II**  
(Dr. S. Weizel / Dr. A. Rupp)

**Nutzerplattform**  
Sprecher: Prof. Dr. A. Jankowiak

**Nutze-Koordination**  
(Dr. Th. Gubertel) NP-ACO

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

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

**Betrieb MLS**  
(K. Bürkmann-Gehreim) S-MLS

**Protonentherapie**  
(Prof. Dr. A. Denker) S-PT

**Präzisionsgitter**  
(Dr. M. Lörjen) S-PG

**Hochfeldmagnet**  
(Prof. Dr. B. Lake\*) NP-AHFH

**Experimentelle Technik 1**  
(Dr. A. Rupp) NP-HI

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

**Probenumgebung**  
(Dr. K. Klier) NP-ASE

**Experimentelle Technik 2**  
(Dr. C. Jung) NP-HII

**Technische Nutzerunterstützung BESSY II**  
(Dr. C. Jung) NP-AUP

**Konstruktion**  
(L. Drescher) NP-ATD

**Fertigung**  
(K. Tietz) NP-AMAN

**Administration**  
(U. Ewald) A

**Personal und Soziales**  
(M. Badel) A-PS

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

**Einkauf und Materialwirtschaft**  
(D. Höcker) A-EM

**Drittmanagement**  
(Dr. Y. Tomm) A-DM

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

**Planen und Bauen**  
(F. Uschkoreit) FM-B

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

**Innere Dienste**  
(M. Nadolski) FM-I

**Chemikalien und Sonderabfälle**  
(J. Beckmann) FM-C

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

**Objektversicherung**  
(F. Deißbeck) FM-O

**Informationstechnik**  
A. Finke

**Frontoffice und Helpdesk**  
(S. Vogt) IT-FH

**Dienste und Software**  
(I. Heinzel) IT-DS

**Experimentsteuerung u. Datenerfassung**  
(O.-P. Sauer) IT-ED

**Infrastruktur**  
(Dr. D. Herrendorfer) IT-IS



\* = 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 Elektronenspeicherring BESSY II.



# Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

## IMPRESSUM

**HZB-Highlight-Bericht 2014** des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie GmbH. Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.  
Redaktionsschluss: Juli 2015

### 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)

**Übersetzung und Lektorat:** 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: Titel HZB/Michael Setzpfandt, S. 2/3 HZB/Volker Mai, S. 6/7 HZB/Andreas Kubatzki, S. 8 HZB/Volker Mai, S. 10 HZB/Florian Kronast, S. 11 Fudan Universität/HZB, S. 14 EMPA, S. 15 Natural History Museum, London, S. 16 Denis Vialykh/TU Dresden, S. 19 Penarc, S. 21 Johannes Gutenberg Universität Mainz, S. 22 HZB/Volker Mai, S. 24 Schmitt/MPL, S. 25 WILEY-VCH Verlag, S. 32 BMW AG, S. 33 HZB/S. Werner, S. 34 Universität Potsdam, S. 36 HZB/Volker Mai, S. 38 MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung, S. 39 FZ Jülich, S. 40 Hans Bernhard, S. 42 HU Berlin/HZB, S. 43 HZB/Martin Oehzelt, S. 44 SciStyle Thomas Spletstößer, S. 45 SLAC National Accelerator Laboratory, S. 48 Altatech, S. 50 HZB/Andreas Kubatzki, S. 51 Boris Geilert, kmh, S. 52 HZB/Michael Setzpfandt, S. 53 HZB/Stefanie Kodalle, FU Berlin, Gesellschaft Deutscher Chemiker

## 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