

ENERGIE IST UNSERE MATERIE



© info@fotografie-steinbach.de

HIGHLIGHTS 2019/2020

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

INHALT

Vorwort	3	Materie	23
Trotz Pandemie: Die Öffentlichkeitsarbeit geht weiter	4	Ladungstransfer analysiert	23
CatLab – Leuchtturm für die Wasserstoff-Forschung	5	Wasser ist homogener als gedacht	24
Unsere Energieforschung profitiert von BESSY II	6	Wie Elektrolyte metallisch werden	24
Erkennen, was die Community in Zukunft benötigt	8	Elektron-Phonon-Wechselwirkungen analysiert	24
		Neuer Probenhalter für die Proteinkristallographie	25
HIGHLIGHTS AUS DER FORSCHUNG	11	Zuschauen, wie Metall aufgeschäumt wird	25
Energie	13	Sonderausgabe zu Röntgenmethoden	25
Weltrekorde bei Tandem-Solarzellen	13	Alternatives Material für supraleitende HF-Kavitäten	26
Mögliche Ursache für hohe Wirkungsgrade aufgedeckt	14		
Anorganische Perowskite für Dünnschicht-Solarzellen	14	Nutzerexperimente	27
Bleifreie & stabile Perowskit-Solarzellen	14	Coronavirus SARS-CoV-2: Suche nach Wirkstoffen	27
Neutronen zeigen Zwillingsbildung in Halid-Perowskiten	15	Neue Molekülbibliothek für Suche nach Wirkstoffen	28
Perowskit-LED aus dem Drucker	15	„Molekulare Schere“ für den Plastikmüll	28
Amorphes Molybdänsulfid funktioniert am besten	15	Bindungsmechanismen von Wirkstoffen entschlüsselt	28
Auftrieb im Elektrolyten sorgt für Konvektionsströmung	16	Einblick in das Auge der Pflanzen	29
Maß für die Stabilität von Photoelektroden	16	Nanopartikel können Zellen verändern	29
Nanopartikel in Lithium-Schwefel-Akkus aufgespürt	16	Wie Malaria-Wirkstoffe die Erreger bekämpfen	29
Batterien mit Siliziumanoden	17	Neutronentomographie zeigt, wie Wurzeln "trinken"	30
Alterung von Lithium-Batterien analysiert	17	Wie Biomoleküle in Sinneszellen funktionieren	30
Neue 2D-Materialien mit Talent zur Energiespeicherung	17	„Geheimtinte“ auf antikem Papyrus vom Nil enthüllt	30
Laden und Entladen von Silizium-Elektroden	18	Wegweiser für Spinwellen	31
Neue Materialklasse für Energiespeicher von morgen	18	Borophosphate für effiziente Wasserspaltung	32
		Nicht alle Kristalle können ferromagnetisch werden	32
Information	19	Neue Wechselwirkung zwischen Licht und Materie	32
Topologische Materialien: Verlustfrei Signale übertragen	19	Bildung eines 2-D-meta-stabilen Oxids	33
„Tanzmuster“ von Skyrmionen vermessen	20	Effizienz in Ethanol-Brennstoffzellen	33
Mit Spannung Superferromagnetismus erzeugen	20		
Design-Werkzeug für kornenzieherförmige Nano-Antennen	20	VERMISCHTES	34
Germanium-Tellurid auf der Nanoskala	21	Preise und Auszeichnungen	34
Magnetische Monopole in Kagome-Spin-Eis-Systemen	21	Zahlen und Fakten aus dem HZB	36
Dreidimensionale Quanten-Spin-Flüssigkeit	21	Nachhaltigkeit am HZB	38
Robuste Hochleistungsdatenspeicher	22	Beratungsstelle für Bauwerkintegrierte Photovoltaik	39
		Die Instrumente aus dem BER II	40
		Impressum und Lageplan	43

VORWORT

Hinter uns liegen zwei sehr intensive Jahre. Ende 2019 haben wir planmäßig die Neutronenquelle BER II abgeschaltet, die Helmholtz-weiten Begutachtungen konnten gerade noch abgeschlossen werden, danach traf die Corona-Pandemie auch uns am HZB. Seit März 2020 mussten wir den Nutzerbetrieb an BESSY II stark einschränken. Der Laborbetrieb wurde heruntergefahren, viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben ihre Arbeit im Homeoffice organisiert. Doch auch in 2019 und 2020 sind im HZB wieder tolle Forschungsergebnisse erzielt worden. Eine Auswahl davon möchten wir Ihnen in diesem Zwei-Jahres-Highlight-Bericht vorstellen.

Letztendlich werden in dieser Ausgabe Neutronenexperimente vom BER II vorgestellt. Fast fünf Jahrzehnte lang hat der BER II tiefe Einblicke in Materialien ermöglicht. Die Abschaltung im Dezember 2019 hatten wir lange vorbereitet. Auch dadurch gelang es, die Weiterentwicklung der Experimentiereinrichtungen an anderen Neutronenquellen in die Wege zu leiten. Lesen Sie hierzu mehr auf Seite 40.

In all unseren Forschungsbereichen – Energie, Materie und Information – ist die wissenschaftliche Produktivität am HZB trotz Corona ungebrochen hoch und international sichtbar. Für große Aufmerksamkeit sorgten zum Beispiel die beiden Weltrekorde, die HZB-Teams für zwei unterschiedliche Tandem-Solarzellen erreicht haben. Außerdem gelang es uns zusammen mit der Max-Planck-Gesellschaft, mit dem Leuchtturm-Projekt, CatLab, ein neues Katalysezentrum zu initiieren. Mehr darüber erfahren Sie auf Seite 5.

Während der Lockdown- und Homeoffice-Zeit haben wir den wissenschaftlichen Austausch über neue digitale Plattformen ermöglicht und stetig verbessert.



Thomas Frederking, © HZB/M. Setzpfandt

Sogar das Nutzertreffen Ende 2020 musste digital stattfinden und war mit 460 Teilnehmenden ein großer Erfolg. Wir haben Erfahrungen gesammelt, auf die wir auch in Zukunft aufbauen können, auch mit der engen Zusammenarbeit über digitale Kanäle und Remote-Experimenten. Für die Umwelt könnte dies eine gute Nachricht sein, findet unser Umweltteam, denn Flugreisen haben bislang einen erheblichen Teil der Treibhausgasemissionen des HZB verursacht. Dennoch hoffen wir sehr, dass wir bald wieder Messgäste aus aller Welt bei uns begrüßen können.

Thomas Frederking
Kaufmännischer Geschäftsführer

Bernd Rech
Wissenschaftlicher Geschäftsführer

Jan Lüning
Wissenschaftlicher Geschäftsführer

IMMER AKTUELL INFORMIERT MIT DEM HZB-NEWSLETTER

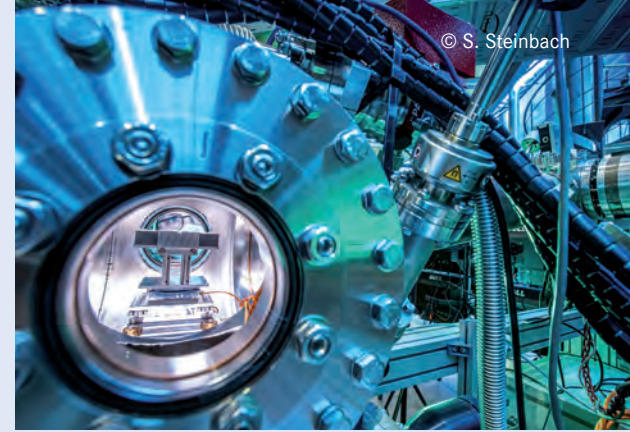
Möchten Sie regelmäßig Nachrichten aus dem HZB erhalten? Wir schicken Ihnen gern den monatlichen Newsletter zu. Sie können sich hier anmelden: hz-b.de/newsletter

Der BESSY-Newsletter richtet sich vor allem an die internationale Nutzerschaft von BESSY II. In englischer Sprache informiert er über Entwicklungen an BESSY II. Sie können sich hier anmelden: hz-b.de/newsletter-en

Follower HZB Social Media Kanäle



Aufrufe Januar 2019 bis Dezember 2020:
 Campusblog: 110.000, Scienceblog: 80.000,
 Youtube-Videos: 50.000



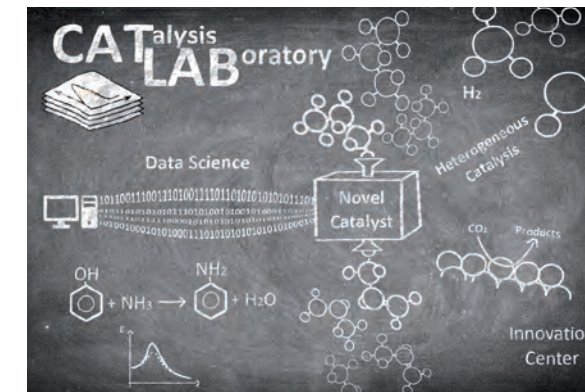
Das HZB in 360 Grad: hz-b.de/virtuelle-rundgaenge
Tour durch den Beschleuniger und mehr:
hz-b.de/einblicke-bessy2

CatLab – LEUCHTTURM FÜR DIE WASSERSTOFF-FORSCHUNG

Katalysatoren sind der Schlüssel für viele Technologien und Prozesse, die für eine **klima-neutrale Wirtschaft** benötigt werden. Um mit erneuerbaren Energien Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe zu produzieren, werden **innovative katalytische Prozesse** gebraucht. Die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung benennt dabei klar Forschung als Basis für Innovationssprünge. In Berlin baut das HZB nun mit Partnern aus der Max-Planck-Gesellschaft die Forschungsplattform CatLab auf.

Das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) arbeitet dafür mit dem Fritz-Haber-Institut (FHI) und dem Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion (MPI CEC) zusammen. „Mit CatLab etablieren wir einen neuen Forschungsschwerpunkt zur Katalyse in unmittelbarer Nachbarschaft zur Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II in Adlershof. Dort stehen modernste

bereits in den letzten Jahren eine einzigartige Operando-Messinfrastruktur an BESSY II aufgebaut und ergänzen uns hier perfekt. Damit konnten wir ein neues Funktionsmodell von Katalysatoren gewinnen, das mittels der Dünnschichttechnologie optimiert werden kann. Nun werden wir diese Aktivitäten unter dem Dach des CatLab weiterentwickeln und ausbauen.“



© HZB/S. Hlawenka

Synthese- und Analysemethoden bereit, um chemische und physikalische Abläufe während der katalytischen Prozesse in atomarer Auflösung und in Echtzeit zu analysieren“, sagt Bernd Rech, wissenschaftlicher Geschäftsführer am HZB. Robert Schlögl, Direktor am FHI und MPI CEC hebt hervor: „Wir haben

Auch die chemische Industrie ist eingebunden. Die BASF beteiligt sich am Aufbau sowie an der Skalierung der Prozesse und Entwicklung der Reaktoren. Außerdem gibt es Kooperationen mit der Humboldt-Universität, dem Exzellenzcluster UniSysCat und dem Labor BasCat (TU Berlin und BASF). Über diese Kooperationen können weitere Partner integriert werden.

Bundesforschungsministerin Anja Karliczek wünscht dem Projekt viel Erfolg und betont: „Grüner Wasserstoff ist eine Jahrhundertchance für den Industriestandort Deutschland und den Klimaschutz weltweit. Um die nachhaltige Wasserstoffwirtschaft zum Erfolg zu führen, brauchen wir Innovationssprünge. CatLab ist hierfür hervorragend aufgestellt. Mit der Zusammenarbeit von MPG und HZB, der Einbettung in die Berliner Forschungslandschaft und der Beteiligung von Unternehmen bündelt CatLab Spitzenkompetenzen entlang der gesamten Innovationskette.“

TROTZ PANDEMIE: DAS HZB IN DER ÖFFENTLICHKEIT

Der Austausch mit der Gesellschaft ist dem HZB wichtig. Wir empfangen Besuchergruppen, bieten Projektstage im Schülerlabor an, beteiligen uns an der Langen Nacht der Wissenschaften und organisieren Veranstaltungen wie Physik zum Frühstück oder Tage der offenen Tür. All dies mussten wir in 2020 als digitale Veranstaltungen weiterführen. Trotzdem blieb das HZB auch im Jahr der Corona-Pandemie öffentlich sichtbar.

96

Besuchergruppen haben 2019 das Synchrotron BESSY II, den Forschungsreaktor BER II oder Forschungslabore angeschaut und kamen mit HZB-Forschenden ins Gespräch. Das waren insgesamt über 1 800 Personen.

ca. **2 500**
 Youtube-Klicks verzeichnete der Video-Rundgang durch BESSY II zur Langen Nacht der Wissenschaft 2020.

4 400

Aufrufe bei Radio TEDDY Nachgefragt: Als Medienpartner hat das HZB 2020 für 12 Wochen jeweils ein Experiment der Woche präsentiert. Die Experimente wurden per Video auf der redaktionellen Webseite des Radiosenders gezeigt.

150

Interessierte haben im November 2020 die Online-Angebote des HZB zur Berlin Science Week genutzt. Als Live-Stream standen eine Podiumsdiskussion zum Thema Photovoltaik zur Wahl, ein Vortrag zur Wirkstoffentwicklung mithilfe von Proteinstruktur-Analysen sowie ein virtueller Rundgang durch BESSY II.

1 300

Besucher*innen konnte die Lange Nacht der Wissenschaften am HZB-Standort Wannsee im Jahr 2019 verzeichnen. 475 Menschen nahmen an Führungen durch den BER II teil.

127

Nachrichten und Science Highlights wurden 2020 veröffentlicht und **400 000-mal** abgerufen.

ca. **1 300**
 Personen erhielten 2020 monatlich den HZB-Newsletter. Der BESSY-II-Newsletter (Englisch) erreichte monatlich über 300 Personen.

In Berlin entsteht eine Forschungsplattform für die Katalyse, um Innovationssprünge in der Wasserstoff-Forschung zu erreichen. Dafür bündeln das **Helmholtz-Zentrum Berlin** und **zwei Max-Planck-Institute** ihre Kompetenzen und bauen gemeinsam mit der **Humboldt-Universität zu Berlin** die Forschungsplattform CatLab auf. CatLab soll eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und Industrie schlagen und wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung mit mehr als 50 Millionen Euro gefördert. Insgesamt umfasst das fünfjährige Aufbauprojekt rund 100 Millionen Euro.

UNSERE ENERGIEFORSCHUNG PROFITIERT VON BESSY II

Im Januar 2021 ist die aktuelle Förderperiode der Helmholtz-Gemeinschaft gestartet – auf Basis einer wissenschaftlichen Begutachtung der Zentren (2017/18) und der strategischen Evaluation der Forschungsthemen (2019/20). Im Interview erläutert **Bernd Rech**, der Sprecher der wissenschaftlichen Geschäftsführung, was uns in den nächsten Jahren erwartet.

Das HZB ist nun in die POF IV gestartet. Freuen Sie sich auf die neue Förderperiode?

Ja, ich freue mich sehr! Wir haben eine tolle Begutachtung hingelegt, die uns viel Auftrieb gibt, unsere Spitzenforschung weiterzuführen. Das ist vor allem unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu verdanken. Das war eine großartige Teamarbeit! Ich bin wahnsinnig neugierig auf die nächsten Jahre und auf spannende Forschungsergebnisse.

Welche Chancen liegen für das HZB in der POF IV?

Wir machen am HZB gesellschaftlich hochrelevante Forschung. In den Begutachtungen haben wir unsere Expertise und Ideen präsentiert, unter anderem zur solaren Energiewandlung, zu Quantenmaterialien, zur künstlichen Photosynthese und auch zum Themenkomplex Wasserstoff. Wir haben dafür überdurchschnittlich gute Bewertungen erhalten – ebenso für unser Großgerät BESSY II und die dafür sehr wichtige Beschleunigerphysik. Durch die positive Begutachtung dürfen wir nun diese Ideen umsetzen und können so sehr viel erreichen.

„Die POF IV erlaubt uns eine stabile Planung und bedeutet lange finanzielle Sicherheit.“

Was bringt uns die POF IV finanziell?

Die Begutachtung beschert uns einen Mittelzuwachs von jährlich zwei Prozent – das erlaubt uns eine stabile Planung, aber auch keine großen Sprünge. Der Finanzierungsrahmen der POF IV wurde für sieben Jahre festgezurr, das bedeutet für uns eine lange finanzielle Sicherheit, was sehr gut ist.

Das HZB bringt sich erstmals in den Helmholtz-Forschungsbereich Information ein. Was war die Motivation dafür?

Der Forschungsbereich Information ist Helmholtz-weit neu eingeführt worden. In den vielen Diskussionen



Prof. Dr. Bernd Rech © HZB/M. Setzpfandt

auch mit den anderen Zentren haben wir gemerkt, dass unsere Forschung zu Quanten- und funktionalen Materialien hervorragend hier reinpasst. Bislang war sie im Forschungsbereich Energie gebündelt. Jenseits dieses strukturellen Aspekts können wir mit unserer Forschung inhaltlich viel beitragen. Durch die Nähe zu BESSY II und zum BER II haben wir in den letzten Jahren viele spannende Ergebnisse zu Quantenmaterialien publiziert. Auch wenn wir ein kleiner Partner im Forschungsbereich Information sind, können wir unsere Stärken – die enge Verzahnung mit BESSY II und unsere Nähe zur Berliner Universitätslandschaft – einbringen.

Wie gelingt es, die Forschung noch enger mit der Entwicklung an BESSY II zu verknüpfen?

BESSY II ist ein inhärenter Teil unserer Forschung. Unsere Wissenschaftler*innen bauen neue Messplätze auf, betreuen Nutzerinnen und Nutzer und sind dadurch ganz dicht dran an den relevanten Fragestellungen. BESSY II und die Energieforschung sind nicht zwei Säulen des HZB, sie sind eine gemeinsame. Die Energieforschung profitiert vom Zugang zum

Synchrotronlicht – und BESSY II profitiert davon, dass neue Fragestellungen aus der Wissenschaft neue Untersuchungsmethoden erfordern. Diese enge Verbindung mit der Energieforschung gibt es so an keinem anderen Synchrotron und ist unsere klare Stärke.

Zwischen der wissenschaftlichen Begutachtung und dem Beginn der POF IV liegt ein längerer Zeitraum. Konnten Sie inzwischen schon einige Empfehlungen der Gutachter umsetzen?

Natürlich haben wir es nicht auf die lange Bank geschoben, die Empfehlungen umzusetzen. Ein Hinweis war zum Beispiel, dass wir unsere Aktivitäten in der Katalyse stärken sollen. Katalyse passt super sowohl zu unserer Energieforschung als auch zu BESSY II. Wir stellen momentan ein neues Leuchtturmprojekt gemeinsam mit der Max-Planck-Gesellschaft auf die Beine: das Projekt CatLab. Ein weiteres Beispiel: Die Gutachter empfahlen, die Tandem-Solarzellen-Technologie voranzutreiben, bei der wir weltweit an der Spitze stehen und die ein hohes Marktpotenzial hat. Auch hier haben wir investiert – und konnten unsere Spitzenposition bei den Perowskit-Tandem-Solarzellen ausbauen.

Die Bundesregierung hat kürzlich ihre Wasserstoffstrategie auf den Weg gebracht. Welches Potenzial sehen Sie für das HZB?

Ein sehr großes. Eine zentrale Frage der Strategie ist, wie der Wasserstoff umweltfreundlich hergestellt wird. Um einen Beitrag zur Energiewende zu leisten, muss Wasserstoff grün sein, das heißt mithilfe erneuerbarer Energien erzeugt werden. Genau das ist unser Thema! Wir sind an beiden Standorten stark in der künstlichen Photosynthese, den solaren Brennstoffen, und wir erforschen, wie wir CO₂ in wertvolle Grundstoffe umwandeln können. Das Schlüsselwort bei dieser Forschung ist die Katalyse. Wir müssen die chemischen und elektronischen Prozesse verstehen, um neue Katalyse-Materialien und die zugehörigen Prozess- und Reaktionstechniken zu entwickeln, die preiswert und effizient sind. Durch unsere Expertise in den Dünnschichttechnologien und durch BESSY II können wir wichtige Bausteine einbringen, auf die es bei der Umsetzung der Wasserstoffstrategie ankommt.

Darauf zahlt sicher auch das bereits angesprochene CatLab ein.

Genau, es ist ein wirklich visionäres Projekt! Basis ist der enge Schulterschluss mit Forschergruppen der Max-Planck-Gesellschaft, aber auch die Industrie beteiligt sich daran und die Berliner Universitäten werden wichtige Partner. Wir sind überzeugt, dass wir mit unseren verschiedenen Kompetenzen etwas Großes auf die Beine stellen können und damit neuen

Katalyse-Technologien zum Durchbruch verhelfen – übrigens auch dank der Nähe zu BESSY II. Das CatLab macht nur durch den schnellen Zugang zum Synchrotronlicht wirklich Sinn.

„BESSY II und die Energieforschung sind nicht zwei Säulen des HZB, sie sind eine gemeinsame.“

Welche Rolle spielt künftig der Wissenstransfer?

Wissenstransfer ist für mich eine Herzensangelegenheit. Wir leben in einer Wissensgesellschaft, in der die Forschung eine bedeutende Rolle spielt. Unsere Aufgabe ist es, Begeisterung, aber auch Verständnis für Wissenschaft zu wecken, sei es mit unserem Schülerlabor, Kindervorlesungen oder bei der Langen Nacht der Wissenschaften. Der Perspektivwechsel ist wichtig, denn dadurch gewinnen wir viele interessante Impulse. Auch unsere neu gegründete Beratungsstelle zur gebäudeintegrierten Photovoltaik ist sehr aktiv: Sie berät Stadtplaner, Architekten und Bauherren und trifft auf einen hohen Bedarf. Wissenstransfer muss also ein selbstverständlicher Bestandteil unserer Aktivitäten sein.

Die POF IV läuft bis Ende 2027 – das klingt noch weit weg. Werfen wir dennoch einen Blick in die Zukunft: Welche Technologien wird das HZB dann auf den Weg gebracht haben?

Okay, dann also ein Blick in die Glaskugel: Neue Photovoltaik-Technologien werden den Sprung in den Markt geschafft haben. Einige davon wären ohne HZB-Forschung längst nicht so weit. Ebenso gibt es effiziente Katalyse-Materialien und neuartige Batterien. Grüner Wasserstoff ist keine Vision mehr, sondern schon realistisch. Und unsere Forschung zu Quantenmaterialien, die an beiden Standorten stark ist, wird Kandidaten zur effizienten Informationsverarbeitung identifiziert haben. An BESSY II laufen neuartige Experimente an hochmodernen Strahlrohren, unterstützt durch künstliche Intelligenz, die Nutzerschaft ist weiter gewachsen und BESSY III auf den Weg gebracht. Durch unseren Technologietransfer erreichen wir, dass die Früchte unserer Arbeit bei der Industrie und der Gesellschaft ankommen. Aber das Wichtigste ist: Das HZB ist und bleibt ein lebendiger, innovativer Arbeitsort, an dem Talente aus der ganzen Welt zusammenkommen. Wir wollen nun unsere Phantasie nutzen, spannende Forschung machen und in den nächsten Jahren Durchbrüche erreichen.

Das Gespräch führten Silvia Zerbe und Ina Helms.

ERKENNEN, WAS DIE COMMUNITY IN ZUKUNFT BENÖTIGT

Seit 1. Juni 2019 ist Jan Lüning offiziell als wissenschaftlicher Geschäftsführer des HZB bestellt worden. Im Interview berichtet er über seine erste Zeit am HZB sowie die großen Aufgaben bei der Ertüchtigung der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II und der Planung der Nachfolgequelle BESSY III.

Der Forschungsreaktor BER II wurde Ende 2019 abgeschaltet. Aktiv haben Sie die erfolgreiche Neutronen-Ära am HZB nur kurz erlebt. Was hat Sie in dieser Zeit beeindruckt? Und wie geht es nun weiter mit der Anlage und den Instrumenten?

Die Reaktormannschaft hat den Nutzer*innen Experimente bis ganz zuletzt ermöglicht. Ich war in der Halle, als die Moderatorstäbe nach und nach hereingefahren wurden und der Neutronenfluss langsam abnahm. Die Kolleginnen und Kollegen an den Experimenten haben trotzdem weiter gemessen, wirklich bis zum letzten Neutron. Das war ein bewegender Moment, sicher auch mit Melancholie verbunden, aber das Engagement und die Begeisterung am Experimentieren waren klar zu spüren. Der zweite Aspekt ist die hervorragende Instrumentierung, die über die Jahre am BER II aufgebaut wurde. Unsere Instrumente sind für ihre Qualität weltweit anerkannt, deshalb gibt es auch die Nachfrage, sie an anderen Quellen weiter zu nutzen. Als jemand, der selber an der Entwicklung von Instrumenten beteiligt war, freue ich mich darüber ganz besonders. Inzwischen gibt es für alle hochspezialisierten Instrumente, die am BER II eingesetzt wurden, entweder schon eine neue Heimat oder eine konkrete Perspektive für eine weitere Nutzung.

„Wir stehen immer im Wettbewerb mit anderen Lichtquellen. Wir müssen also Impulse aufnehmen und erkennen, was die Community in der Zukunft benötigt.“

Die Begutachtungen des HZB im Januar 2018 haben die herausragende Bedeutung von BESSY II gerade auch für die Energieforschung aufgezeigt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, BESSY II in den nächsten zehn Jahren weiter auf Top-Niveau zu halten. Welche Maßnahmen sind geplant?

Nach 20 Jahren Betrieb ist eine grundlegende Ertüchtigung von BESSY II geplant. Alle Komponenten sind

in der mittelfristigen Finanzplanung für die nächsten zehn Jahre enthalten: von Beschleuniger, Spiegel, Steuerelemente für Monochromatoren bis hin zu IT-Elementen für die Infrastruktur, um zum Beispiel mit dem stark zunehmenden Volumen an Datenflüssen klarzukommen, die an den Experimenten entstehen. Die Umsetzung hat schon begonnen.

Eine solche Ertüchtigung ist ja eher das Pflichtprogramm. Wie sieht es mit der Kür aus? Welche Leuchtturmprojekte sehen Sie innerhalb der nächsten zehn Jahre?

Da muss ich etwas ausholen, denn die Frage führt an die Schnittstelle von BESSY II und unserer geplanten Nachfolgequelle BESSY III. Die Themen, die wir für BESSY III diskutieren, zeigen uns auch, was wir für BESSY II schon übernehmen können. BESSY II muss eine nachgefragte Quelle sein, wenn wir in ein paar Jahren den Antrag für den Bau der Nachfolgequelle stellen.

Das betrifft die Instrumentierung. Dort wird schon in die Zukunft investiert?

Ja, denn wir kämpfen um die besten Nutzergruppen – aus dem HZB und von außen! Dabei stehen wir immer im Wettbewerb mit anderen Lichtquellen. Wir müssen also Impulse aufnehmen und erkennen, was die Community in der Zukunft benötigt. Dabei konzentrieren wir uns auf die Forschungsfelder, in denen BESSY II wirklich relevante Beiträge leisten kann. Wir fragen: Welche Betriebsmodi und welche Experimente haben wir, die sonst keine andere Quelle bietet und die an einen Bedarf angepasst werden können, den kein anderes Synchrotron abdeckt.

Aus den Workshops mit Expertengruppen, die wir im Rahmen des BESSY-III-Projekts durchgeführt haben, können wir bereits jetzt Kernthemen ableiten. Wir lernen, was die führenden Köpfe brauchen und wo sie hinwollen mit ihrer Forschung.

Welches sind denn die wichtigsten Erkenntnisse?

Sowohl Ortsauflösung als auch In-situ und Operando-Techniken sind wiederkehrende Schlagworte. Außerdem wird die Heterogenität von Materialien



Jan Lüning © HZB/HG Medien

zunehmen. Es geht immer weiter weg von homogenen, statischen Materialien wie Einkristallen. Wir müssen Experimente anbieten, die heterogen zusammengesetzte Materialien und ihre besonderen Eigenschaften untersuchen können. In Quantenmaterialien spielt dies zum Beispiel eine große Rolle.

Ein wichtiges Feld sind außerdem Batterie-Materialien. Auf diesem Gebiet tut sich in der Forschung unheimlich viel, doch es gibt noch keine dedizierte Anlage in Europa für genau diese Anforderungen. Im HZB arbeiten wir sehr viel zu diesem Thema und können daher eine Menge Know-how beitragen, um Experimente weiterzuentwickeln und neue spezifisch angepasste Instrumentierungen für die Thematik der Batterie-Materialien aufzubauen.

Das ist eine große Chance für das HZB?

Genau. BESSY II ist in der Synchrotron-Community anerkannt als Energie-Synchrotron. Unsere Stärke liegt darin, die elektronischen Eigenschaften von Materialien anzuschauen – wie die Ladungsträger sich bewegen, wie Materialien dabei ihre Eigenschaften verändern und neue Funktionalitäten entwickeln. Genau diese Effekte spielen eine essenzielle Rolle bei Materialien für Energie- und Informationstechnologien. Und das Schöne ist: Genau diese Themenfelder sind die Schwerpunkte unserer Eigenforschung. Die starke Verknüpfung von Eigenforschung und Betrieb eines Synchrotrons macht uns als HZB einzigartig.

Unsere Lichtquelle BESSY II ist im Kern ein Teilchenbeschleuniger. Das heißt, auch die Beschleunigerentwicklung ist ein wichtiger Teil unserer Forschung. Mit welchen strategischen Themen werden wir uns in die neue Helmholtz-Förderperiode POF IV einbringen?

Eine übergeordnete Aufgabe unserer Beschleunigerphysik ist der Betrieb und die Weiterentwicklung von

BESSY II sowie die Entwicklung des Beschleunigers für unsere neue BESSY III Facility. Wenn man dies mit einem ambitionierten, weltweit sichtbaren Beschleuniger-Forschungsprogramm kombiniert, befruchten sich Forschung und Betrieb gegenseitig. Man kann Konzepte erdenken und sie bis zu einem gewissen Reifegrad entwickeln, so weit, dass man sie dann in der Anlage im Hinblick auf eine Nutzung für BESSY III testen kann.

Für solche Forschungsprogramme bauen wir Infrastrukturen auf, an denen wir mit anderen Helmholtz-Zentren zusammenarbeiten. Dies ist von großer strategischer Bedeutung. Dazu kommt der Aspekt der Nachwuchsförderung: Attraktive Forschungsprogramme ziehen junge talentierte Menschen an, die uns mit neuen Ideen befruchten. Die Kür ist sozusagen eine Voraussetzung, um in der Pflicht zu glänzen.

„Wir fragen: Welche Betriebsmodi und welche Experimente haben wir, die sonst keine andere Quelle bietet und die an einen Bedarf angepasst werden können, den kein anderes Synchrotron abdeckt.“

Können Sie mit einem Beispiel etwas konkreter werden?

Sehr aktiv sind wir zum Beispiel im ARD-Programm der Helmholtz-Gemeinschaft bei der Entwicklung von supraleitenden RF-Komponenten. Damit kann man beschleunigte Elektronenpakete so manipulieren, dass man die Eigenschaften des emittierten Röntgenstrahls an die Anforderung von Experimenten anpassen kann.

Ordnen sich hier auch VSR und bERLinPro ein?

Ja, genau. Wir haben die Projekte neu justiert und mit Unterstützung des wissenschaftlichen Beirats und des Aufsichtsrats einen neuen Rahmen für die Umsetzung gefunden. Mit bERLinPro werden wir im Rahmen der POF-Programmatik eine Anlage zur Verfügung stellen, die nicht nur für unsere eigene Forschung ideal ist, sondern auch unseren Kolleg*innen in der Helmholtz-Gemeinschaft ganz neue Möglichkeiten für Experimente bietet. Das ist ein schöner Ausblick.

Und wie sieht es bei VSR aus?

Als der Hersteller unserer Kavitäten in die Insolvenz ging, ist es uns gelungen, den einzig auf dem Markt verbliebenen Hersteller dafür zu gewinnen, die Kavitäten für uns in einem akzeptablen Zeit- und Kosten-

rahmen herzustellen. Wenn das VSR-Demo-Modul erfolgreich gebaut wird, können wir uns nun sogar vorstellen, VSR und bERLinPro noch enger zu verflechten und perspektivisch sogar zusammenzuführen.

„Wir wollen nicht einfach ein Synchrotron bauen, sondern ein Forschungsgroßgerät mit einem Laborumfeld, mit dem wir auf neuartige Weise Forschung am Synchrotron ermöglichen.“

Im Oktober 2019 hat ein Projektteam begonnen, konkrete Pläne für eine Nachfolgequelle BESSY III auszuarbeiten. Wie sieht der Fahrplan hierfür aus? Und wieviel Rückenwind bekommt das Anliegen außerhalb des HZB?

Die Unterstützung ist da. Es wurde uns ja 2018 gewissermaßen als ein „Muss“ in die Zentren-Begutachtung geschrieben, BESSY III jetzt anzugehen. Wir hatten dies dann sofort aufgegriffen, zum Beispiel mit der Suche nach einem geeigneten Grundstück, um die Option für einen Neubau zu haben.

Bei der strategischen Begutachtung im Januar 2020 hat sich die Unterstützung dann bestätigt. Im Gutachten wurden die Quellen BESSY III und PETRA IV (bei DESY) gleichwertig als wichtige Zukunftsprojekte des Forschungsbereichs Materie positioniert. Große Unterstützung hierfür haben wir darüber hinaus auch von der Helmholtz-Gemeinschaft und dem BMBF bekommen. BESSY III ist auf der aktuellen Roadmap der Helmholtz-Gemeinschaft für Forschungsinfrastrukturen positioniert, der Antrag ist uneingeschränkt vom gesamten Forschungsbereich unterstützt worden. Und in der Community ist das Projekt ohnehin in aller Munde. Man erlebt überall auf Workshops und Konferenzen die Freude, mit der der Start des Projekts aufgenommen wird.

Wie wird die Community in die Planungen einbezogen? Wie stellen Sie sicher, dass wir eine Quelle planen, die optimal den Bedarf der Forschung in Deutschland und in Europa trifft?

Wir stützen unsere Planungen auf dreifachen Input: erstens unsere eigene Forschung; diese ist ja gerade erst mit Bestnoten evaluiert worden. Das heißt, unsere Eigenforschung hat den richtigen Kurs. Zweitens: Unsere Partner aus der BAM, der PTB, der Max-Planck-Gesellschaft und den Universitäten denken und planen auch langfristig. Das spiegelt sich in ihren Berufungen

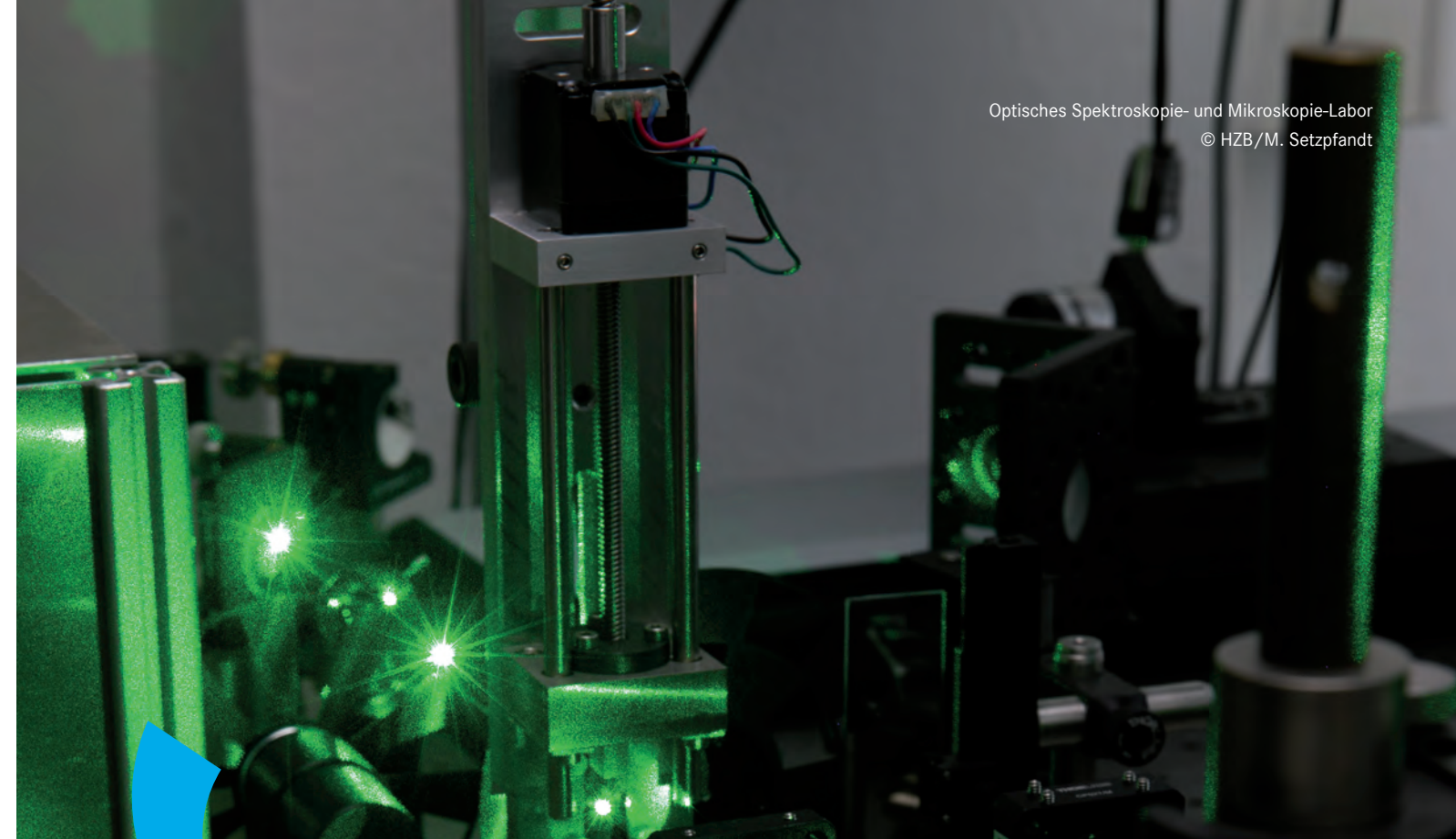
wieder. Auch hieraus können wir Bedarf ableiten. Und als Drittes sehen wir den Bedarf unserer Nutzergruppen. Dieser fließt über Workshops und durch wissenschaftliche Expertengruppen in unsere Planungen ein.

Bei den Foresight-Workshops horchen wir in die breite Nutzerschaft hinein. Bei den Expertengruppen geht es um spezielle Themen, von denen wir erwarten, dass die Forschung mit weicher Röntgenstrahlung einen relevanten Beitrag leisten kann. Wir tauschen uns mit den führenden Experten auf diesen Themenfeldern aus, auch über das eigentliche Synchrotronexperiment hinaus. Denn wir wollen nicht einfach ein Synchrotron bauen, sondern ein Forschungsgroßgerät mit einem Laborumfeld, mit dem wir auf neuartige Weise Forschung am Synchrotron ermöglichen. Ein Beispiel ist das Labor EMIL, das wir bereits direkt an BESSY II angeschlossen haben. Mit weiterentwickelten In-situ- und In-operando-Messtechniken können wir die Forschung an Energiematerialien damit enorm beschleunigen.

Welche Kooperationsmöglichkeiten bieten BESSY II und später auch BESSY III für die Industrie?

Drei Aspekte sind hier wichtig. Zum einen bieten wir Messungen an, also Analytik für bestimmte Fragestellungen, die ein Unternehmen nicht mit herkömmlichen Methoden beantworten kann. Die zweite Möglichkeit: Wir entwickeln etwas zusammen mit Industriepartnern, zum Beispiel Bauteile für den Beschleuniger, Mikroskope, Monochromatoren oder spezielle Analytoren. Die dritte Möglichkeit ist, dass wir Kunde sind und etwas brauchen. In diesen Fällen regen wir neue Entwicklungen an; wir sind ein Motor für Firmen, die etwas für uns entwickeln und dies dann auch auf den Markt bringen können. Der 3-D-Druck ist hierfür ein Beispiel. Damit kann man etwa Hohlräume einbringen, die man später nicht mehr in ein Metall einfräsen muss. BESSY III wird daher auch für die lokalen Firmen um uns herum ein spannendes Betätigungsfeld und Innovationstreiber sein.

Das Gespräch führten Silvia Zerbe und Ina Helms.

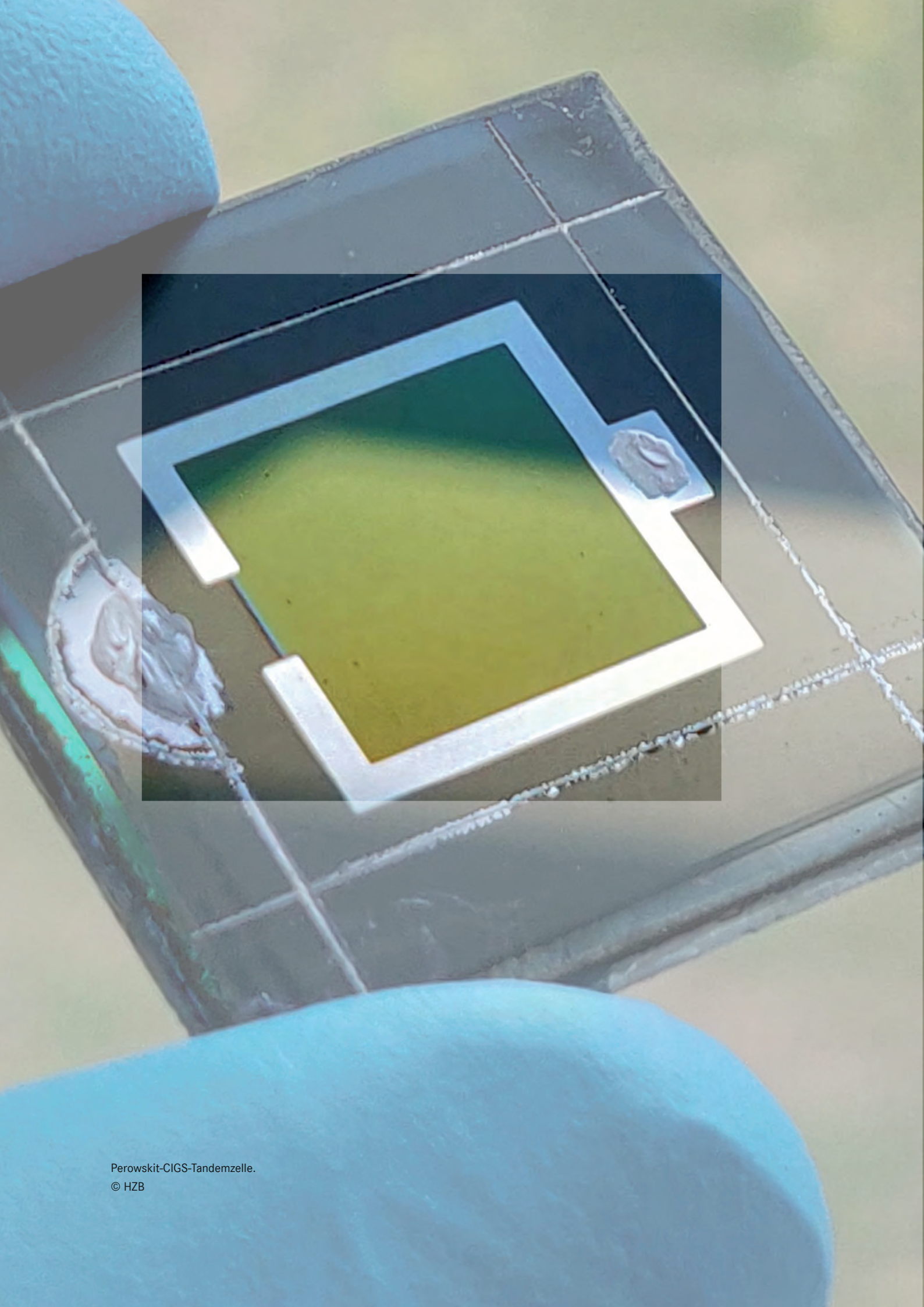


HIGHLIGHTS AUS DER FORSCHUNG

In den Jahren 2019 und 2020 sind insgesamt über 1 900 Publikationen in renommierten Journalen von Forscher*innen aus dem HZB oder von unseren Messgästen mit HZB-Beteiligung erschienen. Im Highlight-Bericht 2019/2020 wird daraus eine Auswahl vorgestellt und den Forschungsbereichen Energie, Information, Materie sowie Nutzerexperimente zugeordnet. Die kurzen Texte ermöglichen einen raschen Eindruck von der Vielfalt der Forschungsthemen. **Zu jeder Meldung gibt es einen ausführlicheren Text im HZB-Newsroom. Dort können Sie auch nach Daten und Stichworten suchen.**



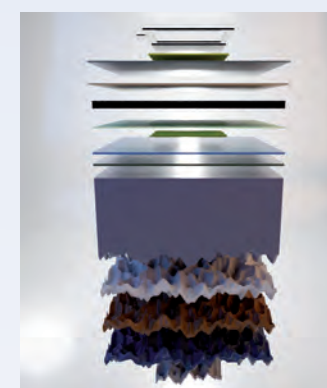
www.helmholtz-berlin.de/news



Perowskit-CIGS-Tandemzelle.
© HZB

ENERGIE

WELTREKORDE BEI TANDEM-SOLARZELLEN MIT PEROWSKITEN



Die Illustration zeigt schematisch den Aufbau der Tandem-Solarzelle.
© HZB/ E. Köhnen

Solarzellen aus zwei Halbleitern mit unterschiedlichen Bandlücken können als Tandem zusammen deutlich höhere Wirkungsgrade erreichen als jedes Solarmaterial für sich. Dies liegt daran, dass solche Tandemzellen das Sonnenspektrum effizienter nutzen. Im Zeitraum 2019-2020 haben HZB-Teams mit Tandemzellen aus Silizium und Perowskit sowie aus CIGS und Perowskit jeweils neue Weltrekorde erreicht.

Die **Tandem-Solarzelle aus Silizium und Perowskit** erreicht einen Wirkungsgrad von **29,15 %** und zeigt selbst ohne Verkapselung über 300 Stunden eine stabile Leistung. Die Gruppe um Steve Albrecht untersuchte dafür physikalische Prozesse an den Grenzflächen und verbesserte gezielt den Ladungsträgertransport. Dazu hatte sie mit Partnern aus Litauen eine Zwischenschicht aus organischen Molekülen entwickelt, die sich selbstständig zu einer Monolage (self-assembled

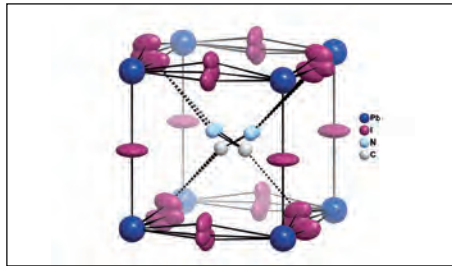
monolayer, SAM) anordnen. Die Arbeit ist in „Science“ publiziert.

Die zweite Weltrekord-Tandemzelle besteht aus den Halbleitern Perowskit und CIGS, die zu einer **monolithischen zwei-Terminal-Tandemzelle** verschaltet sind. Aufgrund der verwendeten Dünnschichttechnologien können solche Tandemzellen auf biegsamen Folien produziert werden. Diese Tandemzelle erreicht einen zertifizierten Wirkungsgrad von **24,16 %**. Sie eignet sich darüber hinaus für den Einsatz in Satelliten, da sie auch unter Weltraumbedingungen mit starker Strahlung stabil bleibt. Dafür wurden zwei Patente eingereicht. Diese Arbeit erschien in „Joule“.

Science 2020: Over 29%- efficient Monolithic Perovskite/Silicon Tandem Solar Cell Enabled by Enhanced Hole Extraction. Amran Al-Ashouri, Eike Köhnen, Bor Li, Artiom Magomedov, Hannes Hempel, Pietro Caprioglio, José A. Márquez, Anna Belen Morales-Vilches, Ernestas Kasparavicius, Joel A. Smith, Nga Phung, Dorothee Menzel, Max Grischek, Lukas Kegelmann, Dieter Skroblin, Christian Gollwitzer, Tadas Malinauskas, Marko Jošt, Gašper Matič, Bernd Rech, Rutger Schlatmann, Marko Topič, Lars Korte, Antonio Abate, Bernd Stannowski, Dieter Neher, Martin Stollerfoht, Thomas Unold, Vytautas Getautis, Steve Albrecht.
DOI: [10.1126/science.abd4016](https://doi.org/10.1126/science.abd4016)

JOULE (2020): Proton Radiation Hardness of Perovskite Tandem Photovoltaics. Felix Lang, Marko Jošt, Kyle Frohna, Eike Köhnen, Amran Al-Ashouri, Alan R. Bowman, Tobias Bertram, Anna Belen, Morales-Vilches, Dibyashree Koushik, Elizabeth M. Tennyson, Krzysztof Galkowski, Giovanni Landi, Mariadriana Creatore, Bernd Stannowski, Christian A. Kaufmann, Jürgen Bundesmann, Jörg Rappich, Bernd Rech, Andrea Denker, Steve Albrecht, Heinz-Christoph Neitzert, Norbert H. Nickel, Samuel D. Stranks.
DOI: [10.1016/j.joule.2020.03.006](https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.03.006)

PEROWSKIT-SOLARZELLEN: MÖGLICHE URSACHE FÜR HOHE WIRKUNGSGRAD E AUFGEDECKT

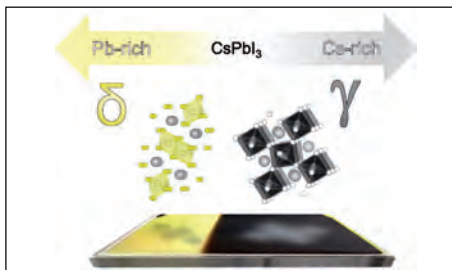


Die Zeichnung verdeutlicht, wie das organische Methylammonium (CH_3NH_3^+) mit den Jodid-Ionen wechselwirkt. © HZB

Ein HZB-Team hat durch kristallographische Analysen an der Synchrotronquelle Diamond Light Source (DLS) in Großbritannien erstmals nachgewiesen, dass Hybrid-Perowskite ohne Inversionszentren auskristallisieren. Durch Wechselwirkungen zwischen den organischen Molekülen und benachbarten Jod-Atomen können sich so ferroelektrische Domänen bilden, die über weitere Effekte höhere Wirkungsgrade in Solarzellen ermöglichen. In anorganischen Perowskiten kann diese ferroelektrische Domänenbildung nicht stattfinden.

Angewandte Chemie International Edition (2019): Role of the Iodide–Methylammonium Interaction in the Ferroelectricity of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. J. Breternitz, F. Lehmann, S. A. Barnett, H. Nowell, S. Schorr. DOI: 10.1002/anie.201910599

ANORGANISCHE PEROWSKITE FÜR DÜNNSCHICHT-SOLARZELLEN

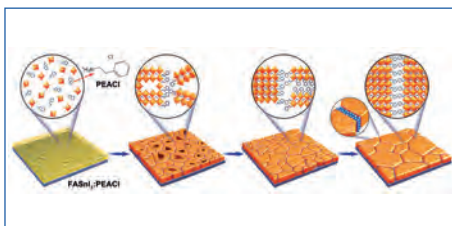


Durch Ko-Verdampfung von Cäsiumiodid und Bleiodid lassen sich dünne Schichten aus CsPbI_3 auch bei moderaten Temperaturen herstellen. © HZB/J. Marquez-Prieto

Einem Team am Helmholtz-Zentrum Berlin ist es gelungen, durch Ko-Verdampfung anorganische Perowskit-Dünnschichten bei moderaten Temperaturen herzustellen – ein Nachtempeln bei hohen Temperaturen entfällt. Dadurch lassen sich Dünnschicht-Solarzellen aus diesem Material deutlich leichter herstellen. Anorganische Perowskite sind im Gegensatz zu den hybriden metallorganischen Perowskiten thermisch stabiler.

Advanced Energy Materials (2019): Low Temperature Synthesis of Stable γ - CsPbI_3 Perovskite Layers for Solar Cells Obtained by High Throughput Experimentation. Pascal Becker, José A. Márquez, Justus Just, Amran Al-Ashouri, Charles Hages, Hannes Hempel, Marko Jošt, Steve Albrecht, Ronald Frahm, Thomas Unold. DOI: 10.1002/aenm.201900555

AUF DEM WEG ZU BLEIFREIEN UND STABILEN PEROWSKIT-SOLARZELLEN

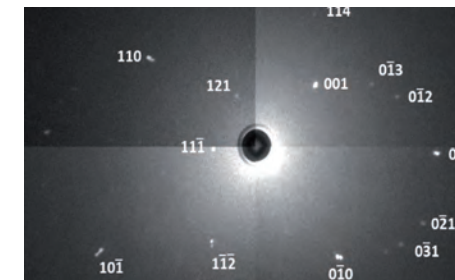


Die Abbildung zeigt die Veränderungen in der Struktur von FASnI_3 :PEACl-Filmen während der Behandlung bei verschiedenen Temperaturen. © HZB/M. Li

Die besten Perowskit-Solarzellen schaffen zwar enorme Wirkungsgrade, enthalten aber giftiges Blei. Bleifreie Perowskit-Solarzellen erreichten bislang nur geringe Wirkungsgrade, die zudem schnell abnehmen. Eine neue Arbeit einer internationalen Kooperation zeigt nun, wie sich stabile Perowskit-Schichten herstellen lassen, die Zinn anstelle von Blei enthalten. Dabei schützen organische Verbindungen das Zinn vor Oxidation und sorgen für Stabilität.

ACS Energy Letters (2020): Tin halide perovskite films made of highly oriented 2D crystals enable more efficient and stable lead-free perovskite solar cells. Meng Li, Wei-Wei Zuo, Ying-Guo Yang, M. H. Aldamasy, Qiong Wang, Silver Hamill Turren Cruz, Shang-Lei Feng, Michael Saliba, Zhao-Kui Wang, Antonio Abate. DOI: 10.1021/acsenergylett.0c00782

NEUTRONEN ZEIGEN ZWILLINGSBILDUNG IN HALID-PEROWSKITEN

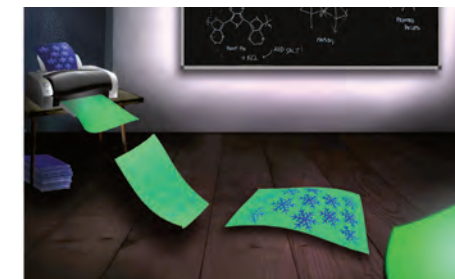


Mit der Laue-Kamera wurde das Beugungsmuster aufgenommen. © HZB

Solarzellen auf Basis von hybriden Halid-Perowskiten erreichen hohe Wirkungsgrade. Diese gemischt organisch-anorganischen Halbleiter werden in der Regel als dünne Filme aus Mikrokristallen produziert. Eine Untersuchung mit der Laue-Kamera an der Neutronenquelle BER II konnte nun aufklären, dass es beim Auskristallisieren auch bei Raumtemperatur zur Zwillingsbildung kommt. Dieser Einblick ist hilfreich, um Herstellungsverfahren von Halid-Perowskiten zu optimieren.

Scientific Reports (2020): Twinning in MAPbI_3 at room temperature uncovered through Laue neutron diffraction. Joachim Breternitz, Michael Tovar, Susan Schorr. DOI: 10.1038/s41598-020-73487-1

PEROWSKIT-LED AUS DEM DRUCKER

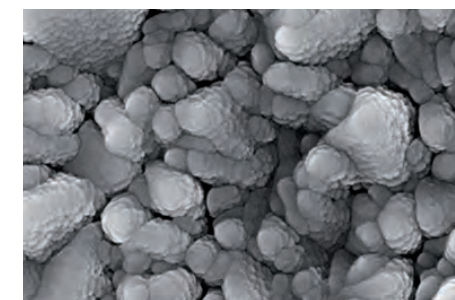


Grafische Darstellung des Druckprozesses für Perowskit-LEDs. © C. Rothkirch/HU Berlin

Forscher*innen des HZB und der Humboldt-Universität zu Berlin ist es zum ersten Mal gelungen, Leuchtdioden (LEDs) aus einem hybriden Perowskit-Halbleitermaterial per Tintenstrahldruck herzustellen. Das Tor zu einer breiten Anwendung solcher Materialien in vielerlei elektronischen Bauelementen ist damit geöffnet. Der Durchbruch gelang dem Team mithilfe eines Tricks: dem „Impfen“ der Oberfläche mit bestimmten Kristallen.

Journal Materials Horizons (2020): Finally, inkjet-printed metal halide perovskite LEDs – utilizing seed crystal templating of salty PEDOT:PSS. Felix Hermerschmidt, Florian Mathies, Vincent R. F. Schröder, Carolin Rehmann, Nicolas Zorn Morales, Eva L. Unger, Emil. J. W. List-Kratochvil. DOI: 10.1039/d0mh00512f

AMORPHES MOLYBDÄNSULFID FUNKTIONIERT AM BESTEN

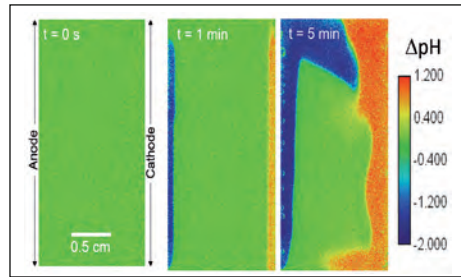


Die Rasterelektronenmikroskopie zeigt einen Molybdänsulfidfilm, der bei Raumtemperatur aufgebracht wurde. © HZB

Für die Produktion von Wasserstoff mit Sonnenlicht werden effiziente und preisgünstige Katalysatoren gebraucht. Molybdänsulfide gelten als gute Kandidaten. Nun hat ein Team am HZB aufgeklärt, welche Prozesse während der Katalyse an Molybdänsulfiden ablaufen und wieso ausgerechnet amorphes Molybdänsulfid am besten funktioniert. „Wir können aus den Messdaten ableiten, dass sich durch das Austreten von Schwefel schwefelarme Bereiche mit nanokristallinen MoS_2 -Inseln bilden. Diese Inseln fungieren als katalytisch aktive Teilchen“, erklärt Fanxing Xi, die die Messungen im Rahmen ihrer Promotion durchgeführt hat. Diese Einblicke können dazu beitragen, die Aktivität und Stabilität dieses vielversprechenden Katalysators für die Wasserstoffentwicklung im Prozess der Wasserspaltung weiter zu verbessern und das Material an einen mit Sonnenlicht betriebenen Elektrolyseur anzukoppeln.

ACS Catalysis (2019): Structural Transformation Identification of Sputtered Amorphous MoS_x as an Efficient Hydrogen-Evolving Catalyst during Electrochemical Activation. Fanxing Xi, Peter Bogdanoff, Karsten Harbauer, Paul Plate, Christian Höhn, Jörg Rappich, Bin Wang, Xiaoyu Han, Roel van de Krol, Sebastian Fiechter. Doi: 10.1021/acscatal.8b04884

GRÜNER WASSERSTOFF: AUFTRIEB IM ELEKTROLYTEN SORGT FÜR KONVEKTIONSSTRÖMUNG

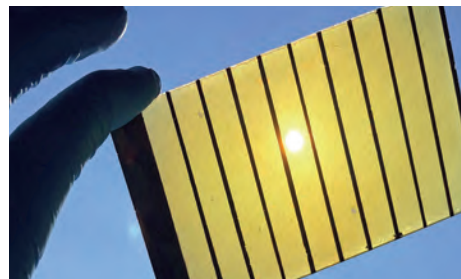


Mit der Zeit verändert sich der lokale pH-Wert (hier in einem Elektrolyten mit 0.5 M K_2SO_4). © HZB

Wasserstoff lässt sich klimaneutral mit Sonnenlicht produzieren. Aber auf dem Weg vom Labormaßstab zu einer großtechnischen Umsetzung gibt es noch Hürden. Nun hat ein Team am HZB eine Methode vorgestellt, um Strömungsprozesse im Elektrolyten sichtbar zu machen und mit einem Modell vorab zuverlässig zu simulieren. Die Ergebnisse sind hilfreich, um Design und Aufskalierung dieser Technologie zu unterstützen und wurden in der renommierten Zeitschrift *Energy and Environmental Science* veröffentlicht.

Energy & Environmental Science (2020): In-situ Observation of pH Change during Water Splitting in Neutral pH Conditions: Impact of Natural Convection Driven by Buoyancy Effects. Keisuke Obata, Roel van de Krol, Michael Schwarze, Reinhard Schomäcker, Fatwa F. Abdi. DOI: 10.1039/D0EE01760D

MASS FÜR DIE STABILITÄT VON PHOTOELEKTRODEN



Skalierbare großflächige $BiVO_4$ -Photoanode auf FTO mit Ni-Stromabnehmern. © HZB

Sonnenenergie kann zur Herstellung von Wasserstoff, einem vielseitigen Brennstoff, genutzt werden. Um dies durch elektrolytische Wasserspaltung zu erreichen, werden hochwertige Photoelektroden benötigt. Leider neigen die bekannten Materialien dazu, während des Prozesses zu korrodieren. Nun hat ein Team am HZB in internationaler Zusammenarbeit die Korrosionsprozesse von hochwertigen $BiVO_4$ -Photoelektroden untersucht. Sie beobachteten die Prozesse „in operando“ (bei der elektrolytischen Wasserspaltung) während der Sauerstoff-Entwicklungsreaktion. Die Arbeit zeigt, wie die Stabilität von Photoelektroden und Katalysatoren verglichen und so auch verbessert werden kann.

ACS Applied Energy Materials (2020): Different Photostability of $BiVO_4$ in Near-pH-Neutral Electrolytes. Siyuan Zhang, Ibbi Ahmet, Se-Ho Kim, Olga Kasian, Andrea M. Mingers, Patrick Schnell, Moritz Kölbach, Joohyun Lim, Anna Fischer, Karl J. J. Mayrhofer, Serhiy Cherevko, Baptiste Gault, Roel van de Krol, Christina Scheu. DOI: 10.1021/acsaem.0c01904

NANOPARTIKEL IN LITHIUM-SCHWEFEL-AKKUS MIT NEUTRONEN AUFESPÜRT

Ein HZB-Team hat erstmals mithilfe von Neutronenexperimenten präzise analysiert, wie und wo sich Nanopartikel aus Lithiumsulfid und Schwefel im Lauf der Ladezyklen an den Batterie-Elektroden abscheiden. „Wir sehen, dass die Lithiumsulfid- oder Schwefelabscheidungen nicht im Inneren der mikroporösen Kohlenstoffelektroden stattfinden, sondern auf der äußeren Oberfläche der Kohlenstofffasern“, erklärt der HZB-Forscher Sebastian Risse. Diese Ergebnisse können dazu beitragen, die Lebensdauer von Lithium-Schwefel-Akkus zu erhöhen.

ACS Nano, (2019): Operando Analysis of a Lithium/Sulfur Battery by Small Angle Neutron Scattering. Sebastian Risse, Eneli Härk, Ben Kent, Matthias Ballauff. DOI: 10.1021/acsnano.9b03453

BATTERIEN MIT SILIZIUM-ANODEN: OBERFLÄCHENSTRUKTUREN REDUZIEREN DIE KAPAZITÄT

Theoretisch könnten Anoden aus Silizium zehnmal mehr Lithium-Ionen speichern als die Graphit-Anoden, die seit vielen Jahren in kommerziellen Lithium-Batterien eingesetzt werden. Doch bisher sinkt die Kapazität von Silizium-Anoden im Lauf der Lade-Entlade-Zyklen deutlich. Nun hat ein HZB-Team mit Neutronenexperimenten am BER II in Berlin und am Institut Laue-Langevin in Grenoble aufgeklärt, was an der Oberfläche der Silizium-Anode während des Aufladens passiert und welche Prozesse die Kapazität reduzieren. Sie konnten beobachten, wie sich beim Aufladen an der Siliziumoberfläche eine blockierende Schicht bildet, die das Eindringen von Lithium-Ionen behindert.

Energy Storage Materials (2019): Surface structure inhibited lithiation of crystalline silicon probed with operando neutron reflectivity. Arne Ronneburg, Marcus Trapp, Robert Cubitt, Luca Silvi, Sébastien Cap, Matthias Ballauff, Sebastian Risse. DOI: 10.1016/j.ensm.2018.11.032

ALTERUNG VON LITHIUM-BATTERIEN ANALYSIERT

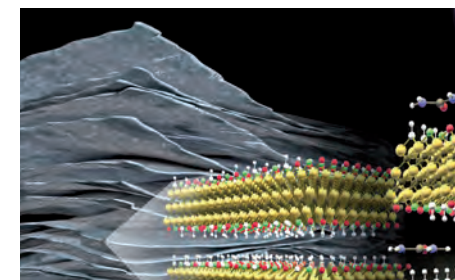


3-D-Einblick in eine virtuell am Computer aufgeschnittene Batterie. © T.Arlt, I. Manke/HZB, R. Ziesche/UCL

Ein internationales Team hat mit Neutronen- und Röntgen-Tomographie die dynamischen Prozesse untersucht, die an den Elektroden in Lithium-Batterien stattfinden und zu Leistungsabbau führen. Mit einem neuen mathematischen Verfahren gelang es, die zu einer kompakten Rolle aufgewickelten Elektroden „virtuell zu entrollen“ und so tatsächlich zu beobachten, was an den Elektroden geschieht. Die Studie wurde in *Nature Communications* veröffentlicht.

Nature communications (2019): 4D imaging of Li-batteries using operando neutron and X-ray computed tomography in combination with a virtual unrolling technique. Ralf F. Ziesche, Tobias Arlt, Donal P. Finegan, Thomas M. M. Heenan, Alessandro Tengattini, Daniel Baum, Nikolay Kardjilov, Henning Markoetter, Ingo Manke, Winfried Kockelmann, Dan J. L. Brett, Paul R. Shearing. DOI: 10.1038/s41467-019-13943-3

NEUE 2-D-MATERIALIEN MIT TALENT ZUR ENERGIESPEICHERUNG



MXene sind 2-D-Materialien, die Flocken aus vielen Schichten bilden (links) und sich als Pseudokondensatoren eignen. © HZB/M. Küsting

Eine neue Materialklasse kann elektrische Energie sehr schnell speichern. Es handelt sich um zweidimensionale Titankarbide, sogenannte MXene. Wie eine Batterie speichern sie durch elektrochemische Reaktionen große Mengen elektrischer Energie – aber im Gegensatz zu Batterien können sie in Sekundenschnelle geladen und entladen werden. In Zusammenarbeit mit der Drexel-Universität hat ein Team am HZB gezeigt, dass die Einlagerung von Harnstoffmolekülen zwischen den MXene-Schichten die Kapazität solcher „Pseudokondensatoren“ um mehr als 50 Prozent erhöhen kann. An BESSY II haben sie analysiert, welche Veränderungen der MXene-Oberflächenchemie nach der Harnstoffeinlagerung dafür verantwortlich sind.

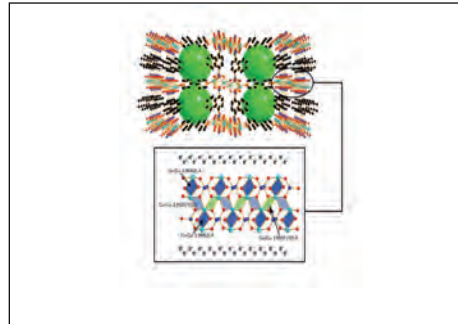
J. Phys. Chem. C (2020): Enhancement of Ti_3C_2 MXene Pseudocapacitance After Urea Intercalation Studied by Soft X-ray Absorption Spectroscopy. Ameer Al-Temimy, Babak Anasori, Katherine A. Mazzio, Florian Kronast, Mykola Seredych, Narendra Kurra, Mohamad-Assaad Mawass, Simone Raoux, Yury Gogotsi, Tristan Petit. DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b11766

LADEN UND ENTLADEN VON SILIZIUM-ELEKTRODEN

Wird Silizium als Werkstoff für Elektroden in Lithium-Ionen-Batterien verwendet, verspricht dies eine deutliche Steigerung ihrer Kapazität. Das Manko dieses Materials: Während des Be- und Entladens wird es leicht beschädigt. Einem HZB-Team ist es nun zum ersten Mal gelungen, diesen Prozess direkt und detailliert an kristallinen Silizium-Elektroden zu beobachten. Operando-Experimente am Speicherring BESSY II lieferten neue Erkenntnisse darüber, wie Brüche im Silizium entstehen – und wie sich das Material dennoch vorteilhaft einsetzen lässt.

Journal Energy Storage Materials (2020): Morphological evolution of a single crystal silicon battery electrode during lithiation and delithiation: An operando phase-contrast imaging study. Arne Ronneburg, Markus Osenberg, Kang Dong, André Hilger, Eneli Härk, Luca Silvi, Ingo Manke, Matthias Ballauff, Sebastian Risse. DOI: [10.1016/j.ensm.2020.06.007](https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.06.007)

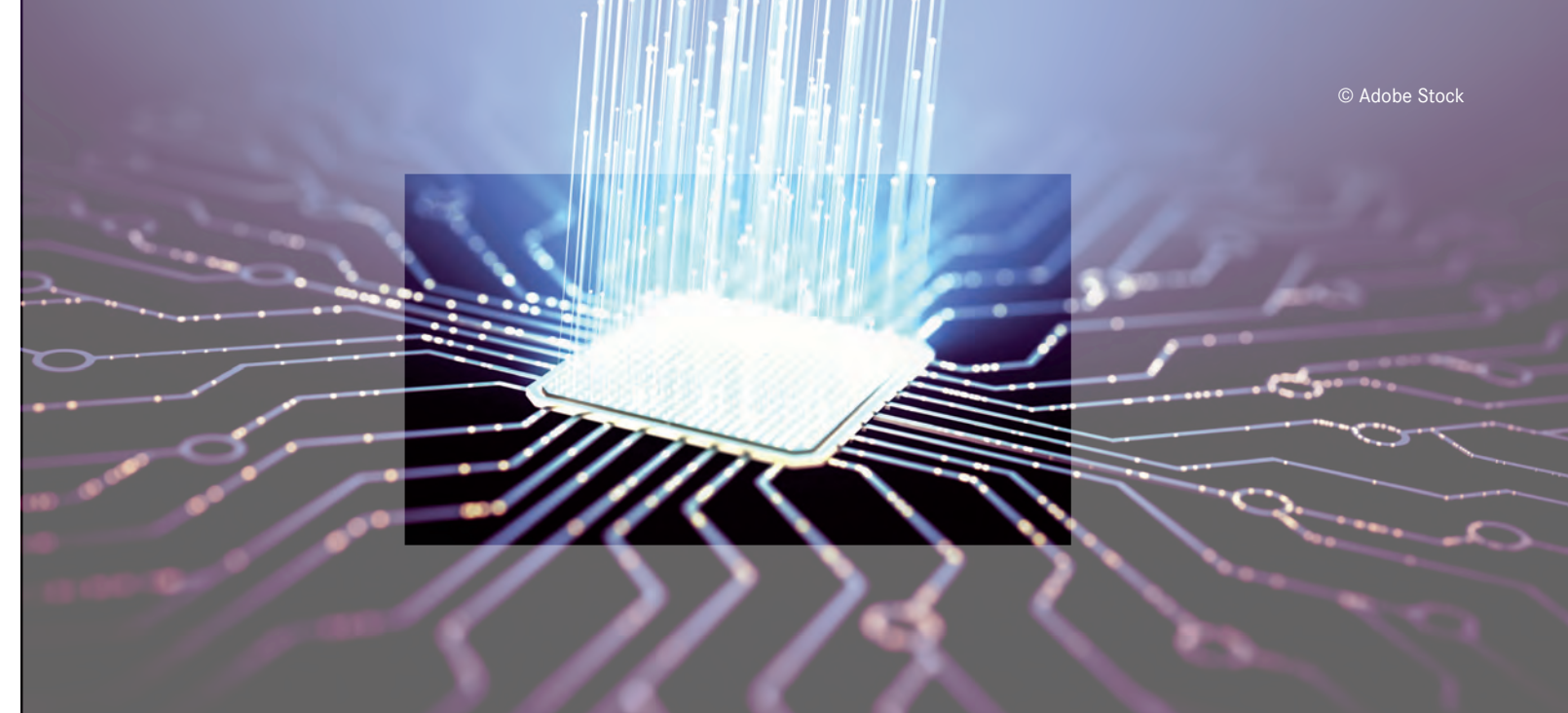
NEUE MATERIALKLASSE FÜR ENERGIESPEICHER VON MORGEN



Eine Gruppe an der Technischen Universität Berlin hat eine neue Familie von Halbleitern geschaffen, die vom Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) auf ihre Eigenschaften hin untersucht wurde. Den ersten Vertreter taufen sie auf den Namen TUB75. Das Material gehört zur Klasse der Metallorganischen Frameworks, kurz MOFs. Es könnte neue Perspektiven für die Energiespeicherung eröffnen.

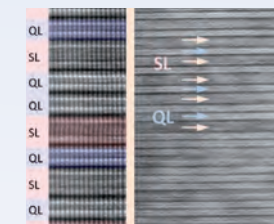
Advanced Materials (2020): Phosphonate Metal–Organic Frameworks: A Novel Family of Semiconductors. Konrad Siemensmeyer, Craig A. Peeples, Patrik Tholen, Franz-Josef Schmitt, Bünyemin Çoşut, Gabriel Hanna, Gündoğ Yücesan. DOI: [10.1002/adma.202000474](https://doi.org/10.1002/adma.202000474)

Struktur vom TUB75: die gesamte MOF-Architektur (oben) und ihre leitfähige anorganische Baueinheit (unten). © HZB



INFORMATION

TOPOLOGISCHE MATERIALIEN: VERLUSTFREI SIGNALE ÜBERTRAGEN



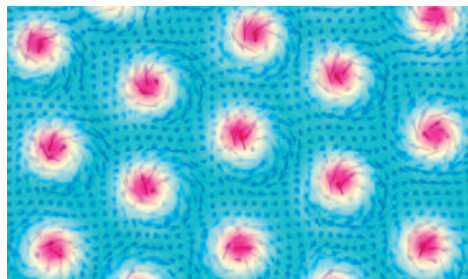
Die Aufnahme mit dem Transmissionselektronenmikroskop zeigt die Überstruktur, die durch Dotierung mit Mangan in Bi_2Te_3 entstand. © G. Springholz/Uni Linz

Experimente an BESSY II mit magnetisch dotierten topologischen Isolatoren zeigen neue Möglichkeiten für eine verlustfreie Signalübertragung auf. Dem Team um den HZB-Physiker Oliver Rader und Gunther Springholz der Universität Linz ist es gelungen, die sogenannte **magnetische Energielücke** genau zu vermessen, die durch die Dotierung der Probe entsteht. Erstaunlicherweise war die Lücke sogar fünfmal größer als theoretisch vorhergesagt. Die Wissenschaftler fanden einen einfachen Grund für dieses Ergebnis. „Wir wissen nun, dass die Dotierung nicht ungeordnet stattfindet, sondern im Gegenteil eine sogenannte Überstruktur im Material

ausbildet, die ähnlich wie ein Blätterteig aufgebaut ist“, erläutert Springholz. „Wenn man diese **Selbstorganisationsphänomene** gezielt ausnutzt, ergeben sich ganz neue Möglichkeiten, magnetische topologische Materialien zusammensetzen“, so Springholz. Prinzipiell sei die gemessene Lücke sogar bereits so groß, dass sie in entsprechenden Bauteilen einen **quantisierten anomalen Hall Effekt (QAHE)** in der Nähe der Raumtemperatur ermöglichen sollte. Ein solcher magnetischer topologischer Isolator könnte es erlauben, in Verbindung mit einem Supraleiter eine Recheneinheit (Q-Bit) eines topologischen Quantencomputers zu realisieren.

Nature (2019): Large magnetic gap at the Dirac point in $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{MnBi}_2\text{Te}_4$ heterostructures. E. D. L. Rienks, S. Wimmer, J. Sánchez-Barriga, O. Caha, P. S. Mandal, J. Růžička, A. Ney, H. Steiner, V. V. Volobuev, H. Groiss, M. Albu, G. Kothleitner, J. Michalička, S. A. Khan, J. Minár, H. Ebert, G. Bauer, F. Freyse, A. Varykhalov, O. Rader, G. Springholz. DOI: [10.1038/s41586-019-1826-7](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1826-7)

„TANZMUSTER“ VON SKYRMIONEN VERMESSEN



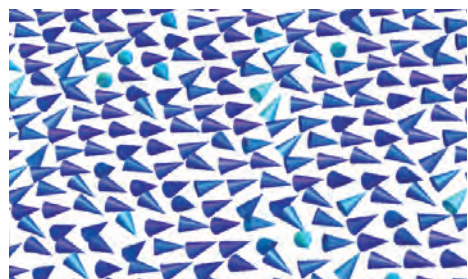
Die Illustration zeigt Skyrmionen in einer ihrer Eigenschwingungen. Hier drehen sie im Uhrzeigersinn.

© HZB/Y. Kippe

In magnetischen Materialien wie Cu_2OSeO_3 können magnetische Wirbel, sogenannte Skyrmionen, entstehen, die für eine energiesparende Datenverarbeitung interessant sind. Nun hat ein HZB-Team an der VEK MAG-Station an BESSY II eine neue Technik entwickelt, um diese Wirbel präzise zu vermessen. Dabei konnten sie drei unterschiedliche Eigenschwingungen beobachten. Mithilfe eines Mikrowellenfeldes ließen sich Übergänge von einer Eigenschwingung in eine andere induzieren. Dies könnte ein Weg sein, um Skyrmionen zu kontrollieren.

Phys. Rev. Lett. (2019): Ferromagnetic Resonance with Magnetic Phase Selectivity by Means of Resonant Elastic X-Ray Scattering on a Chiral Magnet. S. Pöllath, A. Aqeel, A. Bauer, C. Luo, H. Ryll, F. Radu, C. Pfeleiderer, G. Woltersdorf, C.H. Back. DOI: [10.1103/PhysRevLett.123.167201](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.167201)

SPINTRONIK: SPANNUNG ERZEUGT SUPERFERROMAGNETISMUS



Ein elektrisches Feld erzeugt im Bariumtitanat-Gitter mechanische Spannungen, die sich auf die darüber liegenden Eisen-Nanopartikel übertragen. Dadurch richten sich die Nanopartikel lokal zu einer superferromagnetischen Region aus. © HZB

Ein HZB-Team hat zusammen mit internationalen Partnern an der Lichtquelle BESSY II ein neues Phänomen in Eisen-Nanokörnern auf einem ferroelektrischen Substrat beobachtet: Die magnetischen Momente der Eisenkörner richten sich superferromagnetisch aus, sobald eine elektrische Spannung anliegt. Der Effekt funktioniert bei Raumtemperatur und könnte zu neuen Materialien für IT-Bauelemente und Datenspeicher führen, die weniger Energie verbrauchen.

Physical Review Materials (2019): Switching on Superferromagnetism. A. Arora, L. C. Phillips, P. Nukala, M. Ben Hassine, A.A. Ünal, B. Dkhil, L. Balcells, O. Iglesias, A. Barthélémy, F. Kronast, M. Bibes, and S. Valencia. DOI: [10.1103/PhysRevMaterials.3.024403](https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.3.024403)

MIT MATHE ZEIT SPAREN: DESIGN-WERKZEUG FÜR KORKENZIEHERFÖRMIGE NANO-ANTENNEN

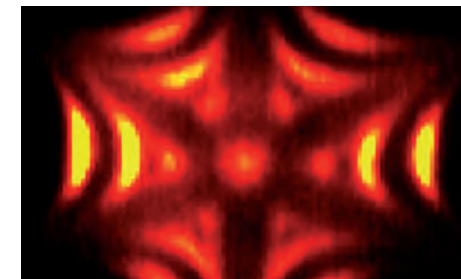


Die Nano-Antennen werden im Elektronenmikroskop mit direktem Elektronenstrahlschreiben erzeugt. © HZB

Erstmals hat ein HZB-Team mathematisch exakt formuliert, wie korkenzieherförmige Nano-Antennen mit Licht wechselwirken. Mit dem mathematischen Werkzeug lässt sich die jeweils geeignete Geometrie berechnen, die eine Nano-Antenne für konkrete Anwendungen in der Sensorik oder in der Informationstechnologie besitzen muss. Die Arbeiten fanden am CoreLab für Elektronenmikroskopie des HZB statt.

Optica (2019): Resonant behavior of a single plasmonic helix. Katja Höfllich, Thorsten Feichtner, Enno Hansjürgen, Caspar Haverkamp, Heiko Kollmann, Christoph Lienau, Martin Siles. DOI: [10.1364/OPTICA.6.001098](https://doi.org/10.1364/OPTICA.6.001098)

GERMANIUM-TELLURID AUF DER NANOSKALA

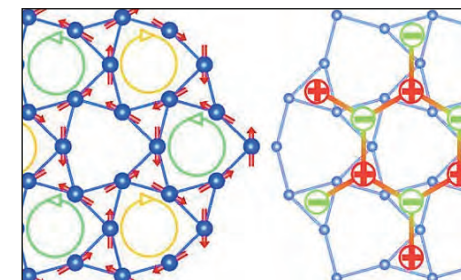


Die Fermioberfläche eines GeTe-Kristalls (111) konnte an BESSY II experimentell ermittelt werden. © HZB

Germanium-Tellurid (GeTe) ist ein interessantes Material für die Spintronik. Nun hat ein deutsch-russisches Team an BESSY II gezeigt, wie sich die Spintextur in GeTe-Einkristallen durch ferroelektrische Polarisation innerhalb einzelner Nanodomänen umschalten lässt.

ACS Nano (2020): Atomic and Electronic Structure of a Multidomain GeTe Crystal. Alexander S. Frolov, Jaime Sánchez-Barriga, Carolien Callaert, Joke Hardermann, Alexander V. Fedorov, Dmitry Yu. Usachov, Alexander N. Chaika, Brian C. Walls, Kuanysh Zhussupbekov, Igor V. Shvets, Matthias Muntwiler, Matteo Amati, Luca Gregoratti, Andrei Yu. Varykhalov, Oliver Rader, Lada V. Yashina. DOI: [10.1021/acsnano.0c05851](https://doi.org/10.1021/acsnano.0c05851)

MAGNETISCHE MONOPOLE IN KAGOME-SPIN-EIS-SYSTEMEN NACHGEWIESEN

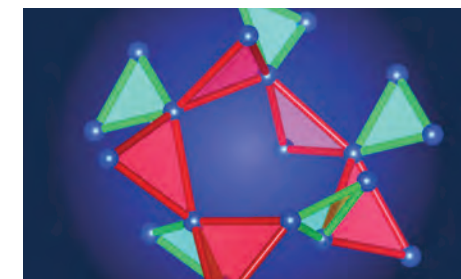


In HoAgGe besetzten Holmium-Spins die Ecken von Dreiecken, die zu einem Kagome-Muster geordnet sind. © Uni Augsburg

Magnetische Monopole sind eigentlich unmöglich. Bei tiefen Temperaturen können sich jedoch in bestimmten Kristallen sogenannte Quasiteilchen zeigen, die sich wie magnetische Monopole verhalten. Nun hat eine internationale Kooperation nachgewiesen, dass solche Monopole auch in einem Kagome-Spin-Eis-System auftreten. Ausschlaggebend waren unter anderem auch Messungen mit inelastischer Neutronenstreuung am Instrument NEAT der Berliner Neutronenquelle BER II. Die Ergebnisse sind in der Fachzeitschrift Science erschienen.

Science (2020): Realization of the kagome spin ice state in a frustrated intermetallic compound. Kan Zhao, Hao Deng, Hua Chen, Kate A. Ross, Vaclav Petricek, Gerrit Günther, Margarita Russina, Vladimir Hutanu, Philipp Gegenwart. DOI: [10.1126/science.aaw1666](https://doi.org/10.1126/science.aaw1666)

DREIDIMENSIONALE QUANTEN-SPIN-FLÜSSIGKEIT ENTDECKT

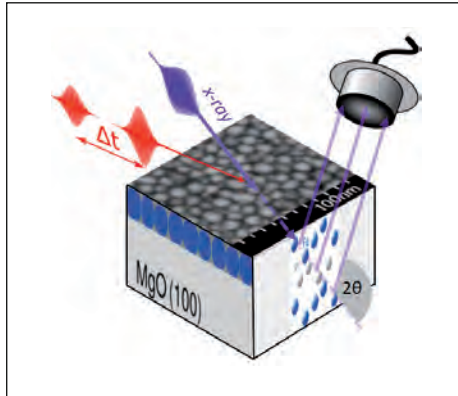


Zwei der vier magnetischen Wechselwirkungen bilden ein neues dreidimensionales Netz aus Dreiecken mit gemeinsamen Ecken, das als Hyper-Hyperkagome-Gitter bekannt ist und zu dem Quanten-Spin-Flüssigkeitsverhalten in $\text{PbCuTe}_2\text{O}_6$ führt. © HZB

Quanten-Spin-Flüssigkeiten sind Kandidaten für den Einsatz in zukünftigen Informationstechnologien. Bisher sind Quanten-Spin-Flüssigkeiten meist nur in ein- oder zweidimensionalen magnetischen Systemen zu finden. Nun hat eine internationale Kooperation unter der Leitung eines HZB-Teams Kristalle aus $\text{PbCuTe}_2\text{O}_6$ mit Neutronenexperimenten untersucht. Sie fanden Spin-Flüssigkeitsverhalten in drei Dimensionen, bedingt durch ein sogenanntes Hyper-Hyperkagome-Gitter. Die experimentellen Daten passen sehr gut zu theoretischen Simulationen, die am HZB durchgeführt wurden.

Nature Communications (2020): Evidence for a three-dimensional quantum spin liquid in $\text{PbCuTe}_2\text{O}_6$. S. Chillal, Y. Iqbal, H. O. Jeschke, J. A. Rodriguez-Rivera, R. Bewley, P. Manuel, D. Khalyavin, P. Steffens, R. Thomale, A. T. M. N. Islam, J. Reuther, B. Lake. DOI: [10.1038/s41467-020-15594-1](https://doi.org/10.1038/s41467-020-15594-1)

ROBUSTE HOCHLEISTUNGSDATENSPEICHER DURCH MAGNETISCHE ANISOTROPIE

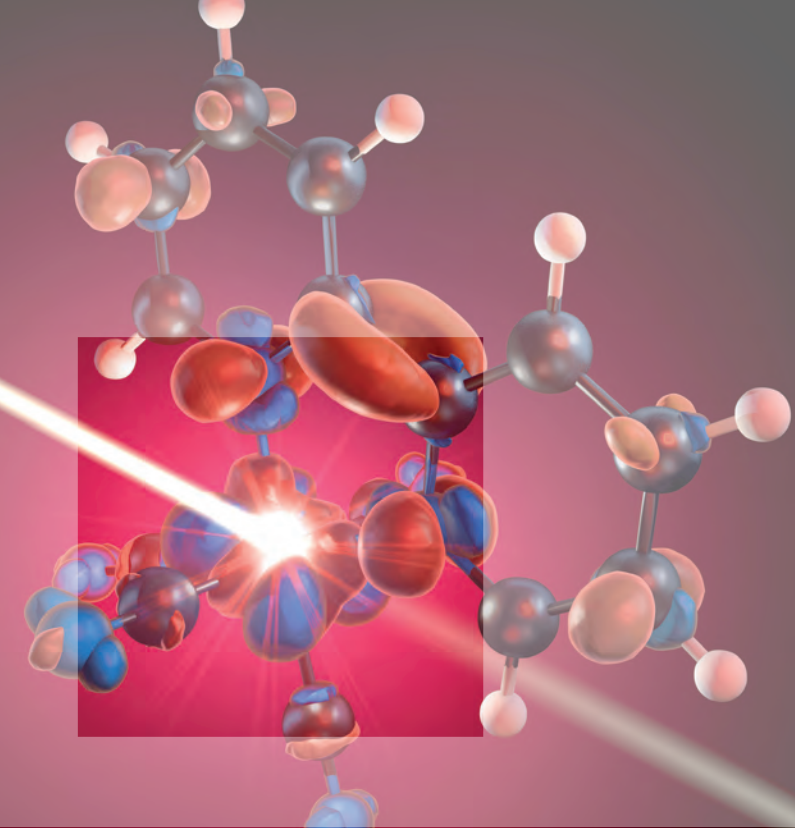


So lief das Experiment ab: Zwei Laserpulse treffen in kurzem zeitlichen Abstand auf den Dünnschichtfilm aus Eisen-Platin-Nanokörnern auf – der erste Laserpuls zerstört die Spinordnung, während der zweite Laserpuls die nun unmagnetisierte Probe anregt. Ein Röntgenpuls ermittelt im Anschluss, wie sich das Gitter ausdehnt oder kontrahiert. © M. Bargheer/Uni Potsdam

Die neueste Generation von magnetischen Festplattenlaufwerken besteht aus magnetischen Dünnschichten, die zu den Invar-Materialien zählen und eine extrem robuste und hohe Datenspeicherdichte ermöglichen. Ein technologisch relevantes Material für solche HAMR-Datenspeicher sind Dünnschichten aus Eisen-Platin-Nanokörnern. Ein internationales Team um die gemeinsame Forschungsgruppe von Matias Bargheer am HZB und der Universität Potsdam hat nun erstmals experimentell beobachtet, wie in diesen Eisen-Platin-Dünnschichten eine besondere Spin-Gitter-Wechselwirkung die Wärmeausdehnung des Kristallgitters aufhebt.

Science Advances (2020): Spin stress contribution to the lattice dynamics of FePt. A. von Reppert, L. Willig, J. Pudell, S. Zeuschner, G. Sellge, F. Ganss, O. Hellwig, J. A. Arregi, V. Uhlir, A. Crut, M. Bargheer. DOI: [10.1126/sciadv.aba1142](https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1142)

Ein Röntgenpuls untersucht die Delokalisierung von Eisen 3d-Elektronen auf anliegende Liganden.
© HZB/M. Künsting



MATERIE

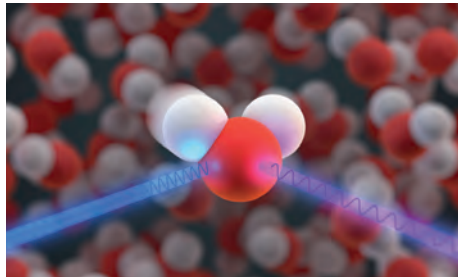
LADUNGSTRANSFER INNERHALB VON ÜBERGANGSMETALL-FARBSTOFFEN ANALYSIERT

In farbstoffbasierten Solarzellen sorgen Übergangsmetall-Komplexe dafür, dass Licht in elektrische Energie umgewandelt wird. Bisher ging man davon aus, dass innerhalb des Moleküls eine räumliche Ladungstrennung stattfindet. Dass dies eine zu simple Beschreibung des Prozesses ist, zeigt eine Analyse an BESSY II. Erstmals hat dort ein Team die **fundamentalen elektronischen Prozesse** rund um das Metallatom und seine Liganden untersucht. „Wir konnten direkt beobachten, wie der Laserpuls die 3d-Orbitale am Metall entvölkert“, erklärt Raphael Jay, Doktorand und Erstautor der Studie. Diese Erkenntnisse könnten dazu beitragen, **neue**

Materialien für Farbstoffsolarzellen zu entwickeln. Denn bisher werden standardmäßig Ruthenium-Komplexe in organischen Solarzellen verwendet. Ruthenium ist jedoch ein seltenes Element und entsprechend teuer. Eisen-Komplexe wären deutlich billiger, weisen aber hohe Rekombinationsraten auf. Weitere Untersuchungen werden zeigen, worauf es bei Übergangsmetall-Komplexen ankommt, damit Licht effizient in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Angewandte Chemie International Edition (2019): Covalency-driven preservation of local charge densities in a metal-to-ligand charge-transfer excited iron photosensitizer. Raphael M. Jay, Sebastian Eckert, Vinicius Vaz da Cruz, Mattis Fondell, Rolf Mitzner, Alexander Föhlisch. DOI: [10.1002/anie.201904761](https://doi.org/10.1002/anie.201904761)

WASSER IST HOMOGENER ALS GEDACHT



Mit Röntgenlicht (blau) werden Wassermoleküle angeregt. Aus dem abgestrahlten Licht (lila) lassen sich Informationen über Wasserstoffbrücken gewinnen.
© HZB/T. Splettstoesser

Um die bekannten Anomalien in Wasser zu erklären, gehen manche Forscher davon aus, dass Wasser auch bei Umgebungsbedingungen aus einer Mischung von zwei Phasen besteht. Neue röntgenspektroskopische Analysen an BESSY II, der ESRF und der Swiss Light Source zeigen jedoch, dass dies nicht der Fall ist. Bei Raumtemperatur und normalem Druck bilden die Wassermoleküle ein fluktuierendes Netz mit durchschnittlich je $1,74 \pm 2.1\%$ Donator- und Akzeptor-Wasserstoffbrückenbindungen pro Molekül, die eine tetrahedrische Koordination zwischen nächsten Nachbarn ermöglichen.

PNAS 2019: Compatibility of quantitative X-ray spectroscopy with continuous distribution models of water at ambient conditions. Johannes Niskanen, Mattis Fondell, Sebastian Eckert, Raphael M. Jay, Annette Pietzsch, Vinicius Vaz da Cruz, Alexander Föhlisch. DOI: [10.1073/pnas.1815701116](https://doi.org/10.1073/pnas.1815701116)

EXPERIMENT ZEIGT, WIE ELEKTROLYTE METALLISCH WERDEN



© Science

Ein internationales Team hat erstmals an BESSY II ein raffiniertes Experiment entwickelt, um die Bildung eines metallischen Leitungsbandes in Elektrolyten zu beobachten. Dafür stellten sie kryogene Lösungen aus flüssigem Ammoniak mit verschiedenen Konzentrationen von Alkali-Metallen her und untersuchten den Flüssigkeitsstrahl mit weichem Röntgenlicht. Äußerlich zeigt sich der Übergang von einzelnen Metall-Atomen in Lösung zu einem metallischen Verbund, indem die Farbe der Lösung von blau zu golden wechselt. Diesen Vorgang konnten sie nun durch die Messdaten an BESSY II im Detail analysieren. Die Arbeit ist in „Science“ publiziert und erschien sogar als Titelgeschichte.

Science (2020): Photoelectron spectra of alkali metal-ammonia microjets: From blue electrolyte to bronze metal. Tillmann Buttersack, Philip E. Mason, Ryan S. McMullen, H. Christian Schewe, Tomas Martinek, Krystof Brezina, Martin Crhan, Axel Gomez, Dennis Hein, Garlef Wartner, Robert Seidel, Hebatallah Ali, Stephan Thürmer, Ondrej Marsalek, Bernd Winter, Stephen E. Bradforth, Pavel Jungwirth. DOI: [10.1126/science.aaz7607](https://doi.org/10.1126/science.aaz7607)

ELEKTRON-PHONON-WECHSELWIRKUNGEN AN BESSY II ANALYSIERT

Wie schnell kann ein Magnet seine Ausrichtung ändern und was sind die mikroskopischen Mechanismen? Diese Fragen sind für die Entwicklung von Datenspeichern und Computerchips von größter Bedeutung. Jetzt ist es einem HZB-Team an BESSY II erstmals gelungen, den wichtigsten mikroskopischen Prozess des ultraschnellen Magnetismus experimentell zu beobachten. Die zu diesem Zweck entwickelte Methodik kann auch zur Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Spins und Gitterschwingungen in Graphen, Supraleitern oder anderen (Quanten-) Materialien verwendet werden.

Scientific Reports, 2019: Measuring the atomic spin-flip scattering rate by x-ray emission spectroscopy. Régis Decker, Artur Born, Robby Büchner, Kari Ruotsalainen, Christian Strahlman, Stefan Neppel, Robert Haverkamp, Annette Pietzsch, Alexander Föhlisch. DOI: [10.1038/s41598-019-45242-8](https://doi.org/10.1038/s41598-019-45242-8)

NEUER PROBENHALTER FÜR DIE PROTEINKRISTALLOGRAPHIE

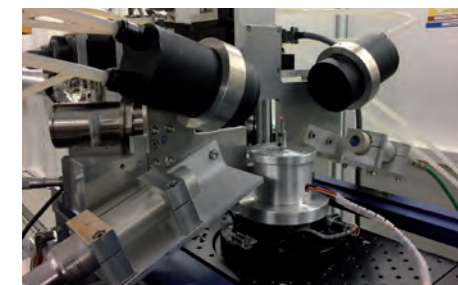


Bis zu drei Tropfen Proteinlösung können auf den Probenhalter gegeben werden. 24 Probenhalter sind auf jeweils einer Platte gruppiert. © HZB

Ein HZB-Team hat einen neuartigen Probenhalter entwickelt, der die Messung von Proteinkristallen deutlich erleichtert. Proteine in Lösung kristallisieren auf den Probenhaltern selbst aus und können dann direkt an den MX-Beamlines von BESSY II analysiert werden. Dies schont die winzigen und sehr fragilen Proteinkristalle und spart Arbeitsschritte ein. Die Probenhalter sind patentiert und können nun industriell angefertigt werden.

J. Vis. Exp. (2019): An All-in-one Sample Holder for Macromolecular X-ray Crystallography with Minimal Background Scattering. Christian G. Feiler, Dirk Wallacher, Manfred S. Weiss. DOI: [10.3791/59722](https://doi.org/10.3791/59722)

TOMOGRAPHIE-WELTREKORD: ZUSCHAUEN, WIE METALL AUFGESCHÄUMT WIRD



Der Messtisch rotiert extrem präzise und mehrere hundert Male pro Sekunde um seine Achse. © HZB

Mit einem am HZB entwickelten Rotationstisch hat ein internationales Team an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz, SLS, einen neuen Rekord erreicht: Mit 208 dreidimensionalen Röntgenaufnahmen (Tomographien) pro Sekunde konnten sie die dynamischen Prozesse beim Aufschäumen von flüssigem Aluminium dokumentieren. Diese als Computertomographie bezeichnete neue Methode könnte auch Einblicke in viele weitere Prozesse ermöglichen: Zum Beispiel ließe sich damit untersuchen, wie sich Materialien beim Laserschweißen verändern oder was passiert, wenn sich Batterien durch Kurzschluss überhitzen (thermal runaway). Die Gruppen am HZB und PSI arbeiten nun daran, die Geschwindigkeit weiter zu erhöhen, um die Zeitaufklärung der Messungen noch zu steigern.

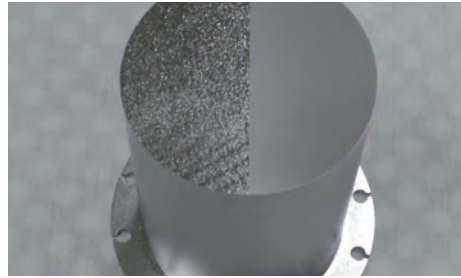
Nature communications (2019): Using X-ray tomography to explore the dynamics of foaming metal. Francisco García-Moreno, Paul Hans Kamm, Tillmann Robert Neu, Felix Bülk, Rajmund Mokso, Christian Matthias Schlepütz, Marco Stamparoni, John Banhart. DOI: [10.1038/s41467-019-11521-1](https://doi.org/10.1038/s41467-019-11521-1)

SONDERAUSGABE ZU RÖNTGENMETHODEN

In der jetzt erschienenen Sonderausgabe der **Philosophical Transactions of the Royal Society of London** berichten international ausgewiesene Experten über neue Entwicklungen bei Röntgenquellen und ultraschnellen zeitaufgelösten Experimenten. Auch HZB-Physiker wurden zu Beiträgen aufgefordert und haben geliefert.

- **Measurement of ultrafast electronic and structural dynamics with X-rays.** J. P. Marangos (ed.). DOI: [10.1098/rsta/377/2145](https://doi.org/10.1098/rsta/377/2145)
- **Recent Advances in Ultrafast X-ray Sources.** Robert Schoenlein, Thomas Elsaesser, Karsten Holldack, Zhirong Huang, Henry Kapteyn, Margaret Murnane, Michael Woerner. DOI: [10.1098/rsta.2018.0384](https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0384)
- **Chemical interactions and dynamics with femtosecond X-ray spectroscopy and the role of X-ray free-electron lasers;** Philippe Wernet. DOI: [10.1098/rsta.2017.0464](https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0464)

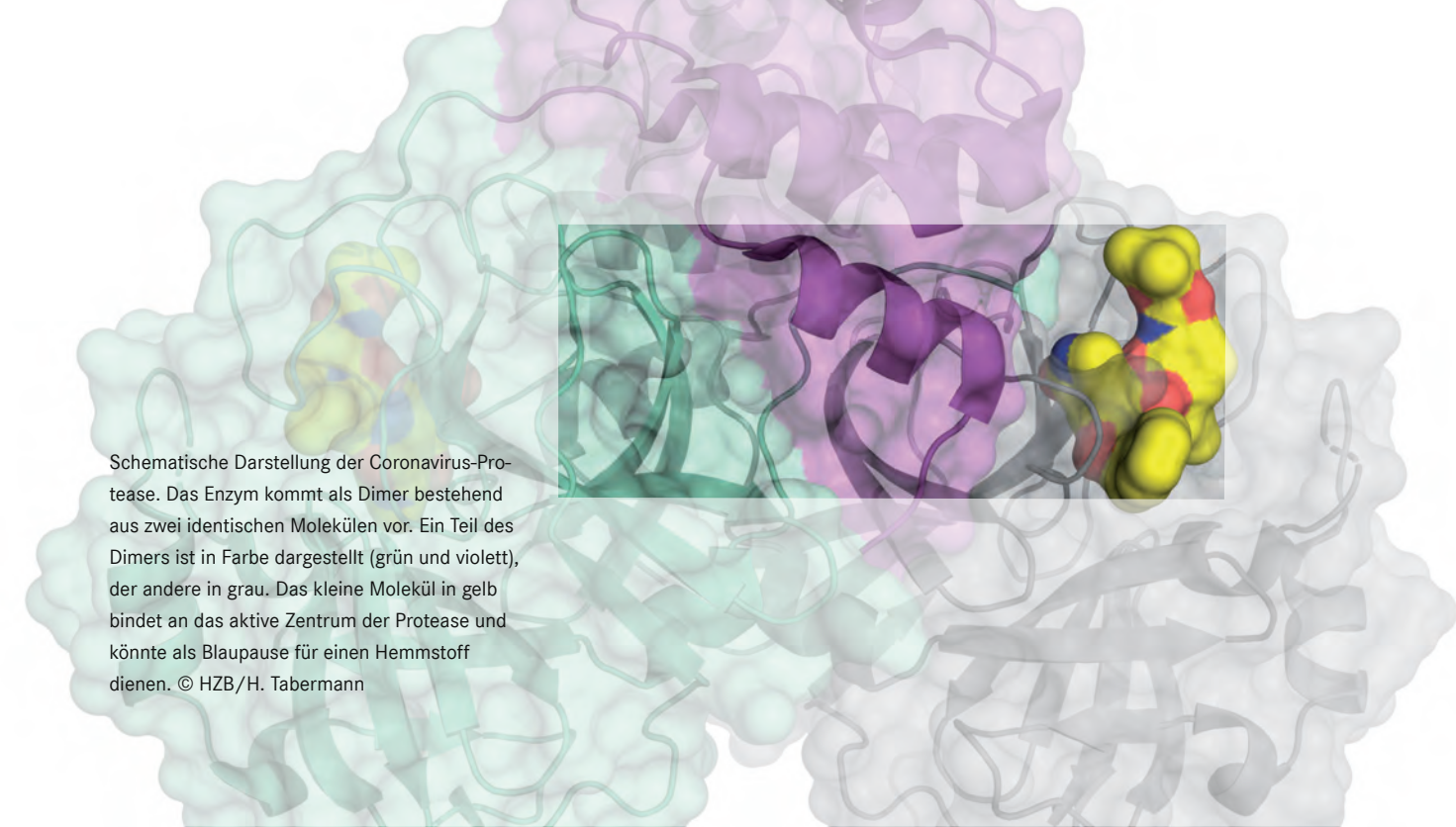
ALTERNATIVES MATERIAL FÜR SUPRALEITENDE HOCHFREQUENZ-KAVITÄTEN GETESTET



Die Fotomontage zeigt eine Probe aus reinem Niob (links) und eine Probe, die mit Nb₃Sn beschichtet wurde (rechts). © HZB

Supraleitende Hochfrequenz-Kavitäten können Elektronenpakete in modernen Synchrotronquellen und Freien Elektronenlasern mit extrem hoher Energie ausstatten. Zurzeit bestehen sie aus reinem Niob. Eine internationale Kooperation hat nun untersucht, welche Vorteile eine Beschichtung mit Niob-Zinn im Vergleich zu reinem Niob bietet. Durch die Kombination verschiedener Messverfahren konnte sie zeigen, dass der aktuell verwendete Beschichtungsprozess zur Herstellung von Nb₃Sn noch verbessert werden kann.

Superconductor Science and Technology, (2019): Critical fields of Nb₃Sn prepared for superconducting cavities. S. Keckert, T. Junginger, T. Buck, D. Hall, P. Kolb, O. Kugeler, R. Laxdal, M. Liepe, S. Posen, T. Prokscha, Z. Salman, A. Suter and J. Knobloch. DOI: [10.1088/1361-6668/ab119e](https://doi.org/10.1088/1361-6668/ab119e)



NUTZEREXPERIMENTE

CORONAVIRUS SARS-COV-2: BESSY-II-DATEN BESCHLEUNIGEN DIE SUCHE NACH WIRKSTOFFEN

Weltweit versucht die Forschung, **Wirkstoffe gegen SARS-CoV-2** zu finden und zu entwickeln. Wichtig ist dafür die Strukturanalyse von Makromolekülen, die im Virus eine Funktion ausüben. Diese Funktion hängt eng mit der dreidimensionalen Architektur des Makromoleküls zusammen. Kennt man diese dreidimensionale Architektur, kann man gezielt Angriffspunkte für Wirkstoffe identifizieren.

Bereits Anfang 2020 konnte ein Team um Rolf Hilgenfeld von der Universität Lübeck die **dreidimensionale Architektur der viralen Hauptprotease von SARS-CoV-2 an den MX-Beamlines von BESSY II** entschlüsseln.

Die virale Hauptprotease ist an der Vermehrung des Virus beteiligt. „Speziell für solche hochaktuellen Fragestellungen ermöglichen wir einen Fast-Track-Zugang zu unseren Instrumenten“, sagt Manfred Weiss, der die Gruppe makromolekulare Kristallographie am HZB leitet. Daraus ergeben sich konkrete Ansatzpunkte, um Wirkstoffe zu entwickeln. Diese könnten gezielt an Schwachstellen des Makromoleküls andocken und seine Funktion behindern.

Science (2020): Crystal structure of SARS-CoV-2 main protease provides a basis for design of improved α -ketoamide inhibitors. Linlin Zhang, Daizong Lin, Xinyuanyuan Sun, Ute Curth, Christian Drosten, Lucie Sauerhering, Stephan Becker, Katharina Rox, Rolf Hilgenfeld. DOI: [10.1126/science.abb3405](https://doi.org/10.1126/science.abb3405)

NEUE MOLEKÜLBIBLIOTHEK FÜR SYSTEMATISCHE SUCHE NACH WIRKSTOFFEN

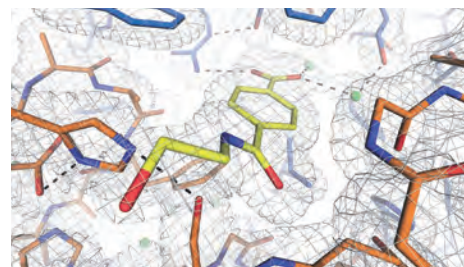


Die Fragmentbibliotheken, die das MX-Team gemeinsam mit einer Gruppe der Uni Marburg aufgebaut hat, stehen den Nutzer*innen an BESSY II zur Verfügung. Die Grafik zeigt den Ablauf der Untersuchung. © HZB

Um die systematische Entwicklung von Medikamenten zu beschleunigen, hat das MX-Team am Helmholtz-Zentrum Berlin mit der Drug Design Gruppe der Universität Marburg eine neue Fragmentbibliothek aufgebaut. Sie besteht aus 1103 organischen Molekülen, die als Bausteine von neuen Wirkstoffen infrage kommen. Das MX-Team hat diese Bibliothek nun in Kooperation mit der FragMAX-Gruppe am MAX IV validiert. Die Fragmentbibliothek des HZB steht weltweit für die Forschung zur Verfügung und spielt auch bei der Suche nach Wirkstoffen gegen SARS-CoV-2 eine Rolle.

Structure (2020): F2X-Universal and F2X-Entry: Structurally Diverse Compound Libraries for Crystallographic Fragment Screening. Jan Wollenhaupt, Alexander Metz, Tatjana Barthel, Gustavo Lima, Andreas Heine, Uwe Mueller, Gerhard Klebe, Manfred S. Weiss. DOI: [10.1016/j.str.2020.04.019](https://doi.org/10.1016/j.str.2020.04.019)

„MOLEKULARE SCHERE“ FÜR DEN PLASTIKMÜLL



MHEase bei der Arbeit: MHET, ein Teilmolekül von PET, wird in die Grundbausteine Terephthalsäure und Ethylenglykol zerlegt. © HZB/G. Weber

Ein Team der Universität Greifswald und des Helmholtz-Zentrum Berlin hat an BESSY II die Struktur eines wichtigen Enzyms (MHEase) entschlüsselt. Die MHEase wurde in einem Bakterium entdeckt und ist in der Lage, zusammen mit einem zweiten Enzym, der PETase, den weit verbreiteten Kunststoff PET in seine Grundbausteine zu zerlegen. Die 3-D-Struktur der MHEase ermöglichte es den Forscher*innen bereits, die Aktivität dieses Enzyms gezielt zu optimieren, um es zusammen mit der PETase für das nachhaltige Recycling von PET zu nutzen.

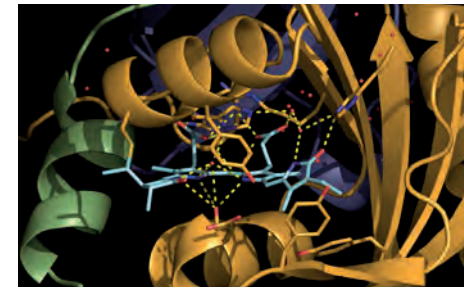
Nature Communications (2019): Structure of the plastic-degrading Ideonella sakaiensis MHEase bound to a substrate. G.J. Palm, L. Reisky, D. Böttcher, H. Müller, E.A.P. Michels, C. Walczak, L. Berndt, M.S. Weiss, U.T. Bornscheuer, G. Weber. DOI: [10.1038/s41467-019-09326-3](https://doi.org/10.1038/s41467-019-09326-3)

KREBSFORSCHUNG: BINDUNGSMECHANISMEN VON WIRKSTOFFEN ENTSCHLÜSSELT

In Tumorzellen ist die DNA im Vergleich zu normalen Körperzellen verändert. Wie solche Veränderungen verhindert oder gehemmt werden können, ist ein spannendes Forschungsgebiet mit großer Relevanz für die Entwicklung von Krebsbehandlungen. Ein interdisziplinäres Team hat nun durch Proteinkristallographie an BESSY II die möglichen Bindungsmechanismen von bestimmten therapeutischen Substanzen aus der Gruppe der Tetrazolhydrazide an ein entscheidendes Protein in der Zelle analysiert. Eine verfeinerte Auswertung zeigte nicht nur die dreidimensionale Architektur dieser Substanzklasse, sondern auch, wo genau am Zielmolekül die aktiven Substanzen angedockt hatten. Diese Einblicke helfen bei der Entwicklung von Wirkstoffen.

ChemMedChem (2019): Structure-based screening of tetrazolhydrazide inhibitors vs. KDM4 histone demethylases. Piotr H. Malecki, Nicole Rüger, Martin Roatsch, Oxana Krylova, Andreas Link, Manfred Jung, Udo Heinemann, Manfred S. Weiss. DOI: [10.1002/cmdc.201900441](https://doi.org/10.1002/cmdc.201900441)

EINBLICK IN DAS AUGEN DER PFLANZEN



Innerhalb der 3-D-Struktur eines Phytochrom-Moleküls zeigt sich ein Bilin-Pigment, das ein Photon aufnehmen kann. © J. Hughes

Pflanzen nutzen Licht nicht nur für die Photosynthese. Die Pflanzenzelle hat zwar keine Augen, kann aber dennoch Licht wahrnehmen und damit ihr Umfeld. Dabei spielen Phytochrome, bestimmte türkisfarbige Proteine, die zentrale Rolle. Wie genau sie funktionieren, ist noch unklar. Nun konnte das Team um den Pflanzenphysiologen Jon Hughes (Justus-Liebig-Universität Gießen) an BESSY II die dreidimensionale Architektur von verschiedenen pflanzlichen Phytochrom-Molekülen entschlüsseln. Dabei zeigt sich, wie Licht die Struktur des Phytochroms verändert, sodass die Zelle das Lichtsignal weiterleitet, um die Entwicklung der Pflanze entsprechend zu steuern.

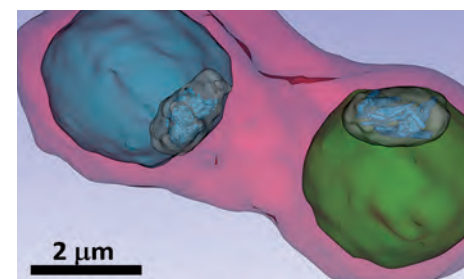
Nature Plants (2020): Structural insights into photoactivation and signalling in plant phytochromes. Soshichiro Nagano, Kaoling Guan, Sintayehu Manaye Shenkutie, Christian Feiler, Manfred Weiss, Anastasia Kraskov, David Buhrke, Peter Hildebrandt, Jon Hughes. DOI: [10.1038/s41477-020-0638-y](https://doi.org/10.1038/s41477-020-0638-y)

NANOPARTIKEL KÖNNEN ZELLEN VERÄNDERN

Nanopartikel dringen leicht in Zellen ein. Wie sie sich dort verteilen und was sie bewirken, zeigen nun erstmals hochaufgelöste 3-D-Mikroskopie-Aufnahmen an den Synchrotronlichtquellen BESSY II und ALBA. So reichern sich bestimmte Nanopartikel bevorzugt in bestimmten Organellen der Zelle an. Dadurch kann der Energieumsatz in der Zelle steigen. „Die Zelle sieht aus wie nach einem Marathonlauf, offensichtlich kostet es Energie, solche Nanopartikel aufzunehmen“, sagt Hauptautor James McNally.

ACS Nano (2020): Cells Undergo Major Changes in the Quantity of Cytoplasmic Organelles after Uptake of Gold Nanoparticles with Biologically Relevant Surface Coatings. Burcu Kepsutlu, Virginia Wycisk, Katharina Achazi, Sergey Kapishnikov, Ana Joaquina Pérez-Berná, Peter Guttmann, Antje Cossmer, Eva Pereiro, Helge Ewers, Matthias Ballauff, Gerd Schneider, James G. McNally. DOI: [10.1021/acsnano.9b09264](https://doi.org/10.1021/acsnano.9b09264)

RÖNTGENANALYSE AN BESSY II ZEIGT, WIE MALARIA-WIRKSTOFFE DIE ERREGER BEKÄMPFEN

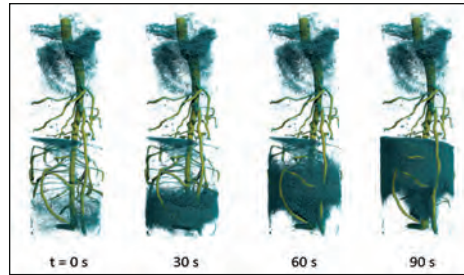


Nach Einfärbung sind die Plasmodien (blau und grün) in der Blutzelle mit vielen Details zu erkennen, unter anderem ist die Vakuole sichtbar. © S. Kapishnikov

Malaria zählt zu den bedrohlichsten Infektionserkrankungen weltweit. Nun konnte ein internationales Team Malaria-Erreger in roten Blutkörperchen unter natürlichen Bedingungen mit Röntgenmikroskopie an BESSY II und den Synchrotronquellen ALBA und ESRF untersuchen. Die infizierten Blutzellen wurden mit unterschiedlichen Konzentrationen des Wirkstoffs Bromoquin aus der Familie der Chinoline versetzt. Die Auswertung zeigt, über welche Mechanismen die Wirkstoffe die Erreger angreifen. Diese Untersuchungen können auch mit weiteren Wirkstoffen aus den Wirkstoff-Familien der Chinoline und Artemisinine durchgeführt werden und damit in die Verbesserung von Malaria-Therapien einfließen.

PNAS (2019): Mode of action of quinoline antimalarial drugs in red blood cells infected by Plasmodium falciparum, revealed in-vivo. Sergey Kapishnikov, Trine Staalsø, Yang Yang, Jiwoong Lee, Ana J. Perez-Berna, Eva Pereiro, Yang Yang, Stephan Werner, Peter Guttmann, Leslie Leiserowitz, and Jens Als-Nielsen. DOI: [10.1073/pnas.1910123116](https://doi.org/10.1073/pnas.1910123116)

SO SCHNELL WIE NOCH NIE: NEUTRONENTOMOGRAPHIE ZEIGT, WIE WURZELN „TRINKEN“



Die zeitaufgelöste 3-D-Neutronentomographie zeigt den Aufstieg von deuteriertem Wasser im Wurzelsystem einer Lupinenpflanze. © C. Tötze/Uni Potsdam

Ein Team aus Potsdam, Berlin und Grenoble konnte mit ultraschneller 3-D-Neutronenbildgebung den Transport von Wasser im Boden und die anschließende Aufnahme durch die Wurzeln von Lupinen visualisieren. Die ultrakurze Neutronentomographie, die am HZB entwickelt wurde, erzeugt alle 1,5 Sekunden eine vollständige 3-D-Aufnahme und ist damit siebenmal so schnell wie zuvor. „Die tomographische Methode ermöglicht es, die Wasserflüsse im Boden und in den Wurzeln im Zeitverlauf festzuhalten“, sagt Christian Tötze. „Diese Einsichten helfen, Strategien zum effizienteren und nachhaltigeren Einsatz von Wasser und Dünger beim Anbau von Nutzpflanzen zu entwickeln.“ Die Messungen fanden an der Neutronenquelle des Instituts Laue Langevin in Grenoble, Frankreich statt. Die Methode ist grundsätzlich auch für die Analyse von Transportprozessen in anderen Materialien interessant.

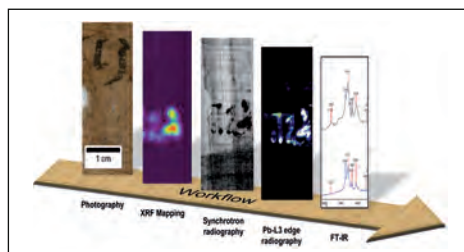
Publiziert als besondere Empfehlung des Editors in *Optics Express* (2019): **What comes NeXT? – High-Speed Neutron Tomography at ILL.** C. Tötze, N. Kardjilov, N. Lenoir, I. Manke, S.E. Oswald, A. Tengattini. DOI: 10.1364/OE.27.028640

SEHEN, RIECHEN, SCHMECKEN: WIE BIOMOLEKÜLE IN SINNESZELLEN FUNKTIONIEREN

Ein Team hat analysiert, wie sich das Biomolekül Rhodopsin nach der Aktivierung durch Licht verändert. Rhodopsin spielt beim Sehen eine zentrale Rolle, ist aber auch ein Prototyp für Rezeptoren in anderen Sinnesorganen. Ein neu entwickeltes Infrarotspektrometer an BESSY II hat es ermöglicht, diese Untersuchung erstmals unter natürlichen Bedingungen durchzuführen. Mit der neuen Methode lassen sich schnelle, irreversible Reaktionen mit nur einer einzigen Messung beobachten. Bislang mussten dafür Tausende solcher Reaktionen ausgewertet werden. Viele biologische Prozesse sind jedoch irreversibel und lassen sich nicht zyklisch wiederholen.

Journal of Physical Chemistry Letters (2019): **Féry Infrared Spectrometer for Single-Shot Analysis of Protein Dynamics.** Eglof Ritter, Ljiljana Puskar, So Young Kim, Jung Hee Park, Klaus Peter Hofmann, Franz Bartl, Peter Hegemann, Ulrich Schade. DOI: 10.1021/acs.jpcl.9b03099

ARCHÄOLOGIE AN BESSY II: „GEHEIMTINTE“ AUF ANTIKEM PAPYRUS VOM NIL ENTHÜLLT



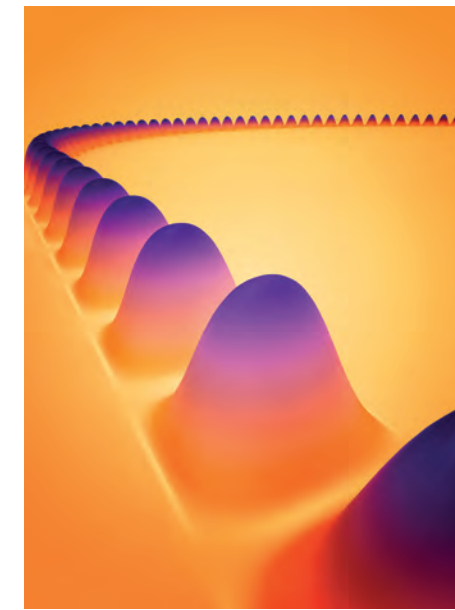
Untersuchung eines antiken Papyrus mit einer vermeintlich leeren Stelle. © HZB

Die alten Ägypter verfassten viele Dokumente auf Papyrus-Stücke, die anschließend sorgfältig gerollt oder zusammengefasst wurden. Jahrtausende später ist es jedoch unmöglich, diese wertvollen Zeugnisse zu entfalten, ohne sie zu zerstören. An BESSY II gelingt dies zerstörungsfrei durch Röntgenanalysen und eine anschließende Computerbearbeitung der Daten: So lassen sich die Dokumente virtuell entfalten. An der BAMline von BESSY II gelang es einem interdisziplinären Team nun, Tintenspuren auf einem augenscheinlich leeren Stück Papyrus zu identifizieren. Es stammte aus einer Sammlung, die auf der Nil-Insel Elephantine ausgegraben wurde. Die Forschenden fanden nicht nur heraus, welche Tinte bei der

Beschriftung verwendet wurde, sondern es gelang ihnen auch, Teile der Zeichen auf dem Papyrus sichtbar zu machen. Zum Forschungsteam gehörten Expert*innen aus dem Ägyptischen Museum und der Papyrussammlung, der Berliner Universitäten und des Helmholtz-Zentrums Berlin.

Journal of Cultural Heritage (2019): **Absorption Edge Sensitive Radiography and Tomography of Egyptian Papyri.** T. Arlt, H.-E. Mahnke, T. Siopi, E. Menei, C. Aibéo, R.-R. Pausewein, I. Reiche, I. Manke, V. Lepper. DOI: 10.1016/j.culher.2019.04.007

WEGWEISER FÜR SPINWELLEN



Eine Spinwelle breitet sich entlang einer magnetischen Domänenwand aus. © HZDR/Juniks

Wellen aus regelmäßig orientierten Spins können sich wie elektrische Ladungen ausbreiten und dabei Informationen transportieren. Dabei entsteht deutlich weniger Wärme. Allerdings: Um sie technisch nutzen zu können, müssen Spinwellen eine sehr kurze Wellenlänge haben – und sich gezielt leiten lassen.

Einem Forscherteam um Sebastian Wintz und Volker Sluka vom Helmholtz-Zentrum in Dresden-Rossendorf sowie Markus Weigand vom HZB ist es erstmals gelungen, beide Anforderungen zu erfüllen. Durch Anregen einer Kombination dünner Plättchen mit bestimmten magnetischen Eigenschaften mit hochfrequenten Magnetfeldern konnten sie Wellenlängen von nur rund 100 Nanometern erzeugen. Dabei nutzten die Forscher Domänenwände: Grenzbereiche zwischen Regionen mit unterschiedlich orientierten Spins. Das Team fand zudem eine Möglichkeit, Spinwellen innerhalb der Wände zu halten – und dadurch gezielt zu steuern. Mit einem leistungsfähigen Röntgenmikroskop am HZB, betrieben vom Stuttgarter Max-Planck-Institut für intelligente Systeme, zeigte sich: Die Wellen können so sogar um die Kurve laufen. Damit ist ein weiterer Schritt hin zur Entwicklung neuartiger, besonders energieeffizienter Computerchips getan.

Nature Nanotechnologies (2019): **Emission and Propagation of Multi-Dimensional Spin Waves in Anisotropic Spin Textures.** V. Sluka, T. Schneider, R. A. Gallardo, A. Kakay, M. Weigand, T. Warnatz, R. Mattheis, A. Roldan-Molina, P. Landeros, V. Tiberkevich, A. Slavin, G. Schütz, A. Erbe, A. Deac, J. Lindner, J. Raabe, J. Fassbender, S. Wintz. DOI: 10.1038/s41565-019-0383-4

NUTZEBETRIEB BER II

Am 11. Dezember 2019 endete der Betrieb des Forschungsreaktors BER II nach 46 Jahren. Durch die frühe Bekanntgabe der Schließung durch den Aufsichtsrat bereits in 2013 ist es dem HZB gelungen, sein Profil auf die Erforschung von Energiematerialien und die Weiterentwicklung des Elektronenspeicherrings BESSY II zu fokussieren. Der BER II soll in den nächsten Jahren zurückgebaut werden. Die Instrumente wurden und werden sukzessive - national vor international - an andere Neutronenquellen transferiert, um sie der wissenschaftlichen Nutzung zu erhalten.

BOROPHOSPHATE FÜR EFFIZIENTE WASSERSPALTUNG



Die tiefrosa Kristalle erhöhen den Wirkungsgrad deutlich. © TU Berlin

Wasserstoff ist einer der wichtigsten Bausteine für das postfossile Zeitalter. Durch Elektrokatalyse lässt er sich kohlenstoffneutral aus Wasser und regenerativer Energie erzeugen. Das geschieht in zwei Teilen: der Sauerstoffreaktion, bei der Wasser in seine Bestandteile gespalten wird, und der Wasserstoffreaktion, bei der die Wasserstoffionen in gasförmigen Wasserstoff umgewandelt werden. Das Elektrodenmaterial und dessen katalytische Eigenschaften sind dabei von großer Bedeutung. Ein Team der Technischen Universität Berlin hat jetzt Alkalimetall-Kobalt-Borophosphate als potenzielles Katalysatormaterial untersucht. Dazu nahmen sie auch Röntgenabsorptionsspektren an der Synchrotronquelle BESSY II auf. Das Ergebnis ihrer Experimente überraschte: Die porösen, tiefrosa Kristalle sind in der Lage, den Wirkungsgrad beider Teilreaktionen über lange Zeit zu erhöhen. Das auf der Erde reichlich vorhandene Material ermöglicht damit einfache, kostengünstige und langzeitstabile Gesamtsysteme zur Wasserspaltung.

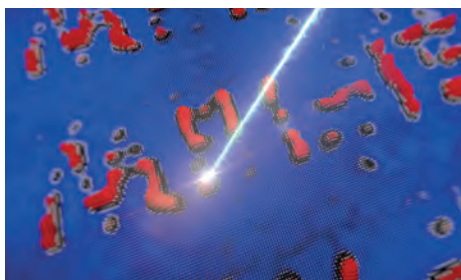
En. Envir. Science, impact: 33, citations: 29 (2019): Helical cobalt borophosphates to master durable overall water-splitting. Menezes, W.P.; Indra, A.; Zaharieva, I.; Walter, C.; Loos, S.; Hoffmann, S.; Schlögl, R.; Dau, H.; Driess, M. DOI: 10.1039/c8ee01669k

NICHT ALLE KRISTALLE LASSEN SICH ZUM FERROMAGNETISMUS ZWINGEN

Mit einem äußeren Magnetfeld lassen sich normalerweise die winzigen magnetischen Momente in Festkörpern entlang des Außenfeldes ausrichten, sodass die Probe schließlich ferromagnetisch wird. Doch das trifft nicht auf jedes Material zu. Ein Team hat nun Kristalle aus einer Uranverbindung unter extrem hohen Magnetfeldern mit Neutronen untersucht und ein deutlich komplexeres Verhalten beobachtet. Die Experimente fanden am Hochfeldmagneten an der Neutronenquelle BER II des HZB statt, der ein konstantes Magnetfeld von bis zu 26 Tesla erzeugt. Dies ist etwa 500 000-mal stärker als das Erdmagnetfeld. Weitere Experimente mit gepulsten Magnetfeldern bis zu 45 Tesla wurden am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) durchgeführt.

Phys. Rev. Research (2020): Noncollinear magnetic structure in U₂Pd₂In at high magnetic fields. K. Prokeš, M. Bartkowiak, D. I. Gorbunov, O. Prokhnenko, O. Rivin, P. Smeibidl. DOI: 10.1103/PhysRevResearch.2.013137

NEUE WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN LICHT UND MATERIE

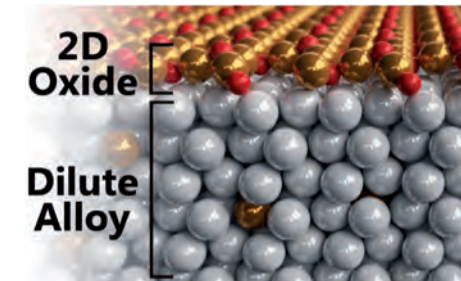


Ein gebündelter weicher Röntgenstrahl schreibt zahlreiche Magnetwirbel, die zusammen den Begriff „MPI-IS“ ergeben. © A. Posada, F. Groß/MPI-IS

Ein deutsch-chinesisches Team um Gisela Schütz vom MPI für Intelligente Systeme hat an BESSY II eine neue Wechselwirkung zwischen Licht und Materie entdeckt. Es gelang ihnen damit, nanometerfeine magnetische Wirbel in einer magnetischen Schicht zu erzeugen. Dabei handelt es sich um sogenannte Skyrmionen, die für künftige Informationstechnologien interessant sind.

Nature communications (2020): Creating zero-field skyrmions in exchange-biased multilayers through X-ray illumination. Yao Guang, Luliya Bykova, Yizhou Liu, Guoqiang Yu, Eberhard Goering, Markus Weigand, Joachim Gräfe, Se Kwon Kim, Junwei Zhang, Hong Zhang, Zhengren Yan, Caihua Wan, Jiafeng Feng, Xiao Wang, Chenyang Guo, Hongxiang Wei, Yong Peng, Yaroslav Tserkovnyak, Xiufeng Han & Gisela Schütz. DOI: 10.1038/s41467-020-14769-0

BILDUNG EINES 2-D META-STABILEN OXIDS IN REAKTIVEN UMGEBUNGEN



Darstellung der beschriebenen, auf AgCu in oxidierenden Umgebungen gebildeten Cu_xO_y-Struktur. © (2020) ACS Publishing

In vielen Anwendungen der Katalyse, bei chemischen Sensoren, Brennstoffzellen und Elektroden spielt das chemische Verhalten von Festkörperoberflächen eine wichtige Rolle. Ein Forscherteam des Max-Planck-Instituts für chemische Energiekonversion hat an der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II nun ein Phänomen beschrieben, das auftreten kann, wenn Metalllegierungen reaktiven Umgebungen ausgesetzt werden.

ACS Applied Materials & Interfaces 12(20): Formation a 2D meta-stable oxide by differential oxidation of AgCu alloys. Schweinar, K., Beeg, S., Hartwig, C., Rajamathi, C.R., Kasian, O., Piccinin, S., Prieto, M.J., Tanase, L.C., Gottlob, D.M., Schmidt, T., Raabe, D., Schlögl, R., Gault, B., Jones, T.E., Greiner, M.T. (2020). DOI: 10.1021/acsami.0c03963

NEUE MATERIALIEN STEIGERN DIE EFFIZIENZ IN ETHANOL-BRENNSTOFFZELLEN



Das Material besteht aus Nafion mit eingebetteten Nanopartikeln. © B.Matos/IPEN

Eine Gruppe aus Brasilien hat mit einem HZB-Team eine neuartige Kompositmembran für Ethanol-Brennstoffzellen untersucht. Sie besteht aus dem Polymer Nafion, in das durch Schmelzextrusion Titanat-Nanopartikel eingebettet sind. An BESSY II konnten sie beobachten, wie die Nanopartikel in der Nafion-Matrix verteilt sind und wie sie die Protonenleitfähigkeit steigern.

Journal of Membrane Science (2020): Properties and DEFC tests of Nafion - Functionalized titanate nanotubes composite membranes prepared by melt-extrusion. B.R. Matos, C.A. Goulart, B. Tosco, J.S. da Silva, R.A. Isidoro, E.I. Santiago, M. Linardi, U. Schade, L. Puskar, F.C. Fonseca, A.C. Tavares. DOI: 10.1016/j.memsci.2020.118042

BESONDERE PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

2019

Prof. Dr. Steve Albrecht erhielt den Berliner Wissenschaftspreis für Nachwuchsforschende für seine Forschung an neuartigen Tandem-Solarzellen und wurde mit dem Karl-Scheel-Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) ausgezeichnet.

Dr. Godehard Wüstefeld wurde mit dem Horst-Klein-Forschungspreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft für seine herausragenden Beiträge zur Beschleunigerforschung geehrt.

Dr. Eneli Härk wurde auf der International Association of Advanced Materials, IAAM, mit einer Medaille geehrt.

Prof. Dr. Klaus Lips und **Prof. Dr. Jens Anders** erhielten den HZB Technologietransfer Preis 2019 für ihr Projekt „EPR-ON-A-CHIP - Eine Revolution in der spinbasierten Analytik“.

2020

Dr. Tristan Petit erhält einen ERC-Starting Grant des Europäischen Forschungsrats und wird mit 1,5 Millionen Euro in den nächsten fünf Jahren gefördert. Der Materialforscher untersucht eine neue Materialklasse für die Speicherung elektrischer Energie, die sogenannten MXene. Sie können extrem schnell große Mengen an elektrischer Energie speichern und abgeben.

Jerome Deumer wurde der Lise-Meitner-Preis der Humboldt-Universität Berlin verliehen. Er untersuchte in seiner Masterarbeit Materialien für die Energiespeicherung.

Dr. Raphael Jay wurde für seine Dissertation mit dem Carl-Ramsauer-Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft zu Berlin ausgezeichnet. In seiner Doktorarbeit untersuchte er die ultraschnelle Ladungstransferdynamik in Eisenkomplexen.

Dr. Max Grischek erhielt für seine Doktorarbeit im Februar 2020 den mit 2 000 Euro dotierten Erhard-Höpfner Studienpreis.

Dr. Danny Kojda erhielt den Helmholtz-Preis 2020 – Kategorie „Präzisionsmessungen in der angewandten Messtechnik“, Helmholtz-Fonds e. V. c/o Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).

Dr. Martin Bluschke erhielt im Januar 2020 den Springer Thesis Prize für seine Promotion und im Dezember 2020 den Ernst-Eckhard-Koch-Preis, den der Freundeskreis des Helmholtz-Zentrums Berlin beim jährlichen Nutzertreffen vergibt.

Tristan Petit in der Experimentierhalle von BESSY II.

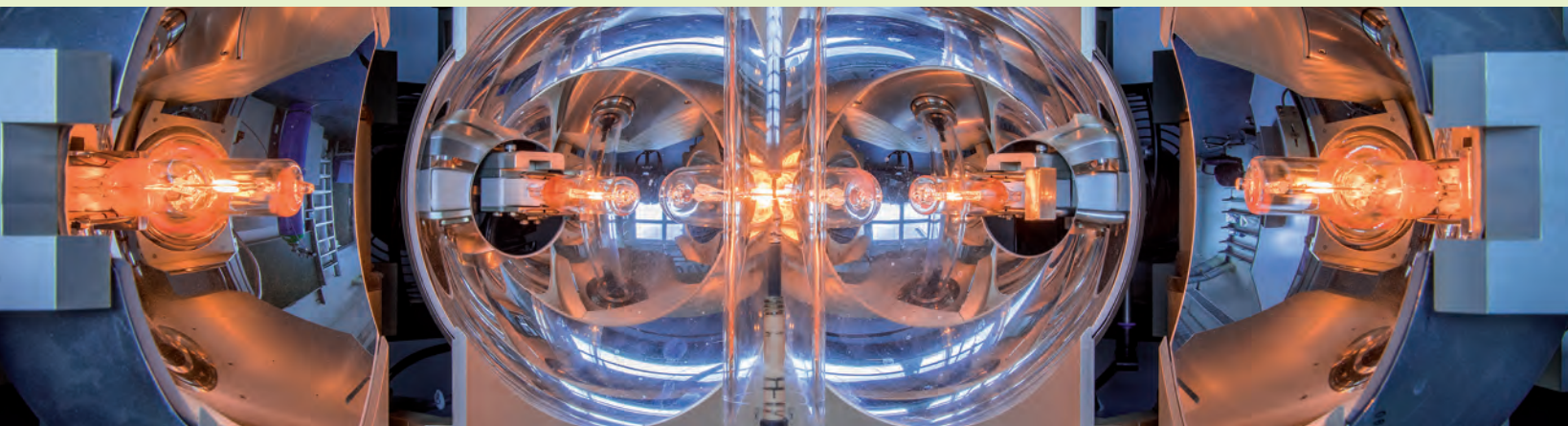
© HZB/S. Steinbach



Steve Albrecht im HySPRINT-Labor. © HZB/M. Setzpfandt



Zonenschmelzofen im Kristallwachstumlabor. © HZB/M. Setzpfandt



POSTER- UND VORTRAGSPREISE GINGEN 2019/2020 AN:



Alexander Arndt, Prince Saurabh Bassi, Jakob Bombsch, Joachim Breternitz, Raul Garcia Diez, Eike Gericke, Manuela Klaus, Maximilian Krause, Silvio Künstner, Frederike Lehmann, Laura Pardo-Perez, Götz Schuck, Andreas Siebert, Johannes Sutter, Peter Tillmann, Javier Villalobos, Zhenyu Wang, Lifei Xi.

ZAHLEN UND FAKTEN AUS DEM HZB

Stichtag: 31.12.2020

1.172 MITARBEITER*INNEN

- **Frauenanteil: 30 %**
- **Wissenschaftler*innen: 532**, davon 117 Frauen (22 %)
- **Wissenschaftunterstützendes Personal des HZB: 238**, davon 62 Frauen (26,1 %)
- **Verwaltungs-, technisches und sonstiges Personal des HZB: 367**, davon 160 Frauen (43,6 %)
- **Auszubildende: 34**, davon 12 Frauen (35,3 %)



6 CORELABS

- Energy Materials in-situ Laboratory Berlin (EMIL)
- X-Ray CoreLab
- CoreLab Correlative Microscopy and Spectroscopy (CCMS)
- Hybrid Silicon Perovskite Research, Integration & Novel Technologies (HySPRINT)
- Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik Berlin (PVcomB)
- CoreLab Quantenmaterialien

NUTZER AUS DEUTSCHLAND, EUROPA, INTERNATIONAL

2019
2 370 externe Besuche // 1 317 User (doppelt Nennungen möglich) aus 30 Nationen

2020
939 externe Besuche // 625 User (doppelt Nennungen möglich) aus 20 Nationen

62

digitale Konferenzen und Workshops hat das HZB 2020 organisiert.

LEHRE

- Über 100 HZB-Wissenschaftler*innen haben **Lehrbefugnis oder Promotionsrecht** an Partneruniversitäten und engagieren sich in der Lehre.
- **W3-Professuren:** insgesamt 11 Personen, davon 3 Frauen (27 %)
- **W2-Professuren:** insgesamt 16, davon 5 Frauen (31 %)

Zum Vergleich: Der bundesweite Frauenanteil bei Professuren in der Fächergruppe Mathematik und Naturwissenschaften liegt bei 19,3 %

WISSENSCHAFTLICHER NACHWUCHS

- **10 Nachwuchsgruppen** am HZB
- **Doktorand*innen:**
2019: 124, abgeschlossene Dissertationen: 39
2020: 143, abgeschlossene Dissertationen: 25

3 GRADUIERTENSCHULEN

MATSEC

Materials for Solar Energy Conversion, Dahlem Research School, 01.01.2018-01.12.2020

HYPERCELLS

Hybrid Perovskites Solar Cells, Universität Potsdam, Technische Universität Berlin, Freie Universität Berlin, Humboldt Universität, 01.01.2019-31.12.2021

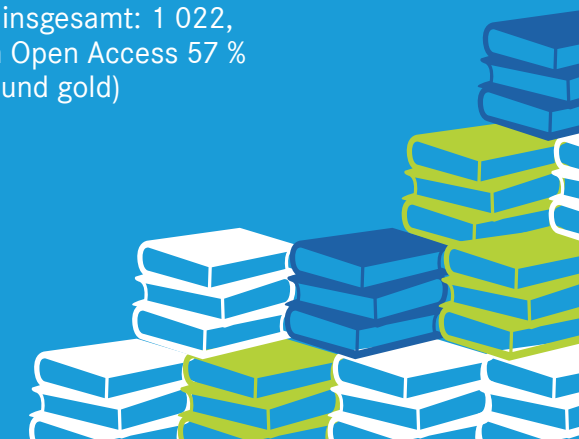
FIT

Future Information Technologies, Dahlem Research School, 23.06.2017-22.06.2024

PUBLIKATIONEN

2020 insgesamt 926, davon Open Access 61 % (grün und gold)

2019 insgesamt: 1 022, davon Open Access 57 % (grün und gold)



DAS HZB WIRD NACHHALTIGER

Das HZB hat sich im Code of Conduct verpflichtet, nicht nur nachhaltig zu forschen, sondern auch zu handeln und unsere natürlichen Ressourcen zu schützen. Im Jahr 2019 hat das HZB die Weichen für mehr Nachhaltigkeit gestellt und ist einen großen Schritt vorangekommen: die wichtigsten Maßnahmen im Überblick.

EINE TREIBENDE KRAFT: DAS UMWELTEAM DES HZB

„Wir #AlleFürsKlima!“ – so hieß das Motto der größten Klimademo, die in zahlreichen Metropolen am 20. September 2019 rund um den Globus stattfand. Auch viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus dem HZB beteiligten sich in ihrer Freizeit an diesen Kundgebungen. Damit wollten sie zeigen, wie wichtig es ihnen ist, gegen die Ursachen des Klimawandels anzukämpfen und zu handeln – und zwar jetzt.

Dieses starke persönliche Engagement bringt viele Mitarbeitende auch dazu, aktiv in ihrem Arbeitsumfeld nach ressourcenschonenden Lösungen zu suchen. Ende 2018 schlossen sich etwa 20 Mitarbeitende zu einem Umweltteam zusammen, das sich seitdem alle drei Monate trifft und mittlerweile auf fast 50 Mitwirkende angewachsen ist. Das Umweltteam diskutiert konkrete Vorschläge, um die Ökobilanz des Forschungszentrums zu verbessern. Themen waren unter anderem die Reduzierung von Heizenergie und Papier, die nachhaltige Campusgestaltung oder die Einführung von Fairtrade-Kaffeeprodukten in der Kantine.

WICHTIGES ZIEL: WENIGER FLIEGEN

2019 erarbeitete das Umweltteam einen Vorschlag, um Dienstreisen mit dem Flugzeug in den nächsten beiden Jahren deutlich zu reduzieren – und zwar innerdeutsche und internationale Flüge gleichermaßen. Die vom Umweltteam initiierten Ziele zur Reduzierung der Flüge wurden im Frühjahr 2020 von der Geschäftsführung des HZB bestätigt. Der Rückenwind dafür dürfte groß sein: So unterzeichneten fast 150 Mitarbeitende aus dem HZB 2019 eine Selbstverpflichtung, freiwillig auf dienstliche Kurzstreckenflüge unter 1 000 Kilometer zu verzichten (bei der Aktion der Scientists4Future: „Unter 1.000 mach' ich's nicht“). Darüber hinaus wurde ein Arbeitskreis „Umwelt“ gegründet. Er beschäftigt sich mit den Vorschlägen aus dem Umweltteam

und trägt sie an die Geschäftsführung heran. Zudem berät er, wie die Maßnahmen im Zentrum umgesetzt werden können. Auch das zeigt die Ernsthaftigkeit, mit der das HZB in Sachen Klimaschutz und Ökologie vorgeht.

100 PROZENT ÖKOSTROM FÜR DIE FORSCHUNG



17 400 Tonnen CO₂ lassen sich durch die Umstellung auf Ökostrom reduzieren.

Das HZB hat durch den Betrieb von großtechnischen Anlagen und Laboren einen hohen Stromverbrauch. In der Neuausschreibung des Stromanbieters hat das HZB entschieden, ab Anfang 2020 ausschließlich Strom aus regenerativen Quellen zu beziehen. Durch die Umstellung auf Ökostrom lassen sich 17 400 Tonnen CO₂ reduzieren. Unabhängig davon lotet das HZB aus, wie sich der Energiebedarf senken lässt. Dies ist auch ein prioritäres Thema bei der Entwicklung eines Konzepts für die Nachfolgequelle BESSY III.

MEHR BIODIVERSITÄT AUF DEM CAMPUS

„Schafe beweiden den Lise-Meitner-Campus in Wannsee“, verkündete das HZB stolz im Mai 2019 auf seiner Webseite. Dies ist nicht nur insekten- und bienenfreundlich, sondern erhöht auch die Biodiversität der Wiesen – damit es zukünftig blüht und brummt!

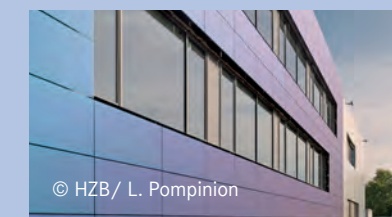


Zirka 15 Ziegen und Schafe sorgen dafür, dass auf einigen naturnahen Flächen der Rasenmäher nicht mehr zum Einsatz kommen muss.
© HZB

Auf den anderen Wiesen wird seit 2019 deutlich seltener gemäht. Auch Laubsauger sind verboten und Laubbläser nur in Ausnahmefällen (auf Beton) zugelassen. Für den Campus Adlershof hat das HZB eine Studie in Auftrag gegeben, um den Standort naturnah umzugestalten. Erste Maßnahmen wurden 2020 umgesetzt. „Damit wollen wir dem Insektensterben durch eine naturbelassene, ökologische Gestaltung der Grünflächen entgegenwirken und einen positiven Beitrag leisten“, sagt Karin Haas, die Nachhaltigkeitsbeauftragte des HZB. Im Jahr 2019 wurden am HZB wichtige Weichen für den Umwelt- und Klimaschutz gestellt. Doch viel Zeit zum Ausruhen bleibt nicht. Das HZB wird diese Anstrengungen in den nächsten Jahren intensivieren müssen, um die CO₂-Emissionen noch deutlicher zu senken. Denn nur so lässt sich der Klimawandel begrenzen.

FASSADE MIT SOLAR-MODULEN AM HZB ALS REAL-LABOR

Mit der Beratungsstelle für Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BAIP) bietet das HZB Fortbildungen zu innovativen Fassadenlösungen für Fachleute aus Architektur, Planung und Bauen an. Nun ist erstmals auch ein HZB-Neubau mit Solarmodulen ausgestattet worden. Es handelt sich um den Erweiterungsbau der sogenannten Testinghalle bei BESSY II in Adlershof, in der Komponenten für die Beschleunigerphysik entwickelt und getestet werden sollen. An der Fassade schimmern nun Solarmodule in einem kräftigen, matten Blauton. Es sind spezielle CIGS-Dünnschichtmodule, in Deutschland produziert und speziell für die Integration in die Gebäudehülle entwickelt. Die Solarfassade deckt nicht nur einen Teil des Strombedarfs, sondern ist gleichzeitig auch selbst ein Real-Labor: Ein HZB-Team überwacht das Verhalten der Module im Langzeitverlauf und bei unterschiedlichen Außenbedingungen und wertet die Daten aus.



© HZB/ L. Pompinion

An West-, Süd- und sogar an der Nordseite der Außenhülle sind insgesamt 360 Module montiert worden. „Es handelt sich um eine Vorhangfassade“, erklärt Samira Aden, Architektin am BAIP, HZB, die das Projekt begleitet. Über ein Schienensystem werden die Module vor die Fassade gehängt, sodass zwischen Modul und Wärmedämmung ein kleiner Luftraum entsteht. „Mit der zusätzlich eingebauten Sensortechnik wollen wir in den nächsten Jahren erheben, wie sich die realen Wetterbedingungen, Feinstaub, Regen, Verschmutzungen auf die Leistung auswirken“, erklärt sie.

„Dieses Photovoltaik-Projekt ist etwas Besonderes“, betont Björn Rau, der die BAIP-Beratungsstelle leitet. Erstmals wird ein komplettes Bauwerk mit einer fassadenintegrierten Photovoltaikanlage als Real-Labor betrieben. „Ganz bewusst haben wir bei diesem Projekt auch Wert auf die gestalterische Integration der Module in die Gebäudehülle gelegt und mit der CIGS-Technologie das Materialsystem ausgewählt, zu dem am HZB eine sehr große Expertise existiert“, fügt Rau hinzu. Anfragen nach Daten und Erfahrungen, auch aus dem Ausland, kommen bereits jetzt in großer Anzahl.

NEUTRONENFORSCHUNG: DIE INSTRUMENTE AUS DEM BER II BLEIBEN DER FORSCHUNG ERHALTEN

Seit dem 12. Dezember 2019 fliegt kein Neutron mehr durch die Instrumente am BER II. Als der HZB-Aufsichtsrat im Sommer 2013 die endgültige Abschaltung des BER II beschlossen hatte, waren sich die Geschäftsführung des HZB, der Aufsichtsrat und die Forschenden einig, dass diese hochspezialisierten Neutroneninstrumente an anderen Forschungseinrichtungen weiterbetrieben werden sollen. Denn in ihnen steckt viel Know-how. „Der BER II war über Jahrzehnte in der Fachwelt dafür bekannt, dass hier einzigartige Instrumente mit hochspezialisierten Probenumgebungen entwickelt werden“, sagt Roland Steitz, der den Transfer der Neutroneninstrumente koordiniert.



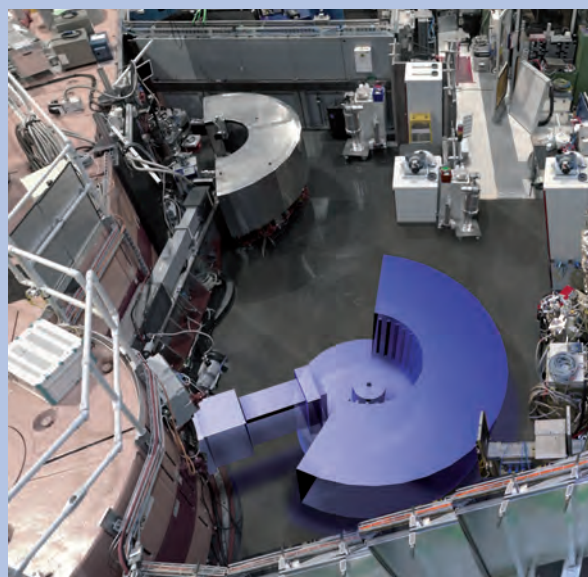
Neutronenleiterhalle am BER II. © HZB/K. Fuchs

Doch wie findet man die jeweils passende Neutronenquelle? Bereits 2015 hat das HZB Kontakt zu nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen aufgenommen, die gerade eine Neutronenquelle aufbauen oder eine Erweiterung planen. 30 Interessenten trafen sich im Herbst 2015 zu einem Workshop in Berlin. „Dort haben wir die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit der Instrumente vorgeführt, aber auch über die technischen Voraussetzungen und die notwendigen Vorplanungen gesprochen, die für den Aufbau und den Betrieb bestimmter Instrumente nötig sind“, erinnert sich **Roland Steitz**.

„Für mich ist es auch eine Herzensangelegenheit, dass die Neutroneninstrumente an anderen Einrichtungen weiterbetrieben werden können.“

Einige Monate nach dem Workshop trafen die ersten Absichtserklärungen – die sogenannten Letter of Intents – zur Übernahme von Neutroneninstrumenten beim HZB ein. „Die schriftlichen Interessensbekundungen haben wir so priorisiert, dass die Neutroneninstrumente möglichst an Einrichtungen in Deutschland und Europa abgegeben werden, denn die Geräte wurden mit deutschen Fördermitteln gebaut. Deshalb hat der Aufsichtsrat jedem Transfer zugestimmt“, so Steitz. So übernimmt das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) in München das Dreiachsenspektrometer FLEXX, das zukünftig LaDiff heißen und Larmordiffraktion anbieten wird.

Außerdem wird auch das Diffraktometer FIREPOD künftig am MLZ seine Heimat finden. Beide ziehen innerhalb der nächsten vier Jahren nach Garching um.



Zwei Pulverdiffraktometer nebeneinander: Das hochauflösende Strukturpulverdiffraktometer SPODI (oben) in der MLZ-Experimentierhalle wird künftig FIREPOD als Nachbarinstrument erhalten.

© W. Schürmann / TUM, Illustration: R. Müller / FRM II, TUM



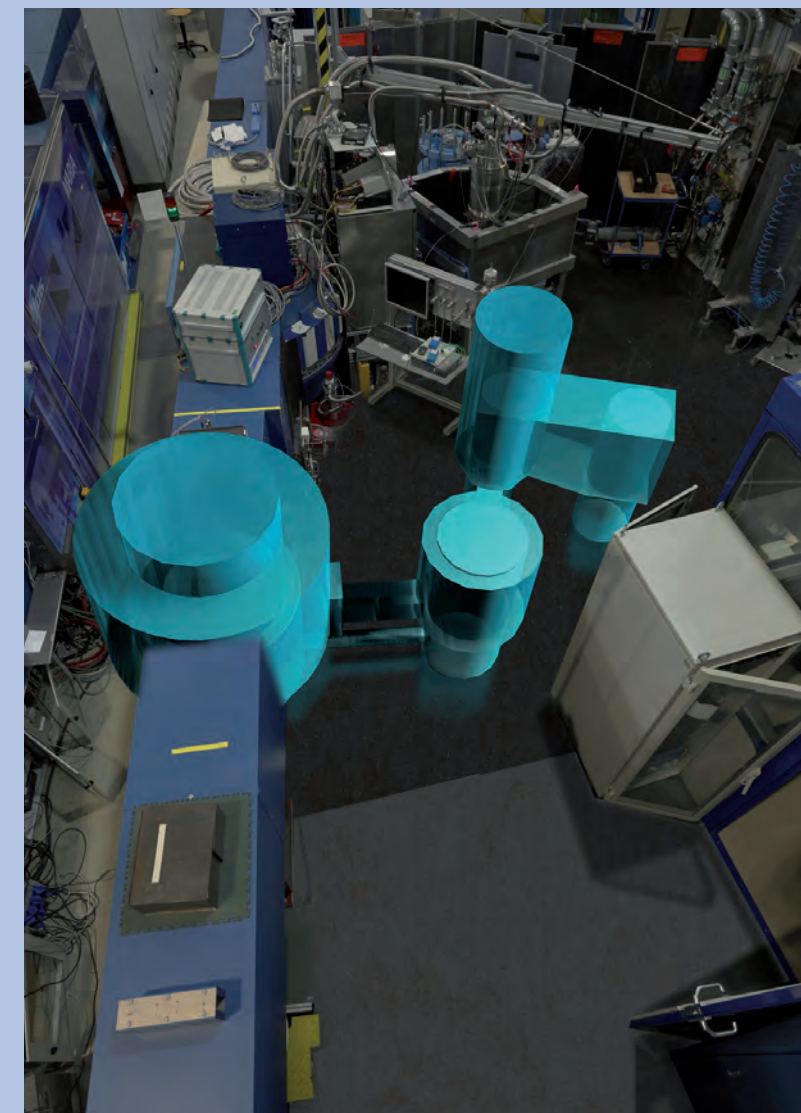
Experimentierhalle. © HZB / B. Ludewig

„Beide Instrumente waren stark nachgefragt, unsere internationalen Messgäste und unsere eigenen Teams haben hier tiefe Einblicke in komplexe Materialsysteme gewonnen und ihre Ergebnisse in den besten Fachjournals veröffentlicht“,

sagt **Jan Lünig**, wissenschaftlicher Geschäftsführer des HZB. „Wir freuen uns daher sehr, dass diese Instrumente am MLZ nun weiterhin für die weltweite Neutronen-Nutzerschaft zur Verfügung stehen werden.“

Fand sich kein Interessent aus diesem Kreis, hat das HZB auch Übernahmen mit Neutronenquellen aus anderen Teilen der Welt vereinbart, wie zum Beispiel für das Neutroneninstrument BioRef. Es ist bereits am australischen Forschungsreaktor OPAL des Australian Centre for Neutron Scattering südwestlich von Sydney in Betrieb. Inzwischen gibt es für alle hochspezialisierten Instrumente, die am BER II eingesetzt wurden, entweder schon eine neue Heimat oder eine konkrete Perspektive für die weitere Nutzung. Einige Instrumente sind so groß und sperrig, dass diese Arbeit mehrere Monate dauern wird. Doch für den Rückbau des BER II ist es wichtig, dass die Experimentierhallen leer sind. Bis Ende 2023 sollen deshalb die letzten Neutroneninstrumente überführt worden sein – zu neuen Bestimmungsorten, an denen sie weiterhin der wissenschaftlichen Erkenntnisfindung dienen können.

Silvia Zerbe/red

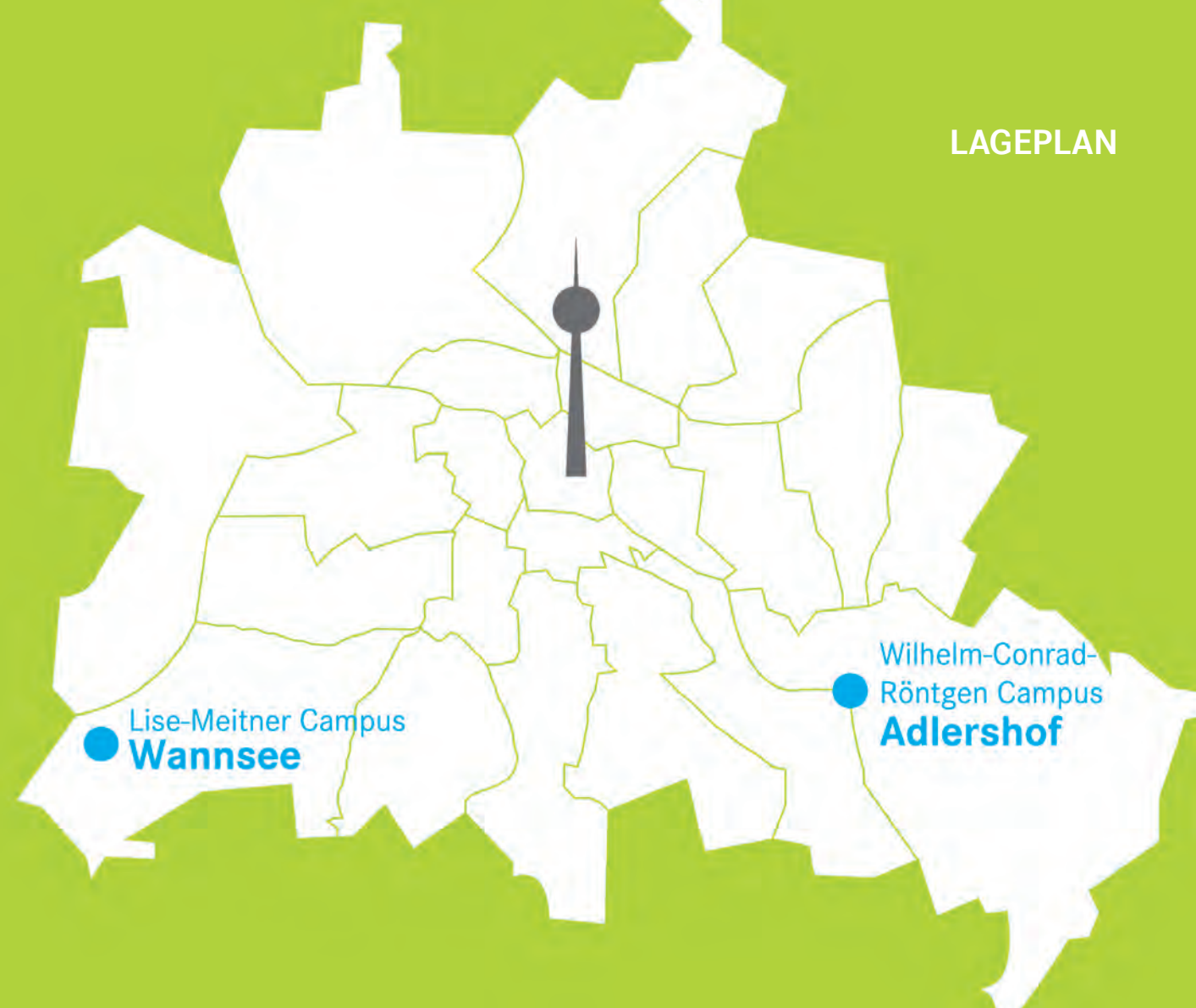


Das Dreiachsenspektrometer LaDiff, das in Berlin noch FLEXX genannt wurde, wird in der Neutronenleiterhalle West des FRM II in München neben dem Instrument MIRA stehen.

© Photo: W. Schürmann / TUM, Illustration: R. Müller / FRM II, TUM



LAGEPLAN



Lise-Meitner Campus
Wannsee

Wilhelm-Conrad-
Röntgen Campus
Adlershof

IMPRESSUM

HZB-Highlight-Bericht 2019/2020 des Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH. Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers. Redaktionsschluss: Dezember 2020

Herausgeber:
Helmholtz-Zentrum Berlin, Hahn-Meitner-Platz 1,
14109 Berlin, Telefon: (030) 8062-42034

Redaktion:
Dr. Ina Helms (ih, V.i.S.d.P.),
Antonia Rötger (arö, Gesamtkoordination), Silvia Zerbe (sz),
E-Mail: ina.helms@helmholtz-berlin.de,
Anschrift wie Herausgeber

Gestaltung und Layout: Heike Cords

Bildredaktion: Antonia Rötger, Heike Cords, Stefanie Kodalle

Druck:
Elbe Druckerei Wittenberg GmbH, Breitscheidstraße 17a, 06886
Lutherstadt Wittenberg
Telefon: 03491410242, Telefax: 03491410240
E-Mail: info@elbedruckerei.de, www.elbedruckerei.de



HIGHLIGHTS AUS DER FORSCHUNG
www.helmholtz-berlin.de/news



HZB NEWSLETTER ABONNIEREN
www.helmholtz-berlin.de/newsletter

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
SE-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