

ENERGIEN BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN



HIGHLIGHTS 2017

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



INHALT

Vorwort	03	Wie sich DNA gegen Licht schützt	15
Energiematerial-Forschung	04	Beschleunigerforschung und -weiterentwicklung	16
Nanostrukturen steigern den Wirkungsgrad	06	Neue Funktionen für BESSY II	17
Mit Neutronen Defekte in Kesterit-Halbleitern aufgedeckt	06	Zahlen und Fakten aus dem HZB	18
Langlebige Ladungsträger	07	Nutzerexperimente	20
Perfektion ist bei Perowskit-Solarzellen nicht Pflicht	08	Einfache organische Moleküle erschaffen	22
Mesoporöse Zwischenschicht mildert den Einfluss von Defekten	08	komplexe Muster	22
Nanoreaktoren: Ein Modell für viele Fragen	09	Organische Halbleiter - mit Licht negativ dotiert	23
Bessere Kathodenmaterialien für Lithium-Schwefel-Akkus	09	Lupinenwurzeln beim Trinken zugeschaut	24
Eine Sofastruktur für die Spinsteuerung	10	Steuerbare optische Eigenschaften von Graphen	24
Neuer Phasenübergang in topologischen Isolatoren entdeckt	10	Eine Landkarte der Fermi-Oberfläche	25
Neuer Schaltprozess in spintronischen Bauelementen	11	Higgs-ähnliche Quasiteilchen im Spinsystem	26
Magnetische Schalter mit Licht steuern	12	Scharfblick auf ein Käferfossil	27
Methodenentwicklung für die Forschung an den HZB-Großgeräten	13	Vermischtes/Anhang	28
Hochfeldmagnet ermöglicht Einblicke in eine versteckte Ordnung	14	Vermischtes	28
		Organigramm des HZB	30
		Lageplan, Impressum	31

STARTSCHUSS FÜR BESSY III

Das Forschungsjahr 2017 stand für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des HZB im Zeichen der Evaluierung im Rahmen der programmorientierten Förderung (POF). Anfang 2018 wurde sie erfolgreich abgeschlossen. Mit dem Ausbau von BESSY II zum Variablen Pulslängen-Speicherring werden am HZB weltweit einmalige Rahmenbedingungen für Forschung an Energiewerkstoffen entstehen. Die Gutachter empfahlen dem HZB zudem, mit der Planung für BESSY III zu beginnen. Bei aller Begeisterung für die Zukunft möchten wir Ihnen zeigen, dass auch 2017 wieder hervorragende Forschungsergebnisse am HZB erzielt wurden.

Mit der regelmäßigen Begutachtung der organisatorischen und wissenschaftlichen Arbeit des HZB durch internationale Gutachter verhält es sich wie mit den Experimenten an den Großgeräten des HZB: Je gründlicher die Vorbereitung, desto besser die Ergebnisse. So betrachtet wurde dem gesamten Team des HZB im Anschluss an die beiden Begehungen im April 2018 ein hervorragendes Zeugnis ausgestellt. Sowohl bei der Infrastruktur als auch bei der Auswahl des Personals seien die richtigen Entscheidungen getroffen worden, heißt es im Gutachten. Zudem haben alle Forschungsprogramme des HZB eine hervorragende Bewertung bekommen.



Prof. Dr. Bernd Rech und Thomas Frederking.

Die Bewertung zahlreicher Gruppen und Programme mit den Bestnoten „Outstanding“ und „Exzellent“ zeigt, dass das HZB die richtigen Themen angepackt hat und eine Top-Adresse in der weltweiten Energie- und Materialforschung ist. Um diese Position auch in Zukunft zu halten, empfehlen die Gutachter den Aufbau von BESSY III als Nachfolger der Lichtquelle BESSY II. Das bereits gestartete Upgrade-Programm BESSY VSR stellt eine wichtige Entwicklung auf dem Weg zu BESSY III dar und wurde von den Gutachtern ausdrücklich gelobt und unterstützt.

Das Gutachten betont zudem die hervorragenden wissenschaftlichen Ergebnisse, die das HZB in aufstrebenden, schnell wachsenden neuen Forschungsgebieten liefert, wie etwa topologische Isolatoren und andere exotische Quantenmaterialien. Beispiele für die Forschung an Quanteneffekten in Feststoffen finden Sie auf den Seiten 10 bis 12

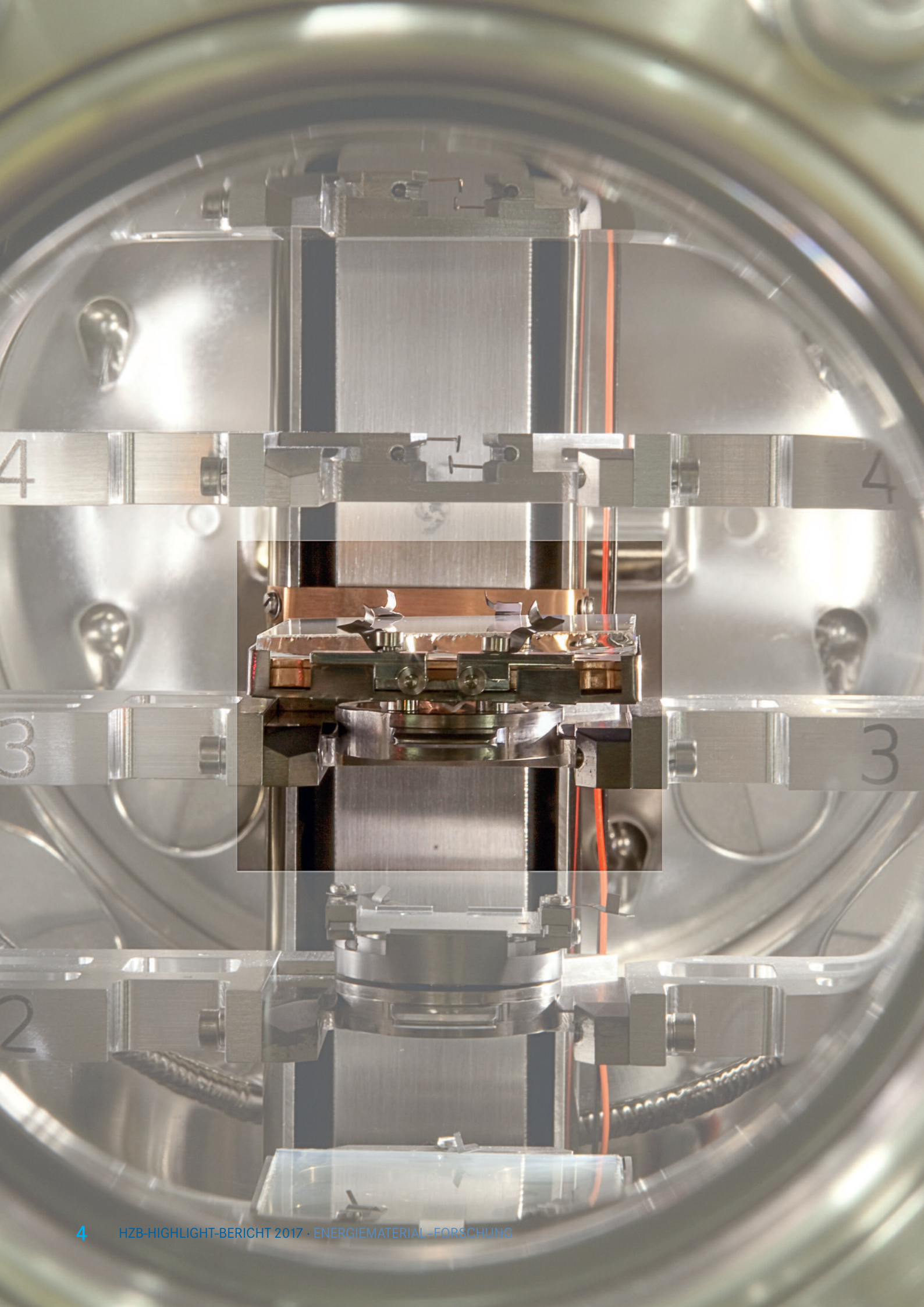
in diesem Bericht. Auch auf dem Gebiet der Perowskit-Forschung für neuartige Solarzellen sind unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler führend – mehr dazu lesen Sie auf Seite 8.

Heute nutzen jährlich mehr als 2.000 Forschungsgäste die teils einmaligen Experimentiermöglichkeiten an den Beamlines und Instrumenten von BESSY II und am Forschungsreaktor BER II. Einige Highlights aus dieser Forschung, wie etwa die Verbesserung organischer Halbleiter oder die Untersuchung eines in Bernstein eingeschlossenen Moderkäferfossils, stellen wir Ihnen ab Seite 20 ebenfalls vor.

Ihnen, unseren Leserinnen und Lesern, wünschen wir nun eine informative Lektüre unseres HZB-Highlight-Berichts 2017.

Prof. Dr. Bernd Rech
Wissenschaftlicher Geschäftsführer

Thomas Frederking
Kaufmännischer Geschäftsführer



ENERGIEMATERIAL-FORSCHUNG

Im Rahmen der **Helmholtz Energy Materials Foundry** ist am 23. März 2017 der Grundstein für ein neues Laborgebäude auf dem Forschungscampus in Wannsee gelegt worden. Das inzwischen fertiggestellte Gebäude bietet Platz für vielfältige Methoden zur Synthese und Charakterisierung von Energiematerialien. So sollen unter anderem Materialien für die Umwandlung von Kohlenstoffdioxid in Kohlenwasserstoffe entwickelt werden. In das Erdgeschoss wird das von Prof. Dr. Catherine Dubourdieu geleitete Institut Funktionale Oxide für energieeffiziente Informationstechnologien (EM-IFOX) einziehen. Metalloxide wie sie am EM-IFOX untersucht werden, weisen ein außerordentlich breites Spektrum elektrischer, magnetischer, optischer und mechanischer Eigenschaften auf und bieten ein riesiges Potenzial für die Entwicklung neuer Bauelemente.

In der **Graduiertenschule HyPerCells**, die erst 2015 von der Universität Potsdam und dem HZB mit dem Forschungsschwerpunkt Perowskite gegründet wurde, haben Gruppen Perowskit-Solarzellen mit Rekord-Effizienzen von mehr als

20 Prozent hergestellt. Drei am HZB beheimatete Nachwuchsgruppen haben sich HyPerCells angeschlossen. Derzeit forschen 15 Doktorandinnen und Doktoranden aus Fachgebieten wie Chemie, Physik, Elektrotechnik und Kristallographie an dem Verständnis und der Weiterentwicklung von Materialien und Zellstrukturen.

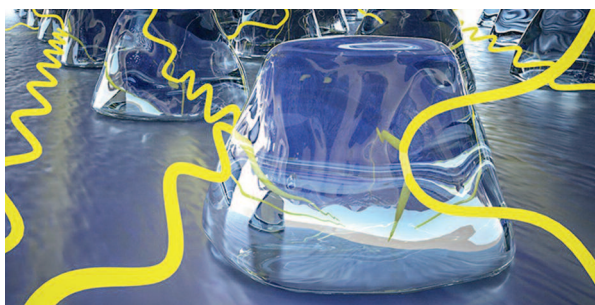
Im November 2017 startete das **EU-Forschungsprojekt INFINITE-CELL**, an dem auch das HZB beteiligt ist. Ziel des Projekts mit einer Laufzeit von vier Jahren ist es, Halbleiter-Dünnschichten aus Silizium und Kesteriten zu besonders preiswerten Tandemzellen mit Wirkungsgraden von über 20 Prozent zu kombinieren. An dem Projekt arbeiten mehrere große Forschungseinrichtungen aus Europa, Marokko, Südafrika und Weißrussland sowie zwei Industriepartner. Prof. Dr. Susan Schorr, die am HZB die Abteilung Struktur und Dynamik von Energiematerialien leitet, wird die große Erfahrung des HZB mit Kesteriten sowie das große Spektrum an Analyse-Methoden, um Absorbermaterialien gründlich zu charakterisieren, in das Projekt einbringen.

NANOSTRUKTUREN STEIGERN DEN WIRKUNGSGRAD

Eine Forschergruppe vom HZB hat gemeinsam mit einem niederländischen Team einen neuen Rekord bei der Kurzschluss-Stromdichte von **ultradünnen CIGSe-Solarzellen** erzielt.

Ultradünne CIGSe-Solarzellen sparen Material und Energie bei der Herstellung. Allerdings sinkt auch ihr Wirkungsgrad. Die Forschungsgruppe Nanooptix am HZB hat gezeigt, wie sich die Absorptionsverluste in ultradünnen CIGSe-Schichten größtenteils verhindern lassen. Gemeinsam mit dem Team von Prof. Albert Polman am niederländischen Institute for Atomic and Molecular Physics haben sie nanostrukturierte Rückkontakte entwickelt, die das Licht einfangen: Diese Nanostruktur besteht aus einem regelmäßigen Muster aus Siliziumoxidpartikeln auf einem ITO-Substrat. Kombiniert mit einer reflektierenden Schicht erreichte die beste ultradünne CIGSe-Zelle eine Kurzschlussstromdichte von 34 mA/cm^2 . Dies ist der bislang höchste Wert, der jemals an diesem Zelltyp gemessen wurde, und entspricht bereits 93 Prozent der Kurzschluss-Stromdichte der Rekord-CIGSe-Zelle mit üblicher Dicke.

„Damit haben wir gezeigt, dass Nanostrukturen bei ultradünnen CIGSe-Solarzellen sowohl die optische Absorption verstärken als auch einige elektrische Aspekte günstig beeinflussen“, sagt Guanchao Yin, Erstautor der Publikation. „Diese Ergebnisse belegen, dass optoelektronische Nanostrukturen



Nanostrukturen fangen das Licht ein, zeigt diese Illustration auf dem Titel von *Advanced Optical Materials*.

eine interessante Möglichkeit sind, um hohe Wirkungsgrade mit deutlich weniger Materialeinsatz zu erreichen“, sagt Prof. Martina Schmid, die mittlerweile als Professorin für „Experimentelle Physik“ an der Universität Duisburg tätig ist. arö

Advanced Optical Materials, 5, 2017 (DOI: 10.1002/adom.20160637): Optoelectronic Enhancement of Ultrathin $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ Solar Cells by Nanophotonic Contacts; G. Yin et. al.

MIT NEUTRONEN DEFEKTE IN KESTERIT-HALBLEITERN AUFGEDECKT

Ein Forschungsteam am HZB hat die verschiedenen Defekt-Typen in Kesterit-Halbleitern erstmals genau charakterisiert. Die Ergebnisse zeigen Möglichkeiten zur gezielten Optimierung von Kesterit-Solarzellen auf.

Kesterite bestehen aus Kupfer, Zink, Zinn und Selen, sind halbleitend und können Licht in Strom umwandeln. Die höchsten Wirkungsgrade werden mit Hilfe von CZTSe-Absorberschichten erreicht, die im Vergleich zur Summenformel etwas weniger Kupfer und etwas mehr Zink enthalten. Diese Stöchiometrieabweichung führt zwangsläufig zu Fehlstellen in der Kristallstruktur, die jedoch den Wirkungsgrad erhöhen. „Wir haben mit Hilfe von Neutronenbeugungsexperimenten diese Fehlstellen genau charakterisiert und ihre lokalen Konzentrationen ermittelt“, erklärt Dr. Galina Gurieva aus der HZB-Abteilung Struktur und Dynamik von Energiematerialien. Dafür ist die Methode ideal geeignet, denn Kupfer und Zink lassen sich mit Neutronen sehr gut voneinander unterscheiden. Das Team untersuchte 29 CZTSe-Pulverproben, einige davon an BER II. Dabei konnten sie Plätze in der Kristallstruktur identifizieren, auf denen ein Kupferatom fehlte oder auf denen sich ein anderes Atom, als vorgesehen war, befand. Auch die sogenannte Cu/Zn Unordnung spielt eine wichtige Rolle: Dabei besetzt ein Teil der Kupferatome Zinkplätze in der Kristallstruktur und umgekehrt. „Tatsächlich stimmen die experimentell ermittelten Punktdefekte recht gut mit dem theoretischen Modell zu möglichen Defekten überein“, erklärt Gurieva: „Wir können aus dieser Studie konkrete Hinweise ableiten, welche Art und Konzentration von Punktdefekten in einer gegebenen Zusammensetzung der Kesterit-Dünnschichten erwartet werden können. Dies hilft dabei, Kesterit-basierte Solarzellen gezielt zu optimieren.“ arö

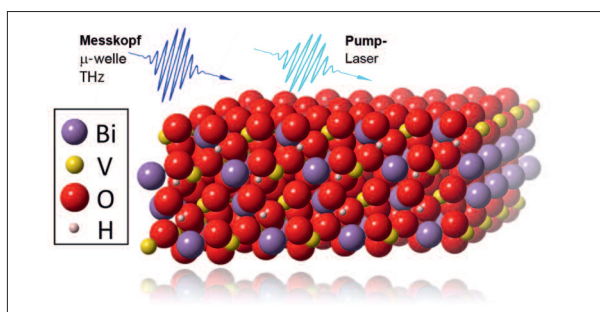
JAP 123, 161519 (DOI: 10.1063/1.4997402): Intrinsic point defects in off-stoichiometric $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$: A neutron diffraction study; G. Gurieva et. al.

LANGLEBIGE LADUNGSTRÄGER

Ein Forschungsteam hat am HZB herausgefunden, wie die **Effizienz von Metall-Oxid-Photoelektroden** gesteigert werden kann. Die Ergebnisse zeigen Wege zu effizienteren und preisgünstigen Materialsystemen für die solare Wasserstoffproduktion.

Die Energieversorgung basiert noch immer zu einem Großteil auf fossilen Ressourcen. Dass sich dies rasch ändern muss, ist unbestritten. Eine Alternative zu fossilem Erdgas ist Wasserstoff. Dieser hat eine enorme Energiedichte, kann gespeichert oder weiterverarbeitet werden, etwa zu Methan, oder in einer Brennstoffzelle sauberen Strom erzeugen. Und wenn Wasserstoff allein mit Sonnenlicht produziert wird, ist er eine komplett erneuerbare Energieressource, deren Verbrauch klimaneutral ist.

Die Natur macht es mit der Photosynthese vor: Sonnenlicht lässt sich nutzen, um Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zu spalten. Dies gelingt auch mit künstlich hergestellten Materialsystemen aus photoaktiven, halbleitenden Schichten: „Künstliche Blatt“-Systeme schaffen



Mit zeitaufgelösten Leitfähigkeitsmessungen in mit Wasserstoff behandeltem Bismuth-Vanadat (BiVO_4) konnten die Forscher nachweisen, dass Elektronen und Löcher darin doppelt so lange Bestand haben. Das erhöht die Effizienz des Materials als Photoelektrode.

im Extremfall sogar Wirkungsgrade von mehr als 15 Prozent, weit mehr als das natürliche Vorbild, das es nur auf ein bis zwei Prozent bringt. Solche Rekord-Wirkungsgrade wurden bisher jedoch nur mit einer teuren Materialkombination erreicht, die im Kontakt mit Wasser nicht lange stabil blieb. Damit solar erzeugter Wasserstoff wirklich auf den Markt kommen kann, müssen solche Systeme langzeitstabil, preiswert und effizient zugleich sein.

Komplexe Metall-Oxide sind sehr gute Kandidaten für „künstliche Blatt“-Systeme: Sie sind preiswert und stabil, auch in wässrigen Lösungen. Wissenschaftler am HZB-

Institut für Solare Brennstoffe arbeiten intensiv daran, diese Materialklasse weiterzuentwickeln. Bislang zeigen Photoelektroden aus Metall-Oxiden allerdings nur moderate Wirkungsgrade von weniger als acht Prozent. Einer der Gründe: Die Ladungsträger sind bis zu hunderttausendmal schlechter beweglich als in klassischen Halbleitermaterialien wie Silizium oder Gallium-Arsenid. „Dass die Ladungsträger langsam sind, wäre nicht mal so schlimm. Das Problem ist, dass sie oft eine sehr kurze Lebensdauer haben, im Bereich von Piko- oder sogar Nanosekunden. Viele verschwinden so schnell, dass sie überhaupt nicht zur Aufspaltung von Wasser beitragen“, erklärt HZB-Forscher Dr. Fatwa Abdi.

Lebenszeit der Ladungsträger verdoppelt

Dagegen hilft eine Wärmebehandlung unter Wasserstoff-Atmosphäre, nachdem die Metall-Oxid-Schichten deponiert wurden. Fatwa Abdi und Kollegen haben nun in Bismuth-Vanadat (BiVO_4), einem der interessanten Materialien für Photoelektroden, untersucht, warum diese Behandlung die Lebensspanne der Ladungsträger verbessert.

Mit zeitaufgelösten Leitfähigkeitsmessungen zeigten sie, dass sowohl Elektronen als auch Löcher in Wasserstoff-behandeltem BiVO_4 mehr als doppelt so lange „überleben“ als im unbehandelten Material. Dadurch steigt auch der Photostrom unter Sonnenlicht deutlich, was sich positiv auf die Effizienz auswirkt. Weitere Messungen der Dresdner Kooperationspartner sowie Berechnungen der Partner von KAUST, Saudi Arabien, belegen: Durch die Behandlung werden Wasserstoff-Atome in die Metall-Oxid-Schicht eingebaut und damit Defekte inaktiviert und reduziert. „Damit gibt es im Material weniger Fallen, in denen Ladungsträger verloren gehen oder rekombinieren. Dadurch können mehr Ladungsträger zum Aufspalten des Wassers beitragen“, erklärt Abdi.

arö

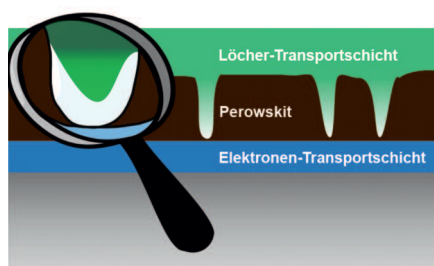
Advanced Energy Materials, 2017 (DOI: 10.1002/aenm.201701536): Enhancing Charge Carrier Lifetime in Metal Oxide Photoelectrodes through Mild Hydrogen Treatment; J.-W. Jang, D. Friedrich, S. Müller, M. Lamers, H. Hempel, S. Lardhi, Z. Cao, M. Harb, L. Cavallo, R. Heller, R. Eichberger, R. van de Krol and F. F. Abdi

PERFEKTION IST BEI PEROWSKIT-SOLARZELLEN NICHT PFLICHT

Ein Team am HZB hat an BESSY II herausgefunden, warum **dünne Perowskit-Schichten** trotz ihrer zahlreichen Löcher erstaunlich hohe Wirkungsgrade erzielen.

Dünnschichten aus metallorganischen Perowskiten sind günstig und lassen sich großflächig herstellen, etwa durch Aufschleudern einer Perowskit-Lösung auf ein Substrat und das anschließende Ausheizen. Allerdings entsteht dabei keine perfekte ebene Dünnschicht, sondern ein Perowskit-Film mit zahlreichen „Löchern“. Diese müssten eigentlich zu Kurzschlüssen in der Solarzelle führen und so deren Wirkungsgrad sehr deutlich reduzieren.

Prof. Marcus Bär und sein Team haben zusammen mit der Spectro-Microscopy-Gruppe des Fritz-Haber-Instituts die Oberfläche der Proben von Perowskit-Pionier Prof. Henry Snaith, University of Oxford, mit Hilfe von Rasterelektronenmikroskopie morphologisch kartiert. An den Stellen mit Löchern analysierten sie orts aufgelöst mit spektromikroskopischen Methoden an BESSY II die chemische Zusammensetzung. „Wir konnten zeigen, dass selbst in den Löchern das Substrat nicht wirklich unbedeckt ist, sondern sich dort quasi als Ergebnis der Abscheidung und Kristallisation eine dünne Schicht ausbildet, die offensichtlich Kurzschlüsse verhindert“, erklärt Doktorandin Claudia Hartmann. Dabei konnten die Teams auch ermitteln, dass die Energiebarriere relativ hoch ist, die die Ladungsträger überwinden müssten, um bei



Vereinfachter Querschnitt durch eine Perowskit-Solarzelle: Die Perowskit-Schicht bedeckt nicht die gesamte Fläche, sondern weist „Löcher“ auf. Allerdings bildet sich dort eine Schutzschicht, die einen Kurzschluss verhindert, zeigte das Team um Marcus Bär.

einem direkten Aufeinandertreffen der Kontaktschichten miteinander zu rekombinieren. „Die Elektronen-Transport-schicht TiO_2 und das Transportmaterial für positive Ladungsträger Spiro-MeOTAD kommen eben nicht direkt in Kontakt. Außerdem ist die Rekombinationsbarriere zwischen den Kontaktschichten ausreichend groß, sodass trotz der vielen Löcher in der Perowskit-Dünnschicht die Verluste in diesen Solarzellen gering sind“, sagt Marcus Bär. *arö*

Advanced Materials Interfaces, 2018 (DOI: 10.1002/admi.201701420): Spatially Resolved Insight into the Chemical and Electronic Structure of Solution-Processed Perovskites – Why to (Not) Worry about Pinholes; C. Hartmann et. al.

MESOPORÖSE ZWISCHENSCHICHT MILDERT DEN EINFLUSS VON DEFECTEN

Zwei Teams von HZB und TU München konnten aufzeigen, welche Rolle die innere Architektur für die Stabilität des Wirkungsgrades von Perowskit-Solarzellen spielt.

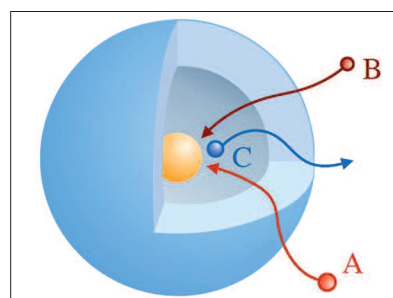
Bislang bleibt der Wirkungsgrad von Perowskit-Dünnschichten unter UV-Strahlung im Freien oder elektrischen Feldern, die beim Betrieb auftreten, nicht lange stabil. Dr. Antonio Abate, Leiter einer Helmholtz-Nachwuchsgruppe am HZB, und Prof. Alessio Gagliardi, TU München, haben daher zwei unterschiedliche Architekturen von Perowskit-Solarzellen untersucht: Bei der einen grenzte die Perowskit-Dünnschicht glatt an eine elektronenleitende Schicht aus einem Metalloxid, bei der anderen bildete sich eine mesoporöse Zwischenschicht aus Perowskit und Metalloxid mit einer komplexen, schwammartigen Struktur. Durch Experimente und mithilfe numerischer Simulationen konnten die Forscher nachweisen, dass die zweite Variante länger stabil ist. Und sie fanden auch eine Erklärung dafür: „Die mesoporöse Zwischenschicht besitzt eine sehr große innere Oberfläche, und das erweist sich als Vorteil“, erklärt Abate. Denn dadurch verteilen sich etwaige Fehlstellen und Defekte, die den Wirkungsgrad mindern und sich während des Betriebs der Solarzelle anhäufen, sehr großflächig. Ihr Einfluss wird damit „verdünnt“ und abgemildert, sodass der Wirkungsgrad stabil bleibt. *arö*

ACS Energy Letters, 2018, 3 (1), pp 163–169 (DOI: 10.1021/acsenergylett.7b01101): Mesoporous Electron-Selective Contacts Enhance the Tolerance to Interfacial Ion Accumulation in Perovskite Solar Cells, A. Gagliardi and A. Abate

EIN MODELL FÜR VIELE FRAGEN

Ein Theorie-Team aus dem HZB hat mathematisch beschrieben, wie zwei verschiedene Moleküle mit **Hilfe von Nanoreaktoren** miteinander reagieren. Das ermöglicht Vorhersagen, wie sich Reaktionen besser steuern lassen.

Proteine oder Enzyme übernehmen in biologischen Organismen oft die Rolle von Nanoreaktoren. Im Labor lassen sich auch künstliche Nanoreaktoren herstellen, und eine wichtige Klasse von ihnen ist wie ein Ei aufgebaut: Ein katalytisch aktives metallisches Nanopartikel sitzt wie das Eigelb im Zentrum, umhüllt von einer Schale aus vernetzten Polymermolekülen. Das schafft eine einzigartige Umgebung für die gewünschten Reaktionen. „Wir haben erstmals mathematisch beschrieben, wie zwei Moleküle in solchen Nanoreaktoren transportiert werden, um miteinander zu reagieren. Dabei konnten wir auch erkennen, welche Faktoren die Reaktionsrate dabei am stärksten beeinflussen“, sagt Dr. Rafael Roa, der Erstautor der Studie. Eine überraschende Einsicht war, dass die Durchlässigkeit der Schalen noch viel wichtiger ist, als bislang vermutet, denn über die Reaktionsrate entscheidet nicht die Konzentration der Ausgangsstoffe in der Lösung, sondern vor allem, wie gut diese ganz individuell durch die Schale ins Innere des Nanoreaktors diffundieren. „Dies ist ein sehr interessantes Ergebnis, denn inzwischen lässt sich bei vielen künstlichen



Skizze eines „Eierschalen-Nanoreaktors“: zwei Ausgangsmoleküle, A und B, diffundieren aus der Lösung durch die Reaktorhülle und reagieren am katalytischen Nanopartikel (gelb) zum Produkt C.

Nanoreaktoren die Durchlässigkeit hervorragend kontrollieren, sogar schalten, etwa durch Veränderungen der Temperatur oder anderer Parameter“, betont Ko-Autor Dr. Won Kyu Kim. Die Theoriegruppe will nun mit der HZB-Chemikerin Prof. Yan Lu zusammenarbeiten, die Expertin für synthetische Nanoreaktoren ist. *arö*

ACS Catal., 2017, 7 (9), 5604–5611 (DOI: 10.1021/acscatal.7b01701): Catalyzed Bimolecular Reactions in Responsive Nanoreactors; R. Roa, W. Kyu Kim, M. Kanduč, J. Dzubiella and S. Angioletti-Uberti

BESSERE KATHODENMATERIALIEN FÜR LITHIUM-SCHWEFEL-AKKUS

Am HZB konnten Forscherinnen und Forscher erstmals Nanopartikel aus einer Titanoxidverbindung mit extrem großen Oberflächen herstellen. Das hochporöse Material besitzt eine hohe und stabile Speicherkapazität.

Lithium-Schwefel-Batterien gelten als günstige und umweltfreundliche Alternative zu Lithium-Akkus. Wandern Lithium-Ionen während des Entladens zur Kathode, so läuft dort eine Reaktion ab, bei der neben Lithiumsulfid (Li_2S) auch Lithium-Polysulfide entstehen, die im Lauf von mehreren Ladezyklen die Kapazität der Batterie reduzieren. Deshalb arbeiten Forschungsteams weltweit an besseren Kathodenmaterialien, die in der Lage sind, die Polysulfide einzuschließen, zum Beispiel mit Nanopartikeln aus Titandioxid (TiO_2). Das HZB-Team um Prof. Yan Lu hat ein Kathodenmaterial hergestellt, bei dem poröse Nanopartikel aus Ti_4O_7 -Molekülen für den Einschluss des Schwefels sorgen. Röntgenspektroskopie-Messungen am CISSY-Experiment von BESSY II zeigen, dass Schwefel-Verbindungen sich an den nanostrukturierten Oberflächen fest anbinden. Dies erklärt auch die hohe spezifische Ladekapazität, die selbst durch wiederholtes Laden und Entladen nur wenig reduziert wird (0,094 Prozent pro Zyklus). „Wir haben mehr als ein Jahr daran gearbeitet, diese Synthese zuverlässig zu optimieren. Jetzt wollen wir daran arbeiten, das Material als Dünnschicht herzustellen“, sagt Yan Lu. Wenn das gelingt, steht der industriellen Produktion nichts mehr im Wege, denn alle Prozesse sind aufskalierbar. *arö*

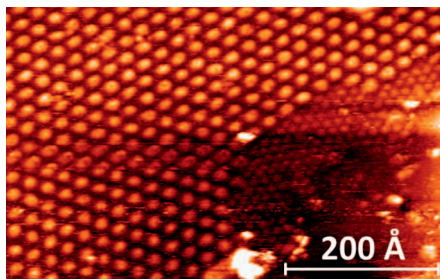
Advanced Functional Materials, 2017 (DOI: 10.1002/adfm.201701176): Porous Ti_4O_7 Particles with Interconnected-Pores Structure as High-Efficiency Polysulfide Mediator for Lithium-Sulfur Batteries; S. Mei, C. J. Jafta, I. Laueremann, Q. Ran, M. Kärge, M. Ballauff and Y. Lu

EINE SOFASTRUKTUR FÜR DIE SPINSTEUERUNG

Weil sich die **Spins in mit Gold dotiertem Graphen** kontrollieren lassen, gilt es als Material für künftige Informationstechnologien. Forscher des HZB haben nun herausgefunden, wie das genau funktioniert.

Graphen ist wohl die exotischste Form von Kohlenstoff: Alle Atome sind untereinander nur in der Ebene verbunden und bilden ein Netz mit sechseckigen Maschen, wie eine Bienenwabe. Graphen ist daher extrem dünn, leitfähig, lichtdurchlässig und sehr stark belastbar. Dieser Aufbau bewirkt zudem, dass die Spins (winzige mag-

Die Rastertunnelmikroskopie zeigt: Graphen wölbt sich über den Goldclustern und bildet ein regelmäßiges Muster, das an das Polster eines Chesterfield-Sofas erinnert.



netische Momente) der Leitungselektronen überraschenderweise sehr gut kontrolliert werden können. Denn bringt man eine Lage Graphen auf ein Nickelsubstrat auf und schiebt Goldatome dazwischen, dann erhöht sich die sogenannte „Spin-Bahn-Wechselwirkung“ dramatisch um den Faktor 10.000, sodass sich die Ausrichtung der Spins durch äußere

Felder beeinflussen lässt. Dass dies funktioniert, hatten die Physiker um Dr. Andrei Varykhalov am HZB bereits mehrfach demonstriert. „Wir wollten daher herausfinden, wie es dazu kommt, dass die hohe Spin-Bahn-Wechselwirkung, die für Gold charakteristisch ist, sich auf das Graphen überträgt“, sagt Varykhalov. Ihr Ergebnis: Die Goldatome verteilen sich in der Zwischenschicht nicht ganz gleichmäßig, sondern bilden kleine Grüppchen auf dem Nickel-Substrat. Diese Gold-Cluster bilden wiederum ein regelmäßiges Muster unter dem Graphen. Dazwischen bleiben Nickelatome frei. Das Graphen bindet stark zum Nickel hin und wölbt sich so deutlich über den Gold-Clustern. „Es sieht fast so aus wie das Polster eines Chesterfield-Sofas“, erklärt Varykhalov. „An den Punkten, an denen Gold und Kohlenstoff in enge Berührung kommen, entsteht die extrem hohe Spin-Bahn-Wechselwirkung, die wir beobachten. Dieses Ergebnis wird durch Rastertunnelmikroskopie und Dichtefunktionsanalysen gestützt.“

arö

2D Materials, Vol. 4, Nr. 3, 2017 (DOI: 10.1088/2053-1583/aa7ad8): Nanostructural origin of giant Rashba effect in intercalated graphene; M. Krivenkov et. al.

NEUER PHASENÜBERGANG IN TOPOLOGISCHEN ISOLATOREN ENTDECKT

Physiker des HZB haben an BESSY II in einem topologischen Isolator eine **ferroelektrische Phase** entdeckt, die sich durch ein äußeres elektrisches Feld umschalten lässt. Das könnte neue Anwendungen wie das Schalten zwischen unterschiedlichen Leitfähigkeiten ermöglichen.

Topologische Isolatoren zeichnen sich dadurch aus, dass sie an ihren Oberflächen Strom sehr gut leiten, während sie im Innern Isolatoren sind. Zu dieser neuen und spannenden Materialklasse zählen auch Halbleiter aus Blei, Zinn und Selen, die zusätzlich mit winzigen Mengen Bismut versetzt sind. Das HZB-Team untersuchte einkristalline

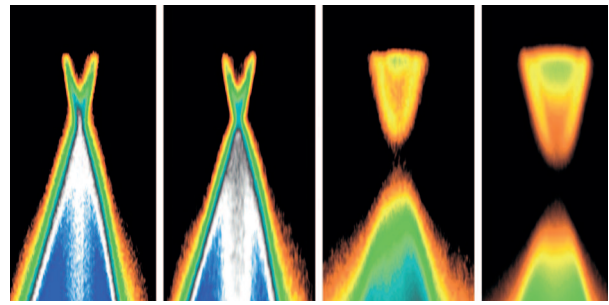
Schichten mit dieser Zusammensetzung und variierte dabei die Dotierung mit dem Element Bismut. Bei einer Dotierung mit ein bis zwei Prozent Bismut konnten sie einen neuartigen topologischen Phasenübergang beobachten. Die Proben wechseln zu einer bestimmten topologischen Phase, die zusätzlich die Eigenschaft der Ferroelektrizität besitzt. Das

bedeutet, dass ein äußeres elektrisches Feld das Kristallgitter verformt, während umgekehrt mechanischer Druck auf den Kristall elektrische Felder erzeugt.

Dieser Effekt ist für technische Anwendungen interessant, denn solche ferroelektrischen Phasenwechselmaterialien werden beispielsweise in DVDs und Flash-Speichern verwendet. Dort verschiebt eine angelegte elektrische Spannung Atome im Kristallgitter, was aus einem Isolator ein Metall macht. Die Untersuchungen wurden in enger Zusammenarbeit mit Forschern der Johannes-Kepler-Universität Linz durchgeführt, die auch die Proben hergestellt haben. Partha S. Mandal, der seine Doktorarbeit über die Messungen schreibt, wurde vom Helmholtz Virtual Institute „New States of Matter and their Excitations“ finanziert. „Die Dotierung mit Bismut, die wir in der Blei-Zinn-Selen-Schicht untersucht haben, wirkt offenbar als Störung. Bismut ist dafür bekannt, dass seine Elektronenzahl nicht gut zu einer Kristallstruktur wie der von Blei, Zinn und Selen passt, so dass dieser faszinierende Phasenübergang auftritt“, erklärt der Projektverantwortliche Dr. Jaime Sánchez-Barriga.

Ferroelektrische Verzerrung des Kristallgitters

Die Auswertung der Messungen ergab: die Dotierung mit Bismut führt offenbar zu einer ferroelektrischen Verzerrung des Kristallgitters, die auch die erlaubten Energieniveaus der Elektronen ändert. „Die Messergebnisse haben uns über mehrere Experimentierreihen Rätsel aufgegeben, bis



Der Bismut-Anteil nimmt von null Prozent (li.) auf 2,2 Prozent (re.) zu. Dadurch entsteht eine sogenannte Bandlücke in den Energieniveaus der Elektronen, zeigen die Messungen an BESSY II.

sich die Ergebnisse schließlich an einem ganz neuen Satz von Proben perfekt reproduzieren ließen“, fügt Sánchez-Barriga hinzu. „Ferroelektrische Phasen könnten hier zu Anwendungen führen, an die bislang nicht zu denken war. Verlustfreie elektrische Leitung in topologischen Materialien könnte sich nach Belieben an- und ausschalten lassen, durch Spannungspulse oder auch mechanische Spannungen“, erklärt Prof. Oliver Rader, der am HZB die Abteilung Materialien für grüne Spintronik leitet. arö

Nature Communications, Vol. 8, Art. 968 (DOI: 10.1038/s41467-017-01204-0): Topological quantum phase transition from mirror to time reversal symmetry protected topological insulator; P. S. Mandal et. al.

NEUER SCHALTPROZESS IN SPINTRONISCHEN BAUELEMENTEN

Ein Forscherteam hat in einem ferromagnetischen Material aus ringförmigen Nanostrukturen einen magnetischen Schaltprozess beobachtet, der einen Weg zu neuen, energiesparenden Datenspeichern aufweist.

Magnetische Datenspeicher basieren stets auf Bauelementen mit zwei stabilen magnetischen Zuständen, zwischen denen sich hin- und herschalten lässt. Geeignet für solche Bauelemente sind ringförmige Strukturen aus einem permanentmagnetischen Material mit winzigen Durchmessern von Tausendstel-Millimetern. Diese Nanoringe können im oder gegen den Uhrzeigersinn magnetisiert sein. Allerdings gelingt das Umschalten zwischen den beiden Zuständen bisher nur, wenn ein komplexes zirkular magnetisches Feld anliegt. Wie es leichter gehen könnte, hat ein Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus verschiedenen Forschungseinrichtungen in Deutschland gezeigt: Wird das Loch im Ring nicht mittig, sondern leicht asymmetrisch angeordnet, dann wird das Umschalten ganz einfach. Ein magnetisches Feld, das nur wenige Milliardstel-Sekunden lang stabil sein muss, genügt, um die Magnetisierung zu drehen. An der Maxymus-Beamline von BESSY II konnte das Team mithilfe von zeitaufgelöster Röntgen-Mikroskopie beobachten, wie sich die Magnetisierung entwickelt, nachdem der kurze Magnetfeldpuls angelegt wurde: So bilden sich durch den magnetischen Puls zunächst zwei Domänenwände im Ring aus. Sobald das äußere magnetische Feld abgeschaltet wird, bewegen sich die Domänenwände sehr schnell aufeinander zu und vernichten einander. Dadurch dreht sich die Magnetisierung vom Uhrzeigersinn in die Gegenrichtung um. „Unsere Messungen zeigen, dass sich die Domänenwände im Durchschnitt 60 Meter pro Sekunde bewegen. Dies ist sehr schnell für spintronische Anwendungen“, sagt Dr. Mohamad-Assaad Mawass, Erstautor der Publikation. „Wir sind davon überzeugt, dass wir einen robusten, zuverlässigen Umschaltprozess gefunden haben, der sich für Anwendungen in der Spintronik, etwa für die energieeffiziente Datenspeicherung, eignet“, sagt Mawass. arö

Phys. Rev. Applied 7, 044009 (DOI: 10.1103/PhysRevApplied.7.044009): Switching by Domain-Wall Automotion in Asymmetric Ferromagnetic Rings; M.-A. Mawass, K. Richter, A. Bisig, R. M. Reeve, B. Krüger, M. Weigand, H. Stoll, A. Krone, F. Kronast, G. Schütz, and M. Kläui

MAGNETISCHE SPEICHER MIT LICHT STEUERN

Ein Forscherteam hat am HZB gezeigt, wie das Schalten von **magnetischen Materialeigenschaften per Laserlicht** funktioniert. Die Ergebnisse liefern auch wichtige Hinweise für das theoretische Verständnis von optisch steuerbaren Magnet-Datenspeichern.

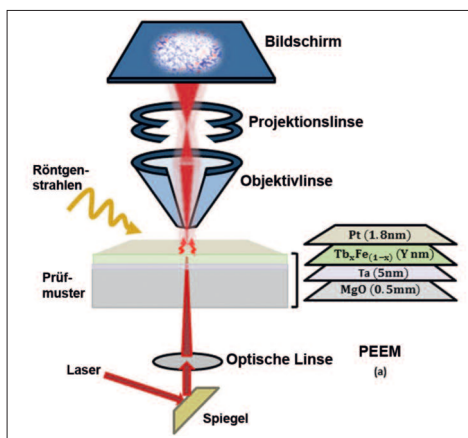
Rasant zunehmende Mengen an Daten sowie neue technische Anwendungen verlangen nach Speichern, die viele Informationen auf sehr kleinem Raum festhalten können und sich zuverlässig mit hoher Zugriffsgeschwindigkeit nutzen lassen. Besonders aussichtsreich erscheinen magnetische Datenspeicher, die mit Laserlicht beschrieben werden. An dieser neuen Technologie arbeiten Forscher seit einigen Jahren. „Bislang sind jedoch noch etliche Fragen zu den grundlegenden Mechanismen und zur genauen Funktionsweise optisch steuerbarer Magnetspeicher offen“, sagt Dr. Florian Kronast, stellvertretender Leiter der Abteilung

Materialien für grüne Spintronik am HZB. Ein Forscherteam unter seiner Leitung konnte erstmals experimentell belegen, dass die Erwärmung des Speicher-

experimentelle Besonderheit: Der eng fokussierte Lichtfleck des Lasers hatte einen Durchmesser von nur drei Mikrometern. „Das ist weit weniger, als bei bisherigen Experimenten üblich war“, sagt HZB-Wissenschaftlerin Ashima Arora, die Erstautorin der Studie. Und es ermöglichte den Forschern eine bislang einzigartige Detailschärfe bei der Untersuchung der Phänomene. Die Abbildungen der magnetischen Domänen in der Legierung, die das Team mithilfe von Röntgenlicht aus der Synchrotron-Strahlungsquelle BESSY II erstellte, offenbarte Feinheiten selbst von 30 Nanometer Größe. Dabei bildet sich um den schmalen Laserfleck herum ein ringförmiger Bereich, der zwei magnetisch unterschiedliche Regionen voneinander trennt. Innerhalb des Rings ist das zuvor vorhandene Muster der Magnetisierung durch die Erwärmung vollständig ausgelöscht. In der Zone außerhalb bleibt es dagegen in der ursprünglichen Form erhalten. In dem schmalen Ring dazwischen stellt sich eine Temperaturverteilung ein, die eine Änderung der Magnetisierung durch Verschieben der Domänenränder ermöglicht. „Nur dort spielt sich das Schalten der Materialeigenschaften ab, bei einem Speicher also das Ablegen der Daten“, erklärt Arora.

„Diese neuen Erkenntnisse werden helfen, optisch gesteuerte Magnetspeicher mit den bestmöglichen Eigenschaften zu entwickeln“, meint Florian Kronast. Zu einem besseren Verständnis der dafür wichtigen physikalischen Prozesse trägt ein weiterer Effekt bei, den die Forscher am HZB erstmals und überraschend beobachtet haben: Die Art, wie das Schalten der Magnetisierungen geschieht, hängt empfindlich von der Dicke der mit Laserlicht bestrahlten Materialschicht ab. Sie ändert sich bei einem Wert der Schichtdicke zwischen 10 und 20 Nanometern. „Das ist ein deutliches Indiz dafür, dass zwei unterschiedliche Mechanismen eine Rolle spielen und miteinander konkurrieren“, erklärt Kronast. Dafür kommen zwei komplexe physikalische Effekte in Frage. Um herauszufinden, um welchen es sich handelt, sind aber weitere Untersuchungen nötig. *rb/HZB*

Schematischer Aufbau des Experiments.

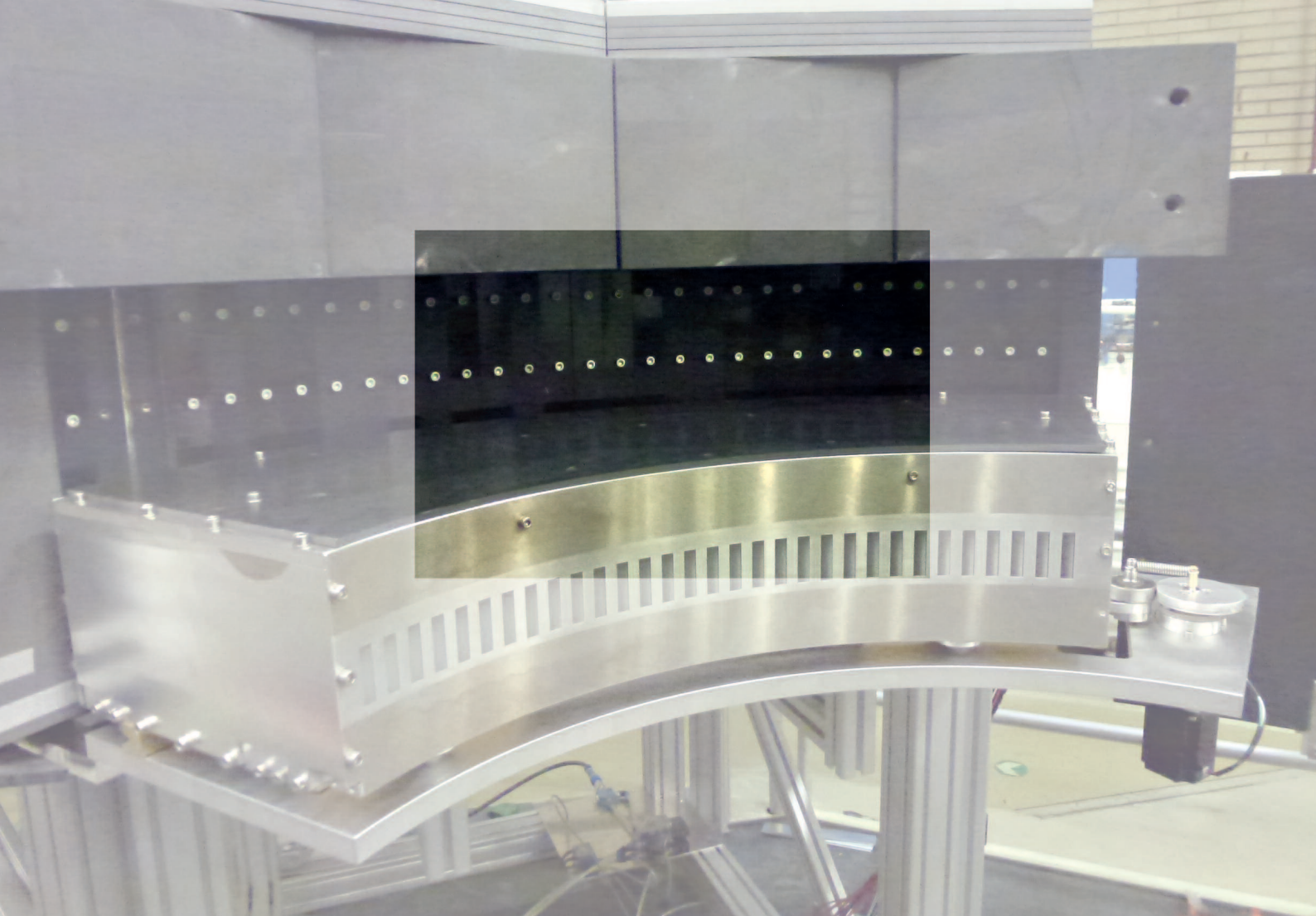


materials durch die Energie des Laserlichts eine entscheidende Rolle beim Schalten der Magnetisierung spielt, und dass die Veränderung im Material nur unter bestimmten Bedingungen erfolgt.

Präzise Messungen in winzigem Laser-Lichtfleck

Die Wissenschaftler des HZB sowie der Freien Universität Berlin und der Universität Regensburg untersuchten die mikroskopischen Vorgänge hochaufgelöst beim Bestrahlen einer dünnen Schicht aus magnetischem Material mit zirkular polarisiertem Laserlicht. Dazu richteten sie das Licht eines Infrarotlasers auf eine nanometerdünne Schicht der Legierung TbFe aus den Metallen Terbium und Eisen. Die

Scientific Reports, Vol. 7, Art. 9456, 2017 (DOI: 10.1038/s41598-017-09615-1): Spatially resolved investigation of all optical magnetization switching in TbFe alloys; A. Arora, M.-A.-Assaad Mawass, O. Sandig, C. Luo, A. A. Ünal, S. Radu, S. Valencia, and F. Kronast



METHODENENTWICKLUNG FÜR DIE FORSCHUNG AN HZB-GROSSGERÄTEN

Am **Drei-Achsen-Spektrometer FLEXX an der Neutronenquelle BER II** werden magnetische Anregungen und Gitterschwingungen in Materialproben gemessen. Diese zeichnen sich oft durch eine charakteristische Beziehung aus Anregungsenergie und Streuwinkel aus. Ein Messpunkt am FLEXX misst genau einen Winkel und einen Energieübertrag und dauert, je nach Probe, einige Sekunden bis einige Minuten. Allerdings möchten Forscherinnen und Forscher möglichst schnell möglichst viele Winkel und Energien vermessen. Dies ermöglicht das neue Detektormodul MultiFLEXX, das vom FLEXX-Team entwickelt und in der

Werkstatt des HZB angefertigt wurde. Hier lassen sich 31 Winkel und fünf Energieüberträge gleichzeitig messen. MultiFLEXX setzt sich also aus 155 Einzel-Detektoren zusammen. Jeder hat zwar eine Zählrate, die etwa fünf- bis zehnmal kleiner ist als für einen einzelnen Punkt am FLEXX. Dennoch wird die Messzeit mindestens um den Faktor zehn verkürzt. Besonders interessant ist das für Nutzerinnen und Nutzer, die das Anregungsverhalten von Proben bei unterschiedlichen Temperaturen oder Magnetfeldern verfolgen wollen. HZB-Teams und externe Nutzer haben den Detektor bereits in mehreren Experimenten erfolgreich eingesetzt.

HOCHFELDMAGNET ERMÖGLICHT EINBLICK IN EINE VERSTECKTE ORDNUNG

Seit Langem gibt die **kältebedingte Veränderung der Kristallstruktur** einer bestimmten Uranverbindung der Forschung Rätsel auf. Ein Physikerteam am HZB konnte dank des Hochfeldmagneten an BER II, der Neutronenexperimente unter extrem hohen magnetischen Feldern ermöglicht, mehr Licht ins Dunkel bringen.

Kristalle aus den chemischen Elementen Uran, Ruthenium, Rhodium und Silizium haben eine geometrisch einfache Struktur und sollten keine Geheimnisse mehr bergen. Doch das ist nicht der Fall, im Gegenteil. Bei tiefen Temperaturen unterhalb von 17,5 Kelvin entsteht eine neue innere Ordnung: Etwas in der kristallinen Geometrie verändert sich, was zur Abgabe einer gewissen Wärmemenge führt, die wie ein Fingerabdruck auf die neue Ordnung hinweist, ohne Details über ihre Natur zu verraten. Bekannt war bis vor Kurzem nur, dass es sich nicht um eine Ordnung mit statischen magnetischen Momenten handelt. Mehr als 1000 Publikationen sind bereits über dieses Thema erschienen, ohne den Schleier zu lüften. Dennoch lassen sich magnetische Ordnungen auf verschiedene Weise in solchen Proben erzeugen, zum Beispiel

durch Dotieren mit Fremdelementen, Druck oder sehr hohe Magnetfelder. Dies könnte helfen, mehr Licht auf den unbekanntem Ordnungszustand zu werfen. Um zumindest diejenigen magnetischen Ordnungen zu untersuchen, die auf der versteckten Ordnung basieren und sich mit extremen Magnetfeldern hervorrufen lassen, haben Physiker aus dem HZB, dem HZDR und den Universitäten in Leiden und Amsterdam, Niederlande, perfekte Kristalle aus $U(Ru_{0.92}Rh_{0.08})_2Si_2$ bei tiefen Temperaturen und extrem hohen Feldern mit Neutronen untersucht.

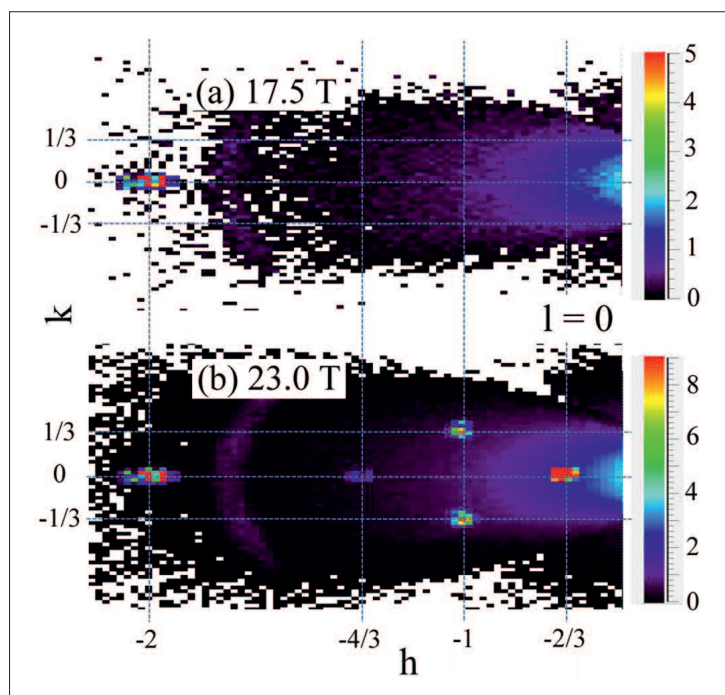
Phasenübergang bei 21,6 Tesla

„Die Neutronenstreuexperimente unter extrem hohen Magnetfeldern haben gezeigt, dass es bei etwa 21,6 Tesla wirklich einen neuen magnetischen Phasenübergang gibt“, erklärt Erstautor Dr. Karel Prokeš aus dem HZB.

„Das bedeutet, dass sich im Kristall eine neue magnetische Ordnung durchsetzt“. Dabei handelt es sich um eine unkompenzierte antiferromagnetische Ordnung, in der die magnetischen Momente der Uran-Atome abwechselnd im Muster „up-up-down“ in entgegengesetzte Richtungen zeigen.

Übrigens: Als Prokeš das gemeinsame Manuskript bei der renommierten Physical Review B einreichte, erhielt er innerhalb von 19 Minuten eine positive Antwort: Die Arbeit wurde als „Rapid Communication“ publiziert – ein neuer Geschwindigkeitsrekord, der etwas über die Bedeutung dieses Experiments für die Festkörperphysik aussagt.

arö



Ab einem Magnetfeld von 23 Tesla erscheinen zusätzliche Flecken auf dem Neutronendetektor, die etwas über die neue magnetische Ordnung im Kristall verraten.

Phys. Rev. B 96, 121117(R), (DOI: 10.1103/PhysRevB.96.121117): Magnetic structure in a $U(Ru_{0.92}Rh_{0.08})_2Si_2$ single crystal studied by neutron diffraction in static magnetic fields up to 24 T; K. Prokeš, M. Bartkowiak, O. Rivin, O. Prokhnenko, T. Förster, S. Gerischer, R. Wahle, Y.-K. Huang, and J. A. Mydosh

WIE SICH DNA GEGEN LICHT SCHÜTZT

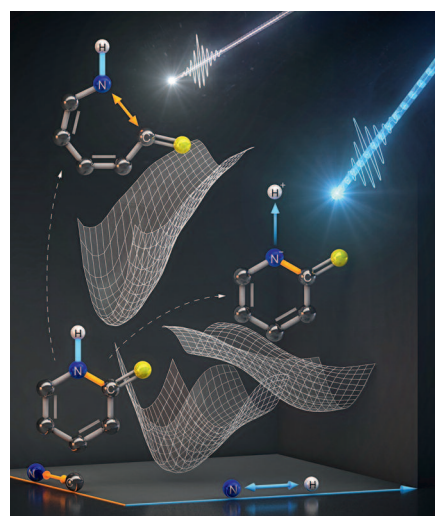
Ein internationales Team aus Forschenden des HZB sowie aus Schweden und den USA hat beobachtet, wie die Energie von **einfallenden Photonen in Biomolekülen** aufgenommen wird. Für die Experimente kam auch ein sehr empfindliches Messverfahren an BESSY II zum Einsatz.

Biomoleküle wie die Erbsubstanz DNA benötigen Schutzmechanismen gegen energiereiches Licht. Denn UV-Anteile aus dem Sonnenlicht würden sonst rasch dazu führen, dass Bindungen brechen und Moleküle zerfallen. Der sogenannte Protonentransfer spielt dabei eine wichtige Rolle. Mit ihm kann ein DNA-Molekül die über das Licht eingestrahlte Energie wieder abgeben – dabei löst sich ein einzelnes Proton (Wasserstoffkern) –, und andere chemische Bindungen bleiben erhalten.

Um den Prozess im Detail zu untersuchen, hat eine Kooperation um Prof. Alexander Föhlisch, Institutsleiter am HZB, in Kalifornien am LCLS-Laser des SLAC National Accelerator Laboratory und an BESSY II Experimente durchgeführt: Sie untersuchten ein verhältnismäßig einfaches Molekül, das 2-Thiopyridon (2-TP). Dieses Molekül hat ähnliche Eigenschaften wie die Bausteine der DNA und dient in der Bioforschung deshalb als Modellmolekül.

Aufschlussreicher Vergleich von Messdaten

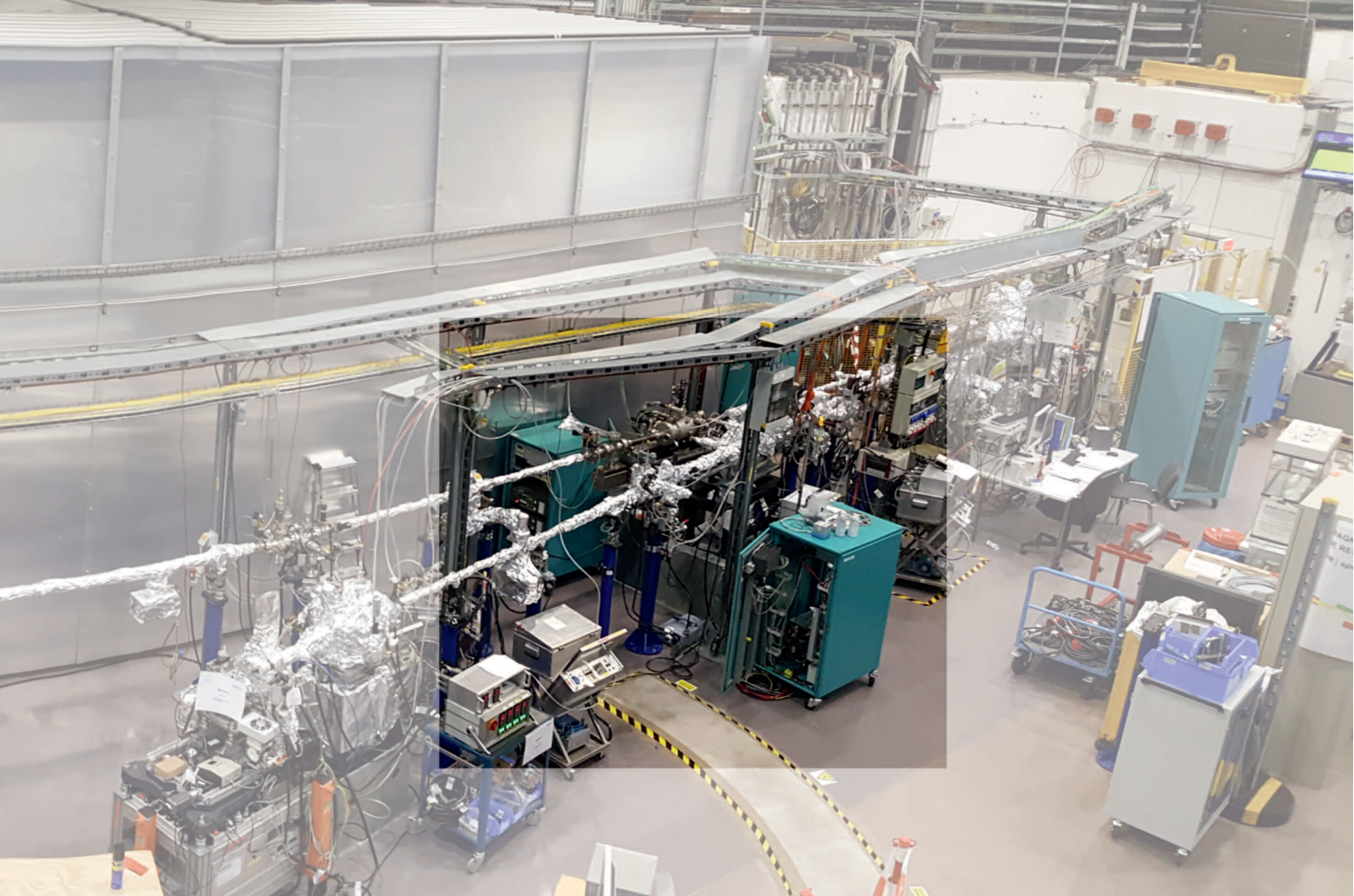
Die Kooperation besteht aus Wissenschaftlern der Universität Potsdam, des HZB, der Universität Stockholm, der Universität Washington und SLAC National Accelerator Laboratory. Die Forschergruppe regte zunächst gezielt das Stickstoff-Atom im Molekül mit sehr kurzen Röntgenpulsen im Femtosekundenbereich (10^{-15} s) an. Die Ergebnisse zeigen im Detail, wie sich – nach der Anregung mit dem Lichtpuls – das an das Stickstoff-Atom gebundene Proton ablöst. Das ist ein wichtiger Schritt zu einem besseren Verständnis des sogenannten Protonentransfers im angeregten Zustand in der DNA und anderen Molekülen. „Erst einmal wollten wir diese Prozesse an einem einfachen Modellsystem untersuchen“, sagt Erstautor Sebastian Eckert. Er promoviert im Rahmen des ERC Advanced Grants EDAX von Alexander Föhlisch an der Universität Potsdam. „Das Modellsystem 2-Thiopyridon ist geeignet, da das Molekül klein genug ist, um verstanden zu werden, und da es nur ein einziges Stickstoff-Atom besitzt. Nur durch den Vergleich zwischen den FEL-Messungen und Experimenten am Synchrotron BESSY II ließ sich der Mechanismus eindeutig zuordnen.“ Dabei hat das Team erstmals auch die Methode der sogenannten inelastischen Röntgen-



Die Experimente zeigen: Lichtpulse können Wasserstoffkerne ablösen, ohne weitere Bindungen im Molekül zu zerstören.

streuung, RIXS, an BESSY II angewendet, um molekulare Veränderungen um das Stickstoff-Atom herum zu beobachten, die mit dem raschen Protonentransfer zusammenhängen und extrem schnell, innerhalb von Femtosekunden, ablaufen. Mit den hochauflösenden Röntgenstrahlen von BESSY II lassen sich diese ultraschnellen Veränderungen beobachten. Durch die Kombination der Experimente mit theoretischen Simulationen konnte letztlich der Reaktionspfad herausgearbeitet werden. Diese Berechnungen führten der Doktorand Jesper Norell und Prof. Michael Odelius der Universität Stockholm im Rahmen des Helmholtz Virtuellen Instituts „Dynamic Pathways in Multidimensional Landscapes“ durch. Demnächst wird die Kooperation den gleichen Ansatz nutzen um komplexere Moleküle zu untersuchen. Ziel ist es, weitere Erkenntnisse über große Bandbreite photochemischer Reaktionen zu gewinnen. *arö*

Angew. Chem. Int. Ed. 2017, Vol. 56, Issue 22, 6088-609 (DOI: 10.1002/anie.201700239): Ultrafast Independent N-H and N-C Bond Deformation Investigated with Resonant Inelastic X-ray Scattering; S. Eckert, J. Norell, P. S. Miedema, M. Beye, M. Fondell, W. Quevedo, B. Kennedy, M. Hantschmann, A. Pietzsch, B. Van Kuiken, M. Ross, M. P. Minitti, S. P. Moeller, W. F. Schlotter, M. Khalil, M. Odelius and A. Föhlisch



BESCHLEUNIGERFORSCHUNG UND -WEITERENTWICKLUNG

Das **Röntgenmikroskop HZB-TXM** ist wieder in Betrieb. Das TXM ermöglicht elementspezifische Aufnahmen von wichtigen molekularen Prozessen in Zellmembranen und in der Katalyse unter Beteiligung von Silizium, Schwefel sowie Phosphor – und dies mit deutlich besserer Qualität im Vergleich zum Vorgängermodell. Aufnahmen an identischen Testobjekten zeigen die Vorzüge des neuen TXM. Das Röntgenmikroskop steht an dem im Sommer 2017 neu eingerichteten U41-L06-PGM1-XM-Strahlrohr, das Licht im „Tender X-Ray“-Bereich liefert, das heißt im Energiebereich von 2 keV bis 2,5 keV.

Das Design der Beamline wurde in Kooperation mit Rolf Follath entworfen, der inzwischen am Paul-Scherrer-Institut in

der Schweiz tätig ist. Den Aufbau der Beamline unterstützen insbesondere Matthias Mast und Jan-Simon Schmidt vom Institut für Nanometeroptik und Technologie. Während des Shutdowns des TXM hat das Team die Software zur Kontrolle des TXM sowie von Teilen der Beamline auf den neuesten Stand gebracht. Diese läuft nun an einer neuen Arbeitsstation auch unter den aktuellen Versionen der Betriebssysteme Linux (Debian) OS, EPICS und QT. Dies konnte gemeinsam mit dem Einbau einer sensibleren Kamera für das integrierte Fluoreszenzlicht-Mikroskop realisiert werden. Beide Projekte erfolgten im Rahmen der Bachelor- und Master-Arbeit von Catharina Häbel an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin.

NEUE FUNKTIONEN FÜR BESSY II

Mit dem Ausbau der Lichtquelle BESSY II zum **Variablen Pulslängen-Speicherring** wird das HZB weltweit über die erste Synchrotronlichtquelle verfügen, die brillante Röntgenpulse von unterschiedlicher Dauer liefert. Das eröffnet der Forschung an Energiematerialien ganz neue Möglichkeiten.

Seit 1998 gibt es BESSY II – eine Synchrotronlichtquelle der dritten Generation im VUV-Bereich und im weichen Röntgenbereich. Sie bietet hervorragende Bedingungen sowohl für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am HZB, die das Licht vor allem für die Forschung an Energiematerialien nutzen, als auch für die rund 2.000 Forschungsgäste, die jedes Jahr aus aller Welt nach Berlin reisen, um an BESSY II ihre Proben zu untersuchen. Zurzeit liefert BESSY II im Regelbetrieb brillante Röntgenpulse mit einer Dauer von 17 Pikosekunden (1 Pikosekunde = 10^{-12} s). Bereits jetzt ist es möglich, den Betriebsmodus für einige Tage im Jahr so umzuschalten, dass Proben auch mit kürzeren Pulsen von etwa drei Pikosekunden untersucht werden können. Kurze Pulse werden benötigt, um zum Beispiel schnelle atomare Prozesse zeitaufgelöst darzustellen. Ihre Bereitstellung reduziert bislang aber den Photonenfluss auf einen Bruchteil der Intensität.

BESSY-VSR bietet kurze und längere Lichtpulse

Das Upgrade bringt folgende Neuerungen: BESSY-VSR wird sowohl kurze Lichtpulse mit einer Länge von zwei Pikosekunden als auch längere Pulse von 15 Pikosekunden bieten. Dabei bleibt der hohe Photonenfluss auch bei den kürzeren Pulsen erhalten. Nutzerinnen und Nutzer können die für ihr Experiment benötigte Pulslänge auswählen und für Experimente, die unterschiedliche Pulslängen benötigen, Lichtpulse verschiedener Längen kombinieren.

Am HZB wird dies die Forschung an Energiematerialien weiter voranbringen. Unter anderem können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler während einer chemischen Reaktion verfolgen, wie sich die Elektronenstruktur der Reaktionspartner verändert. „Ich freue mich sehr, dass wir den Senat der Helmholtz-Gemeinschaft von der Qualität des Projekts überzeugen konnten“, sagt der kommissarische wissenschaftliche Geschäftsführer des HZB, Prof. Bernd Rech. „Mit dem Upgrade stellen wir sicher, dass wir auch in Zukunft in Berlin eine weltweit nachgefragte Synchrotronlichtquelle betreiben werden.“

Um BESSY-VSR zu realisieren, werden unter anderem supraleitende Hochstrom-Kavitäten benötigt. Für die Weiterentwicklung dieser Kavitäten und den Aufbau des Anwendungs-



Leuchtturmprojekt BESSY-VSR: Mit dem Ausbau von BESSY II zu einem Variablen Pulslängenspeicherring wird sich die Attraktivität der Synchrotronquelle für Forscherinnen und Forscher aus der ganzen Welt erhöhen.

labors „SupraLab@HZB“ stellt das Land Berlin 7,4 Millionen Euro aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) bereit. Mit den Geldern entwickeln die Forschenden zusammen mit Industriepartnern die Technologie weiter, bis sie bei BESSY VSR und in anderen Synchrotronlichtquellen einsatzfähig ist. Insgesamt werden circa 29,4 Millionen Euro in den Ausbau von BESSY II investiert.

Breite Zustimmung in der Fachgemeinschaft

Dem Projektantrag und der Befürwortung seitens der Helmholtz-Gemeinschaft ging ein intensiver Dialog in der Fachgemeinschaft voraus. Das HZB hat damit sichergestellt, dass die Nutzerbedürfnisse bei der Weiterentwicklung von BESSY II eine zentrale Rolle einnehmen. Das Komitee „Forschung mit Synchrotronstrahlung“, das die deutschen Synchrotron-Nutzer vertritt, befürwortete den Ausbau von BESSY-VSR und hob dessen Relevanz hervor: Durch BESSY-VSR würden einzigartige, neue Möglichkeiten für Wissenschaftler aus Deutschland und aller Welt zur Verfügung stehen. BESSY-VSR ist wesentlicher Bestandteil der HZB-Strategie 2020+, für die das HZB die ausdrückliche Zustimmung des Aufsichtsrats und der Helmholtz-Gemeinschaft erhalten hat.

ih



Mehr als 2.000 Forschungsgäste kommen jedes Jahr zum HZB, um die teilweise einzigartigen Experimentiermöglichkeiten an den Beamlines und Instrumenten der Lichtquelle BESSY II zu nutzen.



Die Synchrotronquelle BESSY II wird im Rahmen der HZB-Strategie 2020+ zu einem Variablen Pulslängen-Speicherring (VSR) ausgebaut. Dann stehen den Forschenden brillante Röntgenpulse unterschiedlicher Dauer zur Verfügung.

ZAHLEN UND FAKTEN AUS DEM HZB

22

Prozent Frauenanteil hatte das HZB beim 654 Mitarbeiter umfassenden wissenschaftlichen Personal zum Jahresende 2017. Gemessen an der Gesamtzahl der 1.155 Beschäftigten lag der Frauenanteil bei 29,3 Prozent.

81

Prozent betrug 2017 die HZB-externe Nutzung der Strahlzeit an BESSY II.

6.584

Stunden (823 Schichten oder 274 Tage) wurde die Speicherringanlage BESSY II im Jahr 2017 für die wissenschaftliche Nutzung betrieben. Das entspricht einer Verfügbarkeit von 75 Prozent. 922 Stunden (124 Schichten oder 41 Tage) waren für Beschleunigerstudien reserviert.

252

Kooperationen unterhielt das HZB Ende 2017 mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen – eine deutliche Steigerung gegenüber dem Vorjahr (137).

22

junge Studierende aus 15 Ländern haben im Sommer 2017 acht Wochen lang im Rahmen des beliebten Sommerprogramms am HZB gearbeitet. Ihre Betreuung übernahmen wieder engagierte HZB-Forscherinnen und Forscher.

462

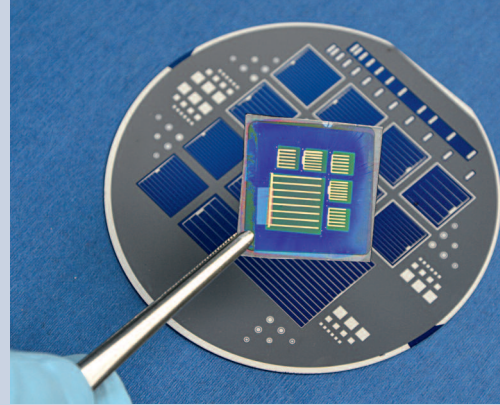
ISI- oder SCOPUS-zitierte Publikationen wurden 2017 von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am HZB veröffentlicht.

19,48

Millionen Euro an Drittmittelerträgen konnte das HZB 2017 verbuchen. Darin enthalten sind circa 4,96 Millionen Euro aus Auftragsforschung, 3,15 Millionen Euro aus Leistungen an Dritte, rund 3,38 Millionen Euro Projektförderung des Bundes und etwa 3,37 Millionen Euro von der Europäischen Union.



Das Sommerprogramm am HZB ist bei Studierenden aus aller Welt sehr beliebt. 2017 arbeiteten 22 junge Leute aus 15 Ländern wieder einen Sommer lang mit Forscherinnen und Forschern an verschiedensten Projekten des HZB.



Am HZB arbeiten zahlreiche Forschungsgruppen an Energiematerialien. Ein Ziel ist es, die Materialklasse der metallorganischen Perowskite für Solarzellen nutzbar zu machen.

174

Doktoranden betreute das HZB im Jahr 2017. Dabei wurden 34 Dissertationen am HZB abgeschlossen.

9

Nachwuchsgruppen forschten 2017 am HZB, im Jahr zuvor waren es erst vier Gruppen. Von diesen Nachwuchsgruppen sind acht im POF-Bereich „Erneuerbare Energien“ angesiedelt, eine weitere im POF-Bereich „Von Materie zu Materialien und Leben“.

4,66

Millionen Euro nahm das HZB 2017 aus dem Technologietransfer ein. Etwas mehr als 1,61 Million Euro stammten aus Forschungs- und Entwicklungs-Kooperationen und FuE-Aufträgen mit Wirtschaftsunternehmen aus dem In- und Ausland, fast eine Million Euro aus anderen FuE-Kooperationen. Aus Infrastrukturverträgen stammten weitere rund 2,09 Millionen Euro.

5

Patente wurden dem HZB 2017 erteilt. Der Patentbestand des HZB umfasste zum Jahresende 2017 215 Patente. 26 Patente sind Gegenstand laufender Lizenzverträge. Bei zwölf Erfindungsmeldungen aus dem Jahr 2017 evaluieren das HZB und externe Technologieexperten derzeit, ob sie patentiert werden können und/oder wirtschaftlich verwertbar sind.

75

Kooperationen ist das HZB allein im Jahr 2017 mit Unternehmen neu eingegangen. Damit hat sich die Gesamtzahl der laufenden Partnerschaften mit der Industrie von 109 im Vorjahr auf nun 135 noch einmal deutlich erhöht. Davon entfielen fast 30 Prozent auf Kooperationen mit internationalen Partnern und fast 32 Prozent auf gemeinsame Projekte mit kleinen und mittleren Unternehmen.

149

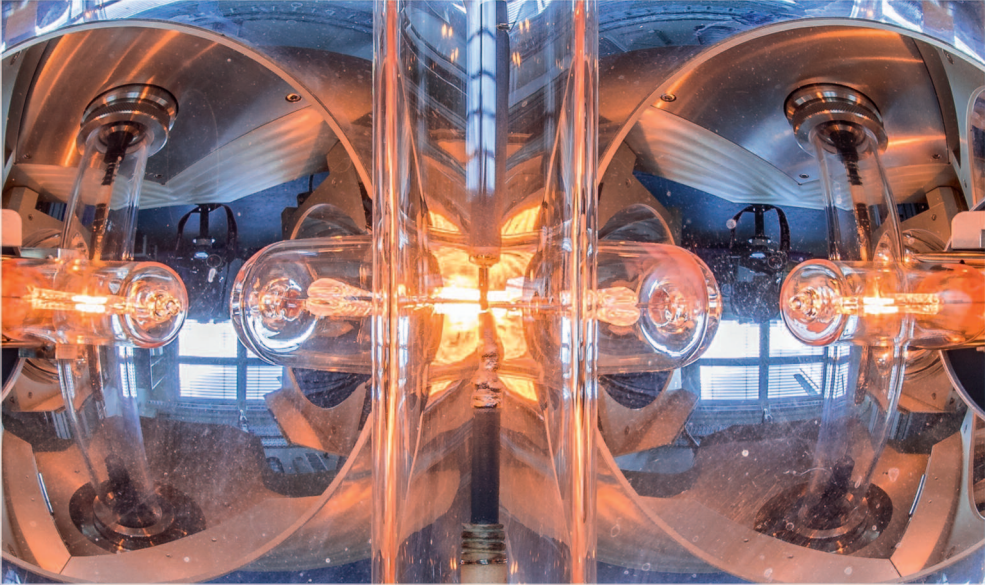
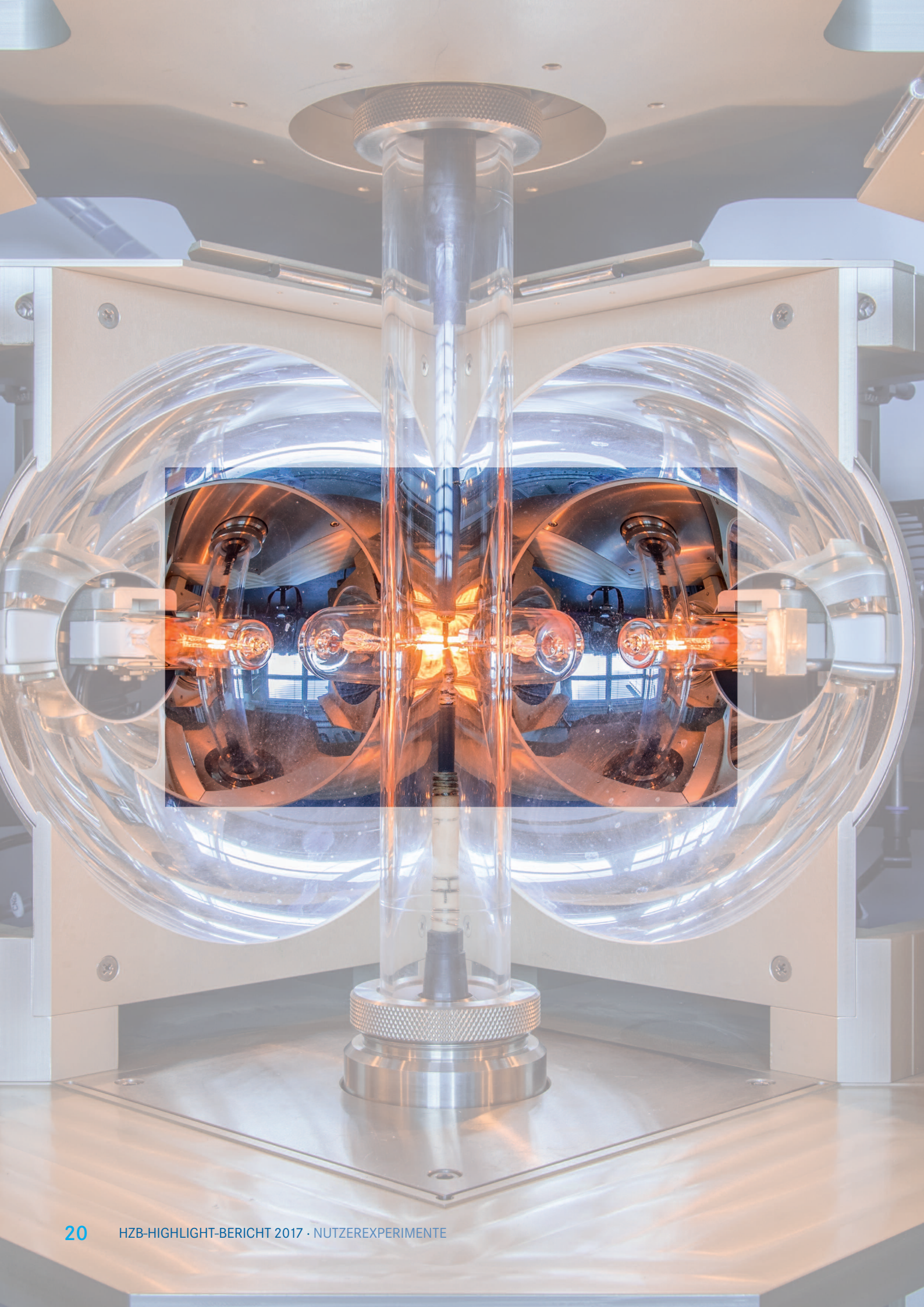
Tage in 13 Reaktorzyklen war der Forschungsreaktor BER II im Jahr 2017 im Leistungsbetrieb. Damit war an zehn Instrumenten insgesamt 1.475 Instrumententage regulärer Nutzerbetrieb möglich. 199 Instrumententage wurden für Instrumententwicklung und Wartung benötigt. Die verbleibenden 1.276 Experimententage konnten die internen und externen Messgäste für ihre Experimente nutzen.

3.000

Schülerinnen und Schüler experimentierten 2017 in den beiden Schülerlaboren an den Standorten Wannsee und Adlershof. 60 Prozent von ihnen kamen aus Grundschulen, die anderen aus Gymnasien, Sekundarschulen oder Oberstufenzentren.

40

Jugendliche und junge Erwachsene befanden sich Ende 2017 am HZB in Ausbildung.



NUTZEREXPERIMENTE

Das **Neutronen-Flugzeitspektrometer NEAT II** konnte 2017 seine ersten Nutzer begrüßen. Das Instrument eignet sich besonders, um die Dynamik und Struktur in sehr breiten Zeit- und Raumskalen von 10^{-14} bis 10^{-10} Sekunden sowie von 0,05 bis etwa 5 Nanometern zu untersuchen. Der Umbau des Vorgängerinstruments NEAT I begann im Jahr 2010 nach einem strengen internen und externen Selektionsprozess und führte nun zu einem 70-fach höheren Neutronenfluss, einer verbesserten Winkelauflösung, einem größeren Wellenlängenbereich und einem Design, das für Anwendungen mit 15 Tesla-Magneten geeignet ist.

Das von der Europäischen Union mit zehn Millionen Euro geförderte **Forschungsprojekt CALIPSOplus**, an dem auch das HZB beteiligt ist, ging 2017 an den Start. Ziel des Projekts mit einer Laufzeit von vier Jahren ist es, den internationalen Austausch von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie den transnationalen Zugang zu den 19 beteiligten europäischen Lichtquellen zu fördern. Das HZB leitet im Rahmen von CALIPSOplus das Arbeitspaket „Dissemination und Training“ und ist am Forschungsprojekt MOONPICS zur Metrologie von Nanometer-Optiken beteiligt.

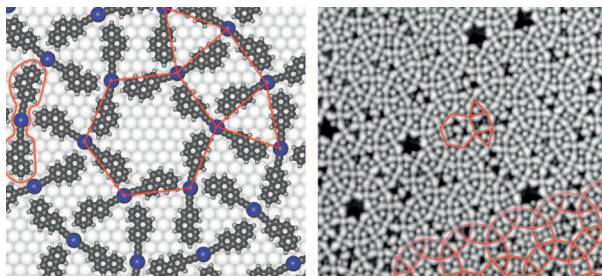
Mit dem **CoreLab Quantenmaterialien** etablierte das HZB 2017 bereits sein sechstes CoreLab für die Forschung an Energiematerialien. Ein Forscherteam vom HZB-Institut für Quantenphänomene in neuen Materialien um Prof. Dr. Bella Lake und Dr. Konrad Siemensmeyer hat das CoreLab mit dem modernen Gerätepark aufgebaut und betreut es auch. Externe Forscherinnen und Forscher können dieses CoreLab ebenfalls nutzen und dabei von der Expertise des HZB-Teams profitieren.

Am **Energy-Materials In-Situ Laboratory Berlin (EMIL)** konnte 2017 erstmalig die aus dem Undulator UE48 kommende Strahlung von der Experimentierhalle der Synchrotronlichtquelle BESSY II bis in das EMIL-Labor zum CAT-Experiment gefädelt werden. Dort wurde es mit einer Fokus-Messkammer quantitativ vermessen. Alle für den späteren Messbetrieb wichtigen Parameter wie Strahldurchmesser ($108 \times 56 \mu\text{m}^2$), Photonenfluss (circa 10^{12} s^{-1}) sowie Auflösungsvermögen (50 meV bei 400 eV) entsprachen den Erwartungen und den berechneten Werten. Damit verspricht das Strahlrohr eines der leistungsfähigsten seiner Art in diesem Energiebereich zu werden.

EINFACHE ORGANISCHE MOLEKÜLE ERSCHAFFEN KOMPLEXE MUSTER

Ein internationales Forscherteam unter Führung der Technischen Universität München (TUM) hat einen chemischen Reaktionsweg entdeckt, der aus einfachen **zweidimensionalen Netzwerken exotische Schichten mit halbregulärer Struktur** erzeugt. Materialforscher könnten damit neue Materialien mit außergewöhnlichen Eigenschaften entwickeln.

Um eine Fläche mit gleichförmigen Kacheln lückenlos zu pflastern, kommen nur wenige geometrische Grundformen in Frage: Drei-, Vier- und Sechsecke. Mit zwei oder mehr Kachelformen lassen sich wesentlich mehr und deutlich komplexere Muster erzeugen, die immer noch regelmäßig sind, die sogenannten Archimedischen Parkettierungen. Auch Materialien können eine solche Parkettierung aufweisen. Diese Strukturen sind häufig mit ganz besonderen Eigenschaften verbunden, etwa mit außergewöhnlicher elektrischer Leitfähigkeit, spezieller Lichtreflektion oder extremer mechanischer Belastbarkeit. Doch es ist schwierig, solche Strukturen gezielt zu erzeugen. Dafür



Der neue Baustein (links, roter Umriss) besteht aus zwei konvertierten Ausgangsmolekülen, die durch ein Silber-Atom (blau) verbunden sind. Dadurch entstehen komplexe, halbreguläre „Parkettmuster“ (rechts, Mikroskopbild).

sind große molekulare Bausteine nötig, die nicht mit den konventionellen Herstellungsprozessen kompatibel sind.

Komplexes Parkettmuster durch Selbstorganisation

Bei einer Klasse supramolekularer Netzwerke ist einem internationalen Team um Prof. Dr. Florian Klappenberger und Prof. Dr. Johannes Barth vom Lehrstuhl für Experimentalphysik an der TUM sowie Prof. Dr. Mario Ruben vom Karlsruher Institut für Technologie ein Durchbruch gelungen: Sie brachten organische Moleküle dazu, sich zu größeren Bausteinen zu verbinden, die selbstorganisiert ein komplexes Parkettmuster bilden. Als Ausgangsverbindung nutzten sie Ethynyl-Iodophenanthren, ein handliches organisches Molekül aus drei aneinandergeschlossenen Kohlenstoffringen,

das ein Iod- und ein Alkin-Ende besitzt. Auf einem Silbersubstrat bildet dieses Molekül zunächst ein regelmäßiges Netz mit großen sechseckigen Maschen. Eine Wärmebehandlung setzt eine Abfolge chemischer Prozesse in Gang, die einen neuartigen, deutlich größeren Baustein erzeugen. Der bildet dann quasi automatisch und selbstorganisiert eine komplexe Schicht mit kleinen sechs-, vier- und dreieckigen Poren. Dieses Muster wird in der Sprache der Geometrie als semireguläre 3.4.6.4-Parkettierung bezeichnet.

Molekülbau an BESSY II beobachtet

„Unsere an der TUM durchgeführten Rastertunnelmikroskopie-Messungen zeigen deutlich, dass am Molekülbau viele Reaktionen beteiligt sind, was normalerweise zu zahlreichen Abfallprodukten führt. Hier jedoch werden alle Abfallprodukte wiederverwendet, sodass der Gesamtprozess zuverlässig zum gewünschten Endprodukt führt“, erklärt Florian Klappenberger. Wie es dazu kommt, fanden die Forscher durch weitere Experimente heraus. „Mit Hilfe röntgenspektroskopischer Messungen am Elektronenspeicherring BESSY II konnten wir entschlüsseln, wie sich Iod vom Ausgangsstoff abspaltet, Wasserstoffatome zu neuen Plätzen wandern und die Alkin-Gruppen ein Silberatom einfangen“, berichtet Yi-Qi Zhang, Erstautor der Studie. Mit Hilfe des Silber-Atoms binden sich in der Folge zwei Ausgangsbausteine zu einem neuen, größeren Baustein aneinander. Die neuen Bausteine bilden anschließend die beobachtete komplexe Porenstruktur. „Wir haben einen völlig neuen Weg entdeckt, um komplexe Materialien aus einfachen organischen Bausteinen herzustellen“, fasst Klappenberger zusammen. „Das ist wichtig, um Materialien mit neuen und extremen Eigenschaften gezielt synthetisieren zu können. Außerdem tragen diese Ergebnisse dazu bei, Emergenz, also ein spontanes Auftauchen von Komplexität in chemischen und biologischen Systemen, besser zu verstehen.“ *arö/TUM*

Nature Chemistry, 10, 296–304 (DOI: 10.1038/nchem.2924): Complex supramolecular interfacial tessellation through convergent multistep reaction of a dissymmetric simple organic precursor, Yi-Qi Zhang et. al.

ORGANISCHE HALBLEITER – MIT LICHT NEGATIV DOTIERT

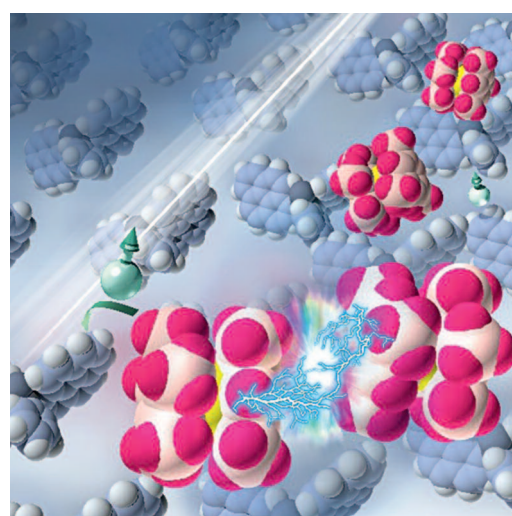
Einem deutsch-amerikanischen Forscherteam ist es gelungen, durch einen zweistufigen Prozess die **Leitfähigkeit organischer Halbleiter** deutlich zu erhöhen. Mögliche Einsatzbereiche sind Leuchtdioden und Solarzellen.

Halbleiter-Bauelemente werden überall eingesetzt, nicht nur in Mikrochips, sondern auch in Solarzellen, die Licht in elektrische Energie umwandeln sowie in vielen anderen Anwendungen des täglichen Lebens. In den vergangenen Jahren werden verstärkt auch organische Halbleitermaterialien untersucht und weiterentwickelt. Ihre Eigenschaften basieren auf dem gezielten Einbau von einer geringen Anzahl fremder Atome oder Moleküle, was ihre Leitfähigkeit präzise einstellbar macht. Dies geschieht bei einem als Dotieren bezeichneten Verfahren, bei dem positive (p) oder negative (n) Moleküle in das Material eingebracht werden. Für interessante Anwendungen benötigt man sowohl sogenannte p-dotierte als auch n-dotierte Halbleiterschichten, die miteinander kombiniert und in den entsprechenden Bauelementen eingesetzt werden. Bei organischen Halbleitern ist es jedoch extrem schwierig, eine n-Dotierung zu erreichen: Dies erfordert den Einbau einer bestimmten Klasse von organischen Molekülen, die sich unter normalen Umgebungsbedingungen wie Sauerstoff oder Feuchtigkeit sehr rasch zersetzen.

Zwei Schritte zum Erfolg

Ein deutsch-amerikanisches Team hat einen neuen Ansatz ausprobiert, um organische Halbleiter mit n-Molekülen zu dotieren. An der Arbeit waren Gruppen aus dem Georgia Institute of Technology, der Princeton University, der Humboldt-Universität zu Berlin sowie dem Helmholtz-Zentrum Berlin beteiligt.

Der neue Ansatz besteht aus zwei Schritten. Im ersten Schritt wurden organometallische Moleküle, die n-Dotanden, zu einem sogenannten Dimer verbunden. Dieses gekoppelte Molekül ist im Gegensatz zu den Ausgangsmolekülen relativ stabil und lässt sich unzerstört in den organischen Halbleiter einbringen. Allerdings eignet es sich nicht als n-Dotand und setzt keine negativen Ladungen frei. Der revolutionäre zweite Schritt bestand nun darin, das Gemisch zu beleuchten. Die einfallenden Photonen zerlegen die Dimere in einem mehrstufigen Prozess wieder in die aktiven Ausgangsmoleküle, die dann ihre Wirkung als n-Dotanden voll entfalten konnten.



Die Illustration zeigt, wie Licht die gekoppelten Moleküle wieder in einzelne Moleküle zerlegt, die dann als n-Dotanden im organischen Halbleiter fungieren.

Leitfähigkeit und Lebensdauer gesteigert

„Durch die Aktivierung der Dotanden mit Licht konnten wir die Leitfähigkeit von organischen Halbleitern um fünf Größenordnungen steigern. Dies könnte die Effizienz von organischen Leuchtdioden und Solarzellen deutlich erhöhen“, sagt Prof. Antoine Kahn von der Princeton University, der das Projekt koordinierte. „Diese Forschungsarbeit ermöglicht eine weitaus einfachere Herstellung von n-dotierten organischen Halbleitermaterialien für vielfältigste Anwendungen. Dabei kann der kritische Schritt – nämlich die Zerlegung der Dimer-Moleküle mit Licht – auch nach der Verkapselung geschehen – sodass die Dotier-Moleküle geschützt bleiben. Dies wird auch die Lebensdauer solcher Bauelemente erhöhen“, erklärt Prof. Norbert Koch, der die gemeinsame Forschungsgruppe „Molekulare Systeme“ von der Humboldt-Universität zu Berlin und HZB leitet. *red/arö*

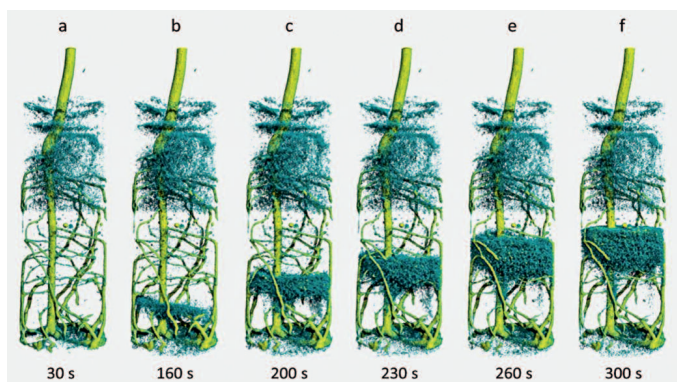
Nature Materials, 16, 1209–1215, 2017 (DOI: 10.1038/nmat5027): Beating the thermodynamic limit with photo-activation of n-doping in organic semiconductors; X. Lin, B. Wegner, K. Min Lee, M. A. Fusella, F. Zhang, K. Moudgil, B. P. Rand, S. Barlow, S. R. Marder, N. Koch, and A. Kahn

LUPINENWURZELN BEIM TRINKEN ZUGESCHAUT

Ein Team der Universität Potsdam hat gemeinsam mit der HZB-Bildgebungsgruppe am BER II die **Zeitauflösung der Neutronentomographie** um mehr als das Hundertfache verbessert.

Die Bodenforscher um Prof. Sascha Oswald von der Universität Potsdam sind regelmäßig Messgäste an der Neutronenquelle BER II. Denn Neutronen eignen sich hervorragend, um den Wassertransport im Boden und in Pflanzenwurzeln zu beobachten. In ihrem Experiment rotierte eine Lupinenpflanze im Bodenzylinder langsam,

aber durchgängig, während fortlaufend sehr kurze Aufnahmen gemacht wurden. Zusammen mit passgenauen technischen Veränderungen an der Bildgebungsanlage CONRAD-2 durch die HZB-Experten Dr. Nikolay Kardjilov und Dr. Ingo Manke gelingt eine 3D-Kartierung nun statt in einer Stunde binnen von nur zehn Sekunden.



Zeitaufgelöste Tomographie einer Lupinenwurzel (gelbgrün), nachdem deuteriertes Wasser (D_2O) von unten zugegeben wurde. Der Zeitverlauf zeigt die aufsteigende Wasserfront (H_2O , dunkelblau), die durch das D_2O von unten verdrängt wird. Die komplette Abfolge ergibt ein Video.

Damit konnten die Potsdamer Forscher erstmals in 3D beobachten, wie Wasser aus dem Boden in die Höhe steigt und wie die Wurzeln es dabei aufnehmen. „Dies war bislang mit dieser Zeitauflösung nur in Durchsicht durch die Probe, also in 2D, möglich“, erklärt Dr. Christian Tötze, Erstautor der Studie. Die Ergebnisse erweitern das Verständnis von Wechselwirkungen zwischen Wurzeln und Böden, das auch für Zucht und Anbau von Nutzpflanzen relevant ist. Außerdem ermöglicht die neue Aufnahmetechnik auch, schnelle Prozesse in Brennstoffzellen, Batterien oder Baustoffen in Echtzeit zu beobachten.

arö

Scientific Reports, 7, 6192, 2017 (DOI: 10.1038/s41598-017-06046-w): Capturing 3D Water Flow in Rooted Soil by Ultra-fast Neutron Tomography; C. Tötze, N. Kardjilov, I. Manke, S. E. Oswald.

STEUERBARE OPTISCHE EIGENSCHAFTEN VON GRAPHEN

Eine Forschergruppe hat an der Infrarot-Beamline IRIS an BESSY II die optischen Eigenschaften von dreidimensionalem nanoporösen Graphen untersucht, die für hochempfindliche chemische Sensoren in Frage kommen.

Ein Forscherteam unter Federführung einer Gruppe der Universität Sapienza in Rom konnte aus an den an der IRIS-Beamline gemessenen Daten ermitteln, wie sich Ladungsdichteschwingungen, sogenannte Plasmonen, im dreidimensionalen Graphen ausbreiten. Dabei stellten sie fest, dass diese Plasmonen den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie in 2D-Graphen folgen. Die Frequenz der Plasmonen lässt sich im 3D-Graphen jedoch sehr genau kontrollieren: Entweder durch Dotierung oder über die Größe der Nanoporen, oder auch, indem man bestimmte Moleküle gezielt an das Graphen anlagert. „Durch den low-Alpha Modus, eine besondere Betriebsform des BESSY II-Speicherrings, war es möglich, die optische Leitfähigkeit von dreidimensionalem Graphen mit besonders hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu messen. Mit Standard-Methoden ist dies vor allem im Terahertz-Bereich kaum möglich. Gerade dieser Bereich ist aber wichtig, um entscheidende physikalische Eigenschaften zu beobachten“, sagt Dr. Ulrich Schade, Gruppenleiter an der Infrarot-Beamline. arö

Nature Comms., 8, 14885 (DOI: 10.1038/ncomms14885): Terahertz and mid-infrared plasmons in 3D nanoporous graphene; F. D'Apuzzo et. al.

EINE LANDKARTE DER FERMI-OBERFLÄCHE

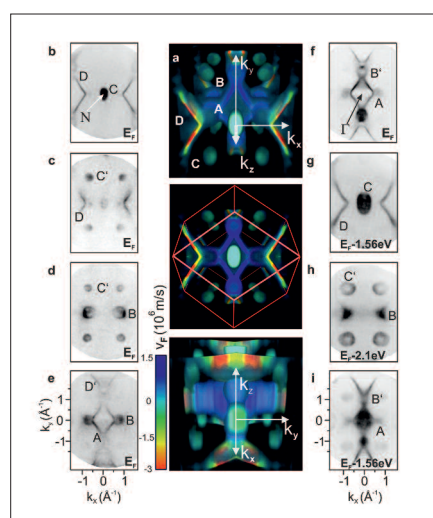
Durch Kombination von Experimenten in unterschiedlichen Spektralbereichen gelang es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am HZB, die **elektronische Struktur von Wolfram** präzise zu vermessen. Das eröffnet Perspektiven für neuartige maßgeschneiderte Materialien.

Weltweit sind Forscherinnen und Forscher neuartigen Werkstoffen auf der Spur. Das Ziel: Materialien mit außergewöhnlichen elektronischen Eigenschaften zu kreieren. Sie sollen sich zum Beispiel in hochempfindlichen Magnetfeldsensoren oder als Komponenten für eine künftige Spintronik nutzen lassen. Diese neue Form der Datenverarbeitung basiert auf dem Spin von Elektronen. Ein Beispiel sind sogenannte topologische Isolatoren – Festkörper, auf deren Oberfläche Strom fließen kann, die aber elektrische Ströme und Felder in ihrem Inneren vollständig abschirmen.

Um solche Materialien maßgeschneidert für bestimmte Anwendungen erschaffen zu können, ist es notwendig, die elektronischen und thermischen Merkmale ihrer Bausteine genau zu kennen. Diese Merkmale wiederum hängen vor allem von zwei charakteristischen physikalischen Größen ab: der Fermi-Oberfläche und der Fermi-Geschwindigkeit – mathematischen Konstrukten, mit denen Physiker die Energiezustände der Elektronen in einem Metall beschreiben. „Bei einem topologischen Isolator lässt sich aus der Anzahl von Schnittpunkten eines Energiebands mit der Fermi-Oberfläche auf seine möglichen abschirmenden Eigenschaften schließen“, erklärt Dr. Katarina Medjanik, die am Institut für Physik der Universität Mainz solche Werkstoffe erforscht. Gemeinsam mit einem Team aus sieben Forschungseinrichtungen in Deutschland, Großbritannien und der Schweiz ist es der Physikerin erstmals gelungen, die elektronische Struktur auf der Fermi-Oberfläche in Wolfram direkt zu bestimmen. Dazu nutzte das Team Messinstrumente an den Beschleunigeranlagen PETRA III des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY) in Hamburg und BESSY II.

Detaillierte Erkenntnisse dank BESSY II

„Wir begannen 2015 mit unseren Experimenten an BESSY II mit ultravioletter Strahlung niedriger Energie“, berichtet die Mainzer Forscherin. Dabei verwendeten die Forscher ein an der Universität Mainz und am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle entwickeltes neuartiges Verfahren namens Laufzeit-Impuls-Mikroskopie (time-of-flight momentum microscopy). Die damit gewonnenen Ergebnisse kombinierte das Team mit Daten aus Messungen in weichem



Für Physiker aussagekräftige Grafiken: die mittels Experimenten bestimmte Gestalt der Fermioberfläche und die Verteilung der Fermigeschwindigkeit in Wolfram. Die Kenntnis dieser Strukturen hilft den Forschern bei der Entwicklung maßgeschneiderter neuer Werkstoffe.

Röntgenlicht am Hamburger Beschleuniger. „Diese zum ersten Mal weltweit angewandte kombinierte Methode führte schließlich zum Erfolg“, sagt Medjanik. Dazu trugen besonders die Möglichkeiten am HZB bei: „Die Experimente dort lieferten sehr detaillierte und umfassende Informationen über das untersuchte elektronische System – und führten zugleich kaum zu Strahlungsschäden am Material“, sagt die Physikerin. Fachkollegen, die die Arbeit vor ihrer Veröffentlichung im Magazin *Nature Materials* begutachtet haben, bezeichneten das erzielte Resultat als „Durchbruch“, berichtet sie stolz.

„Wir haben zum ersten Mal gezeigt: Alle maßgeblichen Größen wie die Fermi-Oberfläche und die Verteilung der Fermi-Geschwindigkeit lassen sich aus den Messungen ableiten“, erklärt Medjanik. Die Experimente in Hamburg und Berlin erbrachten zudem das für die Forscher überraschende Ergebnis, dass „topologische Zustände“ auf normalen metallischen Oberflächen existieren. Was für Laien verwirrend klingt, erschließt den Materialwissenschaftlern neue Potenziale zur Gestaltung exotischer Materialien mit faszinierenden Einsatzmöglichkeiten. *rb*

Nature Materials, Vol 16, 2017 (DOI: 10.1038/nmat4875): Direct 3D mapping of the Fermi surface and Fermi velocity; K. Medjanik et. al.

HIGGS-ÄHNLICHE QUASITEILCHEN IM SPINSYSTEM

Manche **bizarren Effekte aus der Elementarteilchenphysik** lassen sich auch in festen Körpern finden. Einem internationalen Forscherteam ist es nun gelungen, ein solches – experimentell nur schwer fassbares – Phänomen sichtbar zu machen.

Der Name Higgs-Boson hat in der Physik einen gehaltvollen Klang. Jahrzehntlang waren Wissenschaftler auf der Suche nach dem Higgs-Boson – einem zunächst hypothetischen Elementarpartikel, dem eine zentrale Rolle im Standardmodell der Teilchenphysik zukommt: Das nach dem britischen Physiker Peter Higgs benannte Teilchen verkörpert ein mysteriöses Feld, das anderen Teilchen ihre Masse verleiht. Die Theorie dazu wurde in den 1960er-Jahren entwickelt. Doch erst 2012 gelang es Forschern am europäischen Beschleunigerzentrum CERN in Genf erstmals, das Teilchen aufzuspüren.

voraus – zum Beispiel in sogenannten Quanten-Antiferromagneten. Dort können bei einem Quanten-Phasenübergang ideale Bedingungen entstehen, um „Higgs-Amplituden-Moden“ zu beobachten: scheue Quasiteilchen, die normalerweise sehr schnell in andere Partikel zerfallen. Einem Team von Wissenschaftlern um den US-amerikanischen Physiker Dr. Tao Hong vom Oak Ridge National Laboratory im US-Bundesstaat Tennessee ist es gelungen, einen Blick auf diesen exotischen Zustand von Quantenmaterie zu werfen. Dazu verwendeten die Forscher eine metallorganische Verbindung, die Experten als DLCB bezeichnen. Sie besteht aus Kupfer-Ionen und eignet sich exzellent, um exotische Quanteneffekte zu untersuchen. Unter bestimmten Bedingungen gehen die Spins in dem Stoff von einer zweidimensional verketteten sprossenleiterartigen Anordnung in ein regelmäßiges flaches Gittergeflecht über.

Anregung mit kalten Neutronen

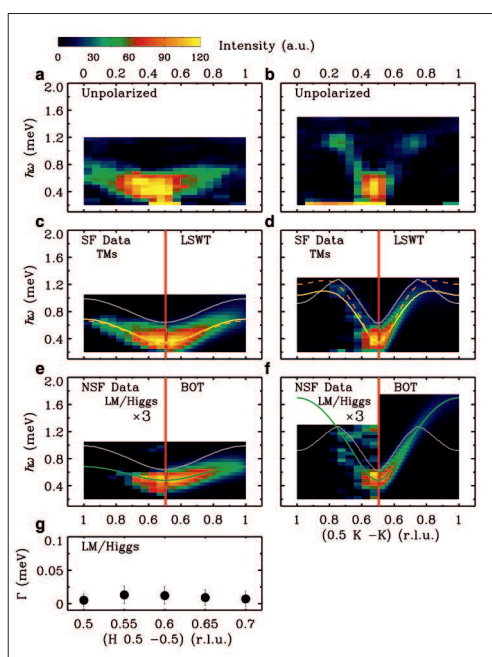
Hong und seine Kollegen beobachteten in DLCB bizarre Quanteneffekte und analysierten niederenergetische Anregungen. Dazu nutzten sie die unelastische Streuung von „kalten“ Neutronen – eine Methode, bei der energiearme Neutronen zur Anregung kristalliner Zustände in dem untersuchten Stoff führen. Einen Teil der Experimente machten die Wissenschaftler am dreiachsigen Neutronenspektrometer FLEXX am BER II.

Als Glücksfall für die Forscher erwies sich die spezielle Form der quantenmechanischen Energieniveaus in DLCB. Denn es verhindert einen raschen Zerfall der Higgs-Teilchen, wie er in den meisten anderen Materialien stattfindet. Das ließ genügend Zeit, um die Existenz der fremdartigen Gebilde zweifelsfrei nachzuweisen und ihre Merkmale zu messen. Die Ergebnisse sind vor allem für die Grundlagenforschung interessant, denn sie ermöglichen einen zuvor nicht möglichen Blick auf die Eigenschaften exotischer Quantenwerkstoffe.

rb

Nature Physics, Vol 13, 2017 (DOI: 10.1038/nphys4182): Higgs amplitude mode in a two-dimensional quantum antiferromagnet near the quantum critical point; T. Hong et. al.

Spindynamik im Visier polarisierter Neutronen: Die künstliche gefärbten Abbildungen zeigen die Spektren magnetischer Anregungen in Abhängigkeit von Energie und Impuls-austausch – sowie verschiedene Analysen der Messdaten. Sie ermöglichen den Forschern einen Blick auf Quantenphänomene in der Probe.



Scheue Teilchen im Quantenstoff

Inzwischen wissen die Physiker: Die Eigenschaften des Higgs-Bosons sind nicht einzigartig. Auch in der Festkörperphysik treten Effekte auf, die dem Mechanismus bei der Entstehung der Teilchenmassen ähneln. So treten in supraleitenden Materialien Partikel auf, die sich ähnlich verhalten wie Higgs-Teilchen. Und auch in anderen Quantensystemen sagt die Theorie die Existenz solcher Gebilde

SCHARFBlick AUF EIN KäFERFOSSIL

Im **hochauflösenden Licht der Berliner Synchrotronquelle BESSY II** haben Forscher die Identität eines in Bernstein eingeschlossenen Insekts aufgeklärt. Es verrät seine Herkunft anhand der Gestalt seines Geschlechtsorgans.

Moderkäfer kommen weltweit in vielerlei Formen vor. Etwa 800 Arten aus circa 30 Gattungen sind derzeit bekannt. Doch einst gab es noch mehr Arten aus dieser Käferfamilie, die Experten unter dem wissenschaftlichen Namen *Latridiidae* führen. Fast zwei Dutzend ausgestorbene Spezies haben Forscher bislang entdeckt. Viele Fossile fanden sie dabei luftdicht eingeschlossen in Bernstein aus dem Ostseeraum. Nun gelang es einem Team von Wissenschaftlern, eine neue Art zu identifizieren – mithilfe moderner Röntgenspektroskopie-Technik an BESSY II.

„Manche Arten von *Latridiidae* lassen sich nur durch eine genaue Untersuchung der Geschlechtsorgane männlicher Tiere unterscheiden“, sagt der Entomologe Dr. Hans-Peter Reike aus Chemnitz, der seit vielen Jahren an Käfern forscht. „Dazu gehören Moderkäfer der Gattung *Corticaria*.“ Der erste fossile Überrest eines Tieres dieser Moderkäfer-Gattung wurde 1845 in Bernstein entdeckt. Das Käferexemplar, das Reike gemeinsam mit einem Team von Forschern des HZB einer bisher einzigartigen Analyse unterzog, steckt in einem fingernagelgroßen, rund zwei Millimeter dünnen Stück Bernstein. Es ist vollständig erhalten und wird nur durch zwei feine Risse des einhüllenden Materials durchzogen. „Das Insekt gehört eindeutig zur Unterfamilie *Corticariinae*, die sich durch bestimmte Körpermerkmale auszeichnet“, erklärt der Chemnitzer Forscher. So besitzt es einen glatten Kopf ohne Furchen oder Kiele, die Vorderhüften sind nicht breit getrennt und die Halsschildseiten weisen einen fein gezähnten Rand auf.

Winzige Strukturen in 3D

Um herauszufinden, um welche Art der Moderkäfer es sich bei dem Fossil handelt, scannten die Wissenschaftler das Tier samt dem umgebenden Bernstein mit Röntgenlicht der Synchrotron-Strahlungsquelle BESSY II. Das Besondere daran: „Das Röntgenlicht aus dem Synchrotron ermöglicht – anders als die Strahlung herkömmlicher Röntgenquellen – hochaufgelöste und, noch viel wichtiger, hochkontrastreiche Abbildungen im sogenannten Phasenkontrast-Modus“, erklärt Dr. Ingo Manke, Wissenschaftler am HZB-Institut für Angewandte Materialforschung. Sie nutzt bei



Bauchansicht des in Bernstein eingehüllten Moderkäfers der Unterfamilie *Corticariinae*, der mit Hilfe des hochauflösenden Lichts der Synchrotronquelle BESSY II identifiziert werden konnte.

den Messungen neben der Amplitude auch die Phase der Lichtwellen aus, also die zeitliche Verschiebung deren periodischer Abfolge von Wellenbergen und -tälern. „Die Phasenkontrast-Methode ist vor allem bei der Untersuchung von Proben hilfreich, die leichte chemische Elemente enthalten“, sagt Manke – zum Beispiel Kohlenstoff, aus dem ein Großteil des Insektenpanzers besteht.

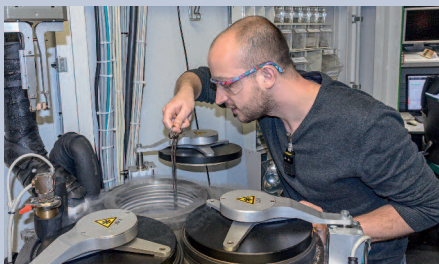
Beim Durchleuchten des Käfers an der Tomografie-Anlage des HZB konnten die Forscher selbst winzige Strukturen von rund einem Mikrometer Größe auflösen. Aus vielen einzelnen Aufnahmen erzeugten sie mit einer speziellen Software ein gestochen scharfes dreidimensionales Bild des Fossils. „Darauf ließ sich eindeutig die Struktur des männlichen Geschlechtsorgans erkennen“, sagt Reike. Ein Glücksfall für die Forscher: Denn so gelang es ihnen mühe-los, den Käfer einer neuen, bislang unbekanntem Art zuzuordnen.

rb

Zootaxa, 4242 (3), 578-590 (DOI: 10.11646/zootaxa.4242.3.9): Phase-contrast synchrotron microtomography reveals the internal morphology of a new fossil species of the *Corticaria-sylvicola*-group (Coleoptera: Latridiidae); H.-P. Reike, A. Bukejs, T. Arlt, N. Kardjilov, and I. Manke

GEMEINSAME FORSCHERGRUPPEN

HZB UND FREIE UNIVERSITÄT BERLIN BAUEN GRUPPEN FÜR „MAKROMOLEKULARE KRISTALLOGRAPHIE“ UND „RÖNTGENMIKROSKOPIE“ AUF.



Seit Jahren kooperiert die HZB-Arbeitsgruppe „Makromolekulare Kristallographie“ erfolgreich mit dem Lehrstuhl „Strukturbiochemie“ unter der Leitung von Prof. Markus Wahl an der Freien Universität Berlin. Diese Zusammenarbeit wird seit 2017 im Rahmen einer gemeinsamen Forschergruppe intensiviert. Ziel ist es, biochemische Vorgänge bei der Verarbeitung von genetischen Informationen zu untersuchen. Die Forschergruppe profitiert dabei insbesondere vom Zugang zu den drei MX-Beamlines, an denen Proteinkristalle mit dem Synchrotronlicht von BESSY II untersucht werden können. Während das HZB-Team vor allem an der Weiterentwicklung der Instrumentierung sowie an methodischen Aspekten der makromolekularen Kristallographie

forscht, bringt die Gruppe der Freien Universität Berlin ihre Expertise auf dem Gebiet der Struktur-Funktionsbeziehungen bei der Genregulation ein.

2017 startete darüber hinaus auch die gemeinsame Forschergruppe „Röntgenmikroskopie“, in der die Teams von Prof. Gerd Schneider am HZB und Prof. Helge Ewers von der Freien Universität Berlin ihre Expertisen bündeln. Während Ewers' Gruppe ihre Erfahrung auf dem Gebiet der Lichtmikroskopie und der biologischen Grundlagenforschung einbringt, betreut die HZB-Arbeitsgruppe die Röntgenmikroskopie an der Synchrotronquelle BESSY II. Mit Lichtmikroskopie- und Super-Resolution-Verfahren lassen sich Proteine mit Farbmolekülen markieren und in den Zellproben sehr gut lokalisieren. Die Röntgenmikroskopie ermöglicht es korrelativ, die Verteilung von Proteinen, Viren oder Nanopartikeln in den Zellen in einem relativ großen Bildausschnitt mit hoher Auflösung dreidimensional darzustellen. Beide Mikroskopie-Verfahren liefern damit ein umfassendes Bild von innerzellulären Strukturen und Prozessen.

STARTSCHUSS FÜR GEMEINSAMES LABOR MIT DEM IFW DRESDEN

Das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e.V (IFW) und das HZB haben 2017 ein Joint-Lab für „Funktionelle Quantenmaterialien“ aufgebaut. Beide Forschungsinstitute besitzen große Expertise in der Energie- und Materialforschung und in der Herstellung sowie der Analyse von dünnen Schichten. Auf dieser Expertise baut das gemeinsame Labor für Funktionelle Quantenmaterialien auf: Es soll neuartige Materialsysteme untersuchen, deren quantenphysikalische Eigenschaften potentiell nutzbar sind, etwa in künftigen energieeffizienten Informationstechnologien. Mit dem gemeinsamen Labor verstärken HZB und IFW Dresden ihre Zusammenarbeit und eröffnen neue Möglichkeiten für den wissenschaftlichen Nachwuchs. Dabei wollen die Forscher auch die gemeinsam an der Synchrotronlichtquelle BESSY II betriebenen Instrumente weiterentwickeln, die teilweise weltweit einmalig sind. Unter dem Dach des Joint-Lab arbeitet auch eine neue Nachwuchsgruppe, deren Leitung Dr. Alexander Fedorov übernommen hat.

HZB BAUT MIT MPG DAS LAB BELCHEM AUF

Das HZB baut mit der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) ein gemeinsames Labor für elektrochemische Untersuchungen an Fest-Flüssig-Grenzflächen auf. Das



„Berlin Joint Lab for Electrochemical Interfaces“, kurz BEIChem, nutzt Röntgenlicht von BESSY II, um Materialien für die regenerative Energiegewinnung zu analysieren. Für das BEIChem-Labor betreiben die Partner drei eigene Strahlrohre. Zwei davon erzeugen weiches Röntgenlicht, eines stellt härtere Röntgenstrahlung zur Verfügung. „Mit BEIChem schaffen wir ideale Bedingungen, um elektrochemische Prozesse in komplexen Materialsystemen unter realen Bedingungen aufzuklären. Zum Beispiel wollen wir analysieren, wie „Künstliche Blatt“-Systeme funktionieren, die mit Sonnenlicht Wassermoleküle spalten und Wasserstoff erzeugen“, sagt Prof. Roel van de Krol, der das HZB-Institut für Solare Brennstoffe leitet.

NEUES FORSCHUNGSPROJEKT MIT AVANCIS

ZIEL DES PROJEKTS IST DIE OPTIMIERUNG VON CIGS-DÜNNSCHICHTSOLARZELLEN IM AUSSENEINSATZ.

Das Photovoltaik-Kompetenzzentrum (PVcomB) am HZB bringt seine Expertise zur Optimierung der CIGS-Dünnschichtproduktion in das Verbundforschungsprojekt MyCIGS ein. Der Münchner CIGS-Modulhersteller AVANCIS koordiniert das Projekt, das vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert wird. Mit beteiligt sind auch die Universitäten in Oldenburg und Erlangen-Nürnberg.

Dünnschicht-Solarmodule auf Basis von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-Verbindungen, kurz CIGS, sind hoch-effizient, kostengünstig und vielseitig einsetzbar. Deshalb können sie aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften nicht nur auf Dächern, sondern auch an Gebäudefassaden eingesetzt werden. Die bauwerkintegrierte Photovoltaik (auf Englisch: building integrated photovoltaic, BIPV) bietet vielfältige neue ästhetische Gestaltungsmöglichkeiten. Dadurch lassen sich viele Flächen, besonders in Städten, neu erschließen.

Nachdem in vielen Projekten der Wirkungsgrad im Vordergrund steht, geht es beim MyCIGS Projekt darum, den Energieertrag unter realen Bedingungen im Außeneinsatz zu optimieren. Hierfür sind neben dem Wirkungsgrad zusätzliche Eigenschaften wie die Temperaturkoeffizienten und die Leistung bei geringer oder diffuser Beleuchtung entscheidend. Auch beim Einsatz von CIGS-Modulen an Fassaden und Gebäuden spielen diese Faktoren eine große Rolle. „Am PVcomB verfügen wir über langjährige Erfahrungen mit der Charakterisierung und Optimierung von CIGS-Dünnschichten“, erklärt Dr. Reiner Klenk, der für MyCIGS am PVcomB zuständig ist. Mit den zahlreichen am PVcomB etablierten Messmethoden können zentrale Parameter wie Temperaturkoeffizienten und Schwachlichtverhalten auf physikalische Prozesse im Solarmodul zurückgeführt werden. Das Forschungsprojekt passt hervorragend zur Strategie des PVcomB, über die Herstellungstechnologien hinaus neue Schwerpunkte im Bereich der Verkapselung, Zuverlässigkeit, Freifeld-Messung und Gebäudeintegration zu setzen. So wurde gerade im Rahmen des Helmholtz-Zukunftsprojekts Energiesystemintegration eine neue Arbeitsgruppe gegründet, die von Dr. Carolin Ulbrich geleitet wird. Auf einem Freifeld-Teststand des PVcomB kann diese Arbeitsgruppe nun die Energieerträge realer CIGS-Module messen sowie Daten zur lokalen Einstrahlung und Temperatur erheben.



Auf dem Freifeld-Teststand des PVcomB werden die Erträge von CIGS-Modulen unter realen Bedingungen erfasst.

WICHTIGE BERUFUNGEN



Prof. Christiane Becker, Leiterin der Nachwuchsgruppe „Nanostructured Silicon for Photonic and Photovoltaic Implementations“, hat eine unbefristete W2-Professur für das Fachgebiet „Experimentalphysik mit den Schwerpunkten Materialwissenschaften und Photonik“ an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) erhalten. Bereits 2014 war sie auf eine befristete W2-Professur an die HTW berufen worden.



Prof. Catherine Dubourdieu, Leiterin des „Instituts für Funktionale Oxide für die energieeffiziente Informationstechnologie“ am HZB, hat in einem gemeinsamen Berufungsverfahren im Dezember 2017 eine W3-S-Professur an der Freien Universität Berlin erhalten. Die Physikerin ist Expertin auf dem Gebiet der funktionalen Metalloxide, die interessante Kandidaten für die Informationstechnologie der Zukunft sind.

Gesellschafterversammlung
(Bund und Land Berlin)

Aufsichtsrat
(Vorsitzender: Dr. K. E. Huthmacher)

Wissenschaftlicher Beirat
Vorsitzender: Prof. Dr. Jack Fletcher

Wissenschaftlich-Technischer Rat
Vorsitzende: Prof. Dr. S. Schorr

Wissenschaftliche GF
Prof. Dr. B. Rech*

Geschäftsführung

Kaufmännische GF
Th. Frederking

Betriebsrat
Vorsitzender: N. Beck

Geschäftsführungsbüro (GF-GB) (Dr. A. Hasselberg)
Forschungsprogramme und -förderung (GF-FPF) (Dr. O. Schwarzkopf)
Kommunikation (GF-KOM) (Dr. I. Helms)
Recht und Verträge (GF-RV) (Dr. U. Behms)
Compliance Management (GF-CM) (C. Pursian)

Erneuerbare Energie
Sprecher: Prof. Dr. R. Schlattmann

Silizium-Photovoltaik (EE-IS) (Prof. Dr. N. Nickel*)

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

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

Nanoskalige Strukturen und mikroskopische Analyse (EE-ANS/MA) (Dr. M. Wollgastner*)

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

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

Operando Characterization of Solar Fuel Materials (EE-NOC) (Prof. Dr. K. Aziz-Lange)

Perowskit Tandemsolarzellen (EE-NPET) (Dr. S. Albrecht)

Operando Grenzflächen-Photochemie (EE-NOGP) (Dr. R. Seidel)

Materialien und Grenzflächen für stabile Perowskit Solarzellen (EE-NMIP) (Dr. A. Abate)

Hybride Materialien Formierung und Skalierung (EE-NIFS) (Dr. E. Unger)

Elektrochemische Umwandlung von CO₂ (EE-NECC) (Dr. M. Mayer)

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

Energie Materialien
Sprecher: Prof. Dr. S. Schorr

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

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

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

Methoden der Materialentwicklung (EM-IMM) (Dr. I. Wilkinson*)

Funktionale Oxide für die energieeffiziente IT (EM-IFOX) (Prof. Dr. C. Dubourdieu)

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

Struktur und Dynamik von Energiematerialien (EM-ASD) (Prof. Dr. S. Schorr)

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

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

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

Energiekatalyse (EM-GKAT) (Prof. R. Schögl)

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

Forschung an Großgeräten
Sprecher: Prof. Dr. A. Föhlisch

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

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

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

Nanometroptik und Technologie (FG-ANT) (Dr. J. Viehhaus*)

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

Hochempfindliche Röntgenspektroskopie (FG-AHSX) (Prof. Dr. T. Lau)

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

Nutzerplattform
Sprecher: Prof. Dr. A. Jankowiak

Nutzerkoordination (NP-ACO) (Dr. A. Vollmer)

Betrieb Reaktor BER II (NP-ABR) (Dr. S. Weize)

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

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

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

Präzisionspitter (S-PG) (Prof. Dr. M. Löggen)

Hochfeldmagnet (NP-AHFM) (Prof. Dr. B. Lake)

Optik und Strahlrohre (NP-AOS) (Dr. J. Viehhaus)

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

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

Probengabe (NP-ASE) (Dr. K. Kiefer)

Verfahrensmanagement Stilllegung BER II (NP-APMD) (Dr. A. Rupp)

Experimentnahe Technik 2 (NP-HII) (Dr. C. Jung)

Technische Nutzerunterstützung BESSY II (NP-AUP) (R. Schulz)

Konstruktion (NP-ATD) (L. Drescher)

Fertigung (NP-AMAN) (K. Tietz)

Makromolekulare Kristallographie (NP-GMX) (Prof. Dr. M. Wathl)

Röntgenmikroskopie (NP-GXM) (Prof. Dr. H. Ewers)

Administration (A) (Dr. D. Stiller)

Personal und Soziales (A-PS) (V. Meyer)

Finanz- und Rechnungswesen (A-FR) (Dr. D. Stiller)

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

Facility Management (FM) (R. Müller)

Planen und Bauen (FM-B) (O. Schüller)

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

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

Objektsicherung (FM-O) (F. Deisenbeck)

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

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

Informationstechnik (IT) (A. Finke)

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

Dienste und Software (IT-DS) (I. Heindel)

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

Infrastruktur (IT-IS) (Dr. D. Herrendörfer)

Befragte Personen für Sicherheit und Strahlenschutz (Th. Frederking)

Zentrale Sicherheit (GF-ZS) (R. Müller)

Strahlenschutz (GF-SZ) (Dr. G. Buchert)

Rückbau BER II (Dr. S. Weize / Dr. A. Rupp)

Helmholtz Energy Materials Foundry (HEMF) (Prof. Dr. R. van de Krol)

Helmholtz Energy Materials Characterisation Platform (HEMCP) (Prof. Dr. R. Schlattmann)

BESSY-VSR (Prof. Dr. A. Jankowiak, Prof. Dr. J. Knobloch, Prof. Dr. A. Föhlisch)

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

Institut

Nachwuchsgruppe/ Joint Laboratory

Gemeinsame Forschungsgruppe

Hauptabt. / Abteilung

Sonderaufgabe

Gremium

Gremium

* = Kommissarische Leitung

Lageplan

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



Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

IMPRESSUM

HZB-Highlight-Bericht 2017 des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie GmbH. Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.
Redaktionsschluss: Juli 2017

Herausgeber:

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

Redaktion:

Dr. Ina Helms (ih, V.i.S.d.P.), 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

Mitarbeit:

Ralf Butscher (rb)

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/Phil Dera, S. 2/3 HZB/Hans Georg Conradi, S. 4 HZB/Frank Kochanski, S. 6 Advanced Optical Materials, S. 15 HZB/Thomas Splettstößer, S. 17 Euroluftbild.de/Robert Grahn, S. 18 HZB/Dorothea Alber, HZB/Alber Mai, S. 20 HZB/Michael Setzpfandt, S. 22 TUM/F. Klappenberger, L. Zhang, S. 23 Jing Wang, Xin Lin, S. 24 Universität Potsdam/Christian Tötze, S. 25 Katerina Medjanik, S. 26 Tao Hong, S. 27 Hans-Peter Reike, S. 28 HZB/Uwe Müller, S. 29 HZB/Michael Setzpfandt

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