

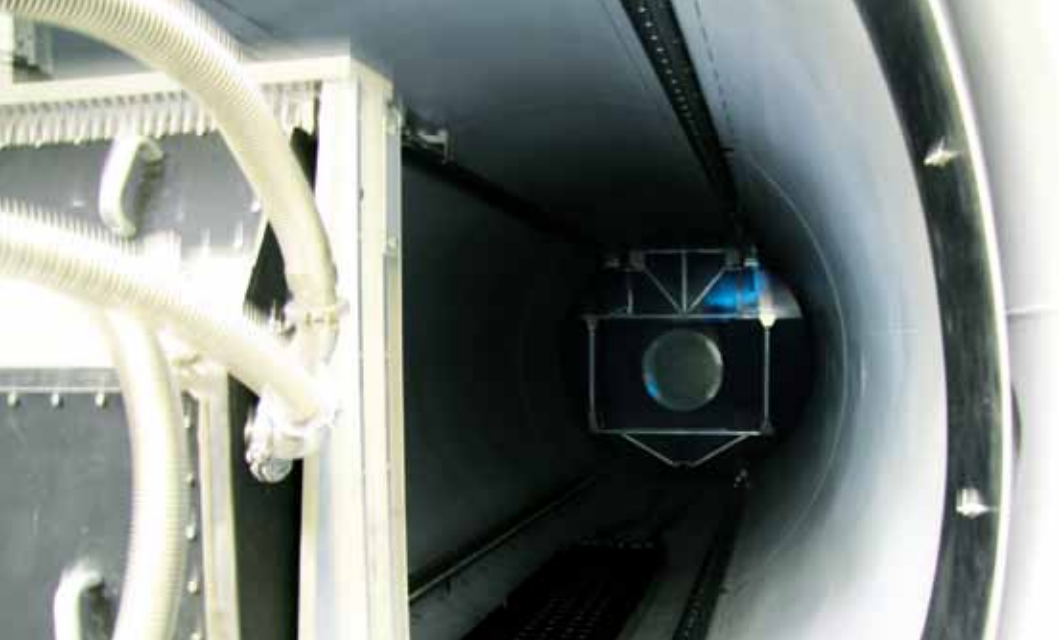
ENERGIEN BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN



## ZWEI METHODEN – EIN ZIEL: MEHR ENTDECKEN

Mit Photonen und Neutronen die Geheimnisse  
der Natur durchdringen





Blick ins Innere eines Neutronenleiters.

## IN KÜRZE

Das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) wurde aus den traditionsreichen Forschungszentren Hahn-Meitner-Institut (HMI) und Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY) gegründet, um die **Kompetenzen zu bündeln**, die sich aus dem komplementären Gebrauch von Neutronen und Photonen (den Teilchen des Lichts) bei der Erforschung der Struktur und Funktion der Materie ergeben. Mit seiner einzigartigen Forschungsinfrastruktur lockt das HZB jährlich rund 2 500 der exzellentesten Köpfe aus Wissenschaft und Technik nach Berlin. Sie kommen

**Das Kombinieren von Photonen- und Neutronen-Experimenten ermöglicht den Wissenschaftlern eine umfassende Sicht auf Naturvorgänge, die mit nur einem Ansatz allein nicht möglich wäre.**

von Universitäten oder Fachhochschulen, aus Forschungseinrichtungen wie der Max-Planck-Gesellschaft oder der Bundesanstalt für Materialforschung. Sie sind Naturwissenschaftler, Mediziner, Archäologen oder gar Kunsthistoriker.

Das HZB bietet ihnen einzigartige Messeinrichtungen für komplexe Experimente, wobei die Proben extremen Bedingungen wie tiefen Temperaturen, hohen Drücken und hohen Magnetfeldern ausgesetzt werden können. Die Broschüre zeigt exemplarisch wichtige Forschungsfragen, die hier im Zusammenspiel mit Neutronen und Photonen bearbeitet werden.

### **HZB: Zahlen und Fakten**

Das HZB ist eines von 17 Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft. Die Einrichtung beschäftigt rund 1 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und verfügt über einen Gesamthaushalt von 110 Millionen Euro. Im Schnitt qualifizieren sich rund 100 Doktoranden pro Jahr am HZB. Ferner machen am Institut jährlich etwa 50 junge Menschen in zwölf Berufen ihre Ausbildung. Über die Region Berlin-Brandenburg hinaus kooperiert das HZB mit rund 400 Partnern aus deutschen oder internationalen Hochschulen, Forschungseinrichtungen oder Unternehmen.

# GEMEINSAM MEHR ERKENNEN



## DER FORSCHUNGSREAKTOR BER II

BER II in Berlin-Wannsee ist eine international anerkannte **Neutronenquelle**. An den 24 Messplätzen stehen den Experimentatoren fast alle Techniken der Neutronenstreuung oder -radiographie zur Verfügung. Die Neutronen als elektrisch neutrale Teilchen dringen tief ins Innere der zu untersuchenden Materie ein und werden dort auf charakteristische Weise abgelenkt. Ein Detektor zeichnet die Wechselwirkung zwischen den Neutronen und den atomaren Bestandteilen des Probenmaterials auf, was den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern umfassende Einblicke in den **Aufbau und die Dynamik der Materie** gewährt.

Alle Instrumente erlauben Untersuchungen auf höchstem wissenschaftlichen Niveau. Die 2011 erneuerten Neutronenleiter, verbunden mit dem Umbau und der Modernisierung wichtiger Bauteile, gestatten den etwa 500 Nutzern pro Jahr zum Teil international konkurrenzlose Messbedingungen.

### **Weltweit einzigartig ist die verfügbare Probenumgebung:**

extrem starke Magnetfelder bis zu 17,5 Tesla, ab 2012 sogar 25 Tesla, sowie tiefste Temperaturen bis nahe dem absoluten Nullpunkt und hohe Drücke stehen den Experimentatoren zur Verfügung.



### **BER II auf einen Blick**

- Leichtwassermoderierter, offener „Schwimmbadreaktor“
- Beckenmaße: 200 m<sup>3</sup> Wasser verteilt auf zwei mit einem Kanal verbunden Becken mit je 3,5 Metern Durchmesser und 11 Metern Tiefe
- Wärmeleistung: 10 Megawatt (rund vierhundertmal geringer als übliche Kernkraftwerke)
- 24 Brennelemente mit je 322 Gramm Uran-235
- 6 Brennelemente zur Aufnahme von Steuerstäben (Neutronen-Absorber) mit je 238 Gramm Uran-235 (Kontrollstäbe)
- Neutronenfluss:  $1,2 \cdot 10^{14}$  Neutronen je Quadratzentimeter und Sekunde
- 9 Strahlrohre für thermische Neutronen
- Kalte Quelle mit 9 Neutronenleitern

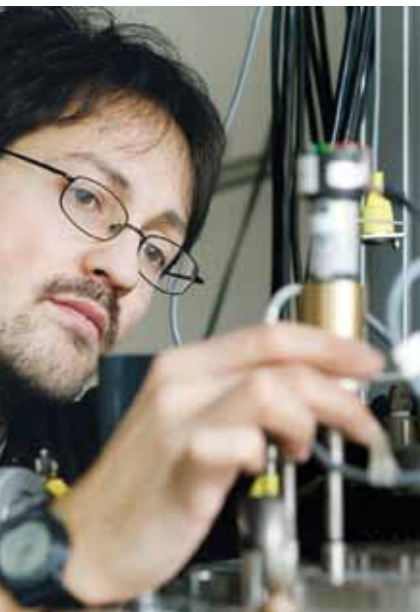


Blick auf die Außenfassade des Synchrotrons BESSY II in Berlin-Adlershof.

## MIKROSKOP FÜR RAUM UND ZEIT

BESSY II in Berlin-Adlershof ist eine brillante Quelle für sogenanntes Synchrotronlicht. Es entsteht, wenn Elektronen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und im Kreis geführt werden. Die emittierten elektromagnetischen Wellen umfassen das Spektrum vom Terahertz-Bereich über sichtbares Licht bis zur harten Röntgenstrahlung. Das Licht ist zum Teil millionenmal heller als die Sonne. Mithilfe **spezieller Magnetstrukturen** können die Beschleunigerexperten von BESSY II die Intensität sogar noch extrem verstärken. An über 50 sogenannten **Beamlines** können sich die Experimentatoren die von ihnen gewünschte Wellenlänge, die Schwingungsrichtung des Synchrotronlichts sowie die Energie der Lichtteilchen (Photonen) einstellen. Die ultraschnellen Photonen-Blitze lassen sich auf kleinste Proben lenken. Dies erlaubt Messgenauigkeiten von zehn Millionstel Millimeter (Nanometer) sowie Zeitauflösungen von einer Billiardstel Sekunde (Femtosekunde). Jedes Jahr nutzen mehr als 2 000 Forscherinnen und Forscher von Universitäten, Forschungsinstituten oder Industrie aus aller Welt diese Möglichkeit.

Das Synchrotron wird zudem von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt **PTB** als europäisches Normal zum Kalibrieren von Lichtquellen und Nachweisgeräten genutzt.



### BESSY II auf einen Blick

- Umfang: 240 Meter
- Umlenkmagnete: 32
- Anzahl an parallel zu betreibenden Experimentierplätzen (Beamlines): 50
- Anzahl der umkreisenden Elektronen: 1 bis ca. 1 000 Milliarden (in bis zu 400 Bündeln)
- Energie eines Elektrons: 1,72 Milliarden Elektronenvolt (GeV)
- Kürzester Lichtblitz: ca. 2 Billionstel Sekunden (Picosekunden)

Vorbereitung eines Experiments am BER II, bei dem Proben extrem starken Magnetfeldern und sehr niedrigen Temperaturen ausgesetzt werden.

# MATERIALIEN FÜR MORGEN

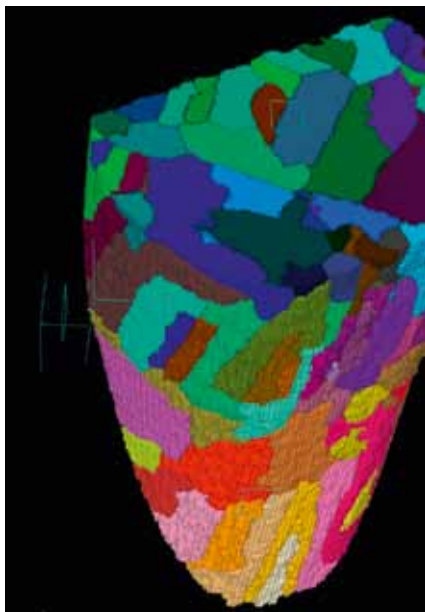
Die Eigenschaften makroskopischer Stoffe lassen sich oft auf die Besonderheiten ihrer atomaren Bestandteile zurückführen. Erst wenn Forscher diese Zusammenhänge kennen, können sie Werkstoffe oder Bauteile mit gewünschten Eigenschaften entwickeln, die kompakter, flexibler, robuster, leichter oder effizienter sind als heutige.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler be- und durchleuchten daher systematisch Materialien mit Neutronen sowie mit Synchrotronlicht. Während Neutronen tief in die Stoffe eindringen und die Atomkerne spüren, treten die Photonen hauptsächlich mit den Elektronen der Festkörper nahe der Oberfläche in Wechselwirkung. Mit Photonen und Neutronen lassen sich daher sowohl oberflächennahe Schichten als auch die Volumeneigenschaften der Materialien analysieren. Beides jeweils absolut zerstörungsfrei. Die Methoden ergänzen sich hervorragend.

## Computer von morgen: Immer schneller, immer leistungsfähiger

Arbeitsspeicher für Computer mit immer höherer Leistungsdichte herzustellen, die gleichzeitig weniger Strom benötigen: dies gelingt nur, wenn genau bekannt ist, was auf einer Festplatte beim Schreiben oder Lesen von Daten passiert. Mit Neutronen gelang es einem Forscherteam am HZB zusammen mit Partnern aus der Schweiz erstmals, die Domänen magnetischer Stoffe in 3D sichtbar zu machen. Die Methode der Wahl ist die **Neutronentomografie**, durchgeführt am Forschungsreaktor BER II. Besonders kompakte und energiesparende Datenspeicher und Computerelektroniken ließen sich konstruieren, wenn eine weitere Eigenschaft der Elektronen zum Schreiben und Speichern der Daten genutzt würde: ihr Eigendrehimpuls, genannt Spin.

Magnetische Domänen erstmals in 3D sichtbar.





Magnetismus im Mikro- und Nanokosmos verstehen, um zum Beispiel immer leistungsstärkere Festplatten für Computer herstellen zu können.

Die **Spintronik** ist daher die Elektronik der Zukunft. Um die Grundlagen dieser Technik auszuloten, beschließen Arbeitsgruppen am Synchrotronring BESSY II dünne magnetisierte Metallfolien rasch hintereinander mit ultrakurzen Laser- sowie Röntgenpulsen. Diese entstehen beim sogenannten Femtoslicing. Das besondere am Femtoslicing bei BESSY II: Nur hier steht den Nutzern sogenanntes zirkular polarisiertes **Röntgenlicht** zur Verfügung. Es erlaubt den Forscherinnen und Forschern Experimente, die zusammen mit Neutronen-Messungen zu einem umfassenden Gesamtbild dieser Phänomene führen.

## Ströme fließen verlustfrei

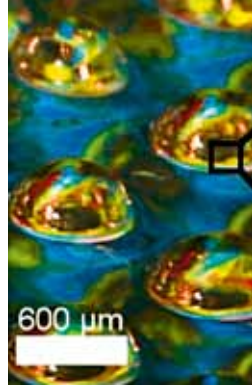
Der Eigendrehimpuls der Elektronen spielt ebenso bei der **Supraleitung** die entscheidende Rolle. Dank Supraleitung kann man Strom nahezu verlustfrei transportieren, doch verlieren die heute bekannten Stoffe erst bei extrem niedrigen Temperaturen ihren elektrischen Widerstand. Forscherteams in aller Welt suchen nach Erklärungen, warum das so ist und wie man das Phänomen nutzbar machen kann. Sie wollen gezielt Materialien entwickeln, die im günstigsten Fall bereits bei Zimmertemperatur elektrische Ladungen verlustfrei transportieren. Das würde Milliarden Euro an Stromkosten sparen und gleichzeitig helfen die Umwelt zu entlasten.



## Zwei Beispiele für erfolgreiche Experimente zur Hochtemperatursupraleitung mit Neutronen:

- Forscherinnen und Forscher am HZB haben in Kooperation mit einer internationalen Wissenschaftlergruppe bei allen Eisenbasierten Supraleitern eine universelle magnetische Signatur entdeckt, selbst wenn die jeweiligen Materialien ansonsten unterschiedliche chemische Eigenschaften haben.
- In Lanthan-Strontium-Manganat, einem elektrisch leitenden Stoff, der ebenso wie Hochtemperatursupraleiter durch Dotieren von Isolatormaterialien hergestellt wird, verhalten sich freie Elektronen für kurze Zeit wie ein Gas. Sie werden jedoch rasch wieder fest im Kristallgitter gebunden. Das Experiment beweist: Supraleitung existiert auf Dauer nicht in diesem Grundstoff.

Linsen für Handykameras, hergestellt mit einem sogenannten Soft Lithographie-Verfahren: Die Nanostrukturen auf dem Linsenarray – Mottenaugenstruktur – sorgen für einen Antireflexionseffekt. Die optischen Eigenschaften der Linsen werden so verbessert.



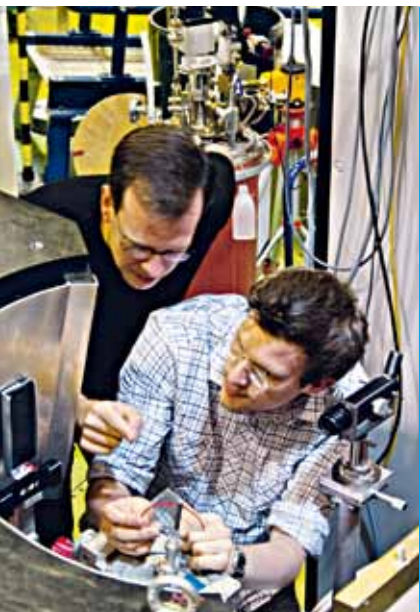
## QUANTENPHYSIK IN FESTKÖRPERN AUF DIE SPUR KOMMEN

Mit Neutronen gelang es einem Forscherteam erstmals, magnetische Monopole in fester Materie nachzuweisen. Das sind von Physikern vorhergesagte exotische Teilchen, die entweder nur einen Nord- oder einen Südpol besitzen. Die am HZB nachgewiesenen Quasiteilchen ähneln Schläuchen, die das magnetische Feld in sich tragen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler konnten zeigen, dass die magnetischen Momente im Inneren des Materials wie „Spaghetti“ angeordnet sind, deren Dichte und Anzahl sich verringern ließ und an deren Enden bei sehr tiefen Temperaturen die magnetischen Monopole sitzen.

Ein anderes Team entdeckte mithilfe von Neutronen verborgene Symmetrien in fester Materie. Sie erklären sich aus den quantenphysikalischen Eigenschaften der in speziellen Festkörpern vorhandenen Elektronen. Deren Spins ordnen sich zu Ketten an, die jeweils nur eine Atomlage dick sind. Die Arbeitsgruppe konnte die Ketten wie Gitarrensaiten zu Resonanzen anregen, wobei benachbarte Saiten im Verhältnis zueinander schwingen, die exakt dem aus der Kunst oder Architektur bekannten Goldenen Schnitt entsprechen.

Die mathematische Symmetrieeigenschaft, die eher aus der Teilchenphysik bekannt ist, konnte am HZB zum ersten Mal in einem festen Material beobachtet werden. Solche Erkenntnisse beweisen, dass in Festkörpern ebenfalls Strukturen existieren, die ihren Ursprung in der Quantenwelt haben.

Forscher weisen magnetische Monopole in Festkörpern nach.





Mit dem sogenannten Femtoslicing machen Forscher am HZB ultraschnelle Vorgänge sichtbar.

## WERKSTOFFE PRÜFEN

Mit Neutronen und Synchrotronlicht lassen sich makroskopische Bauteile auf Brüche, Risse oder mechanische Spannungen untersuchen. Alles, was starken Belastungen ausgesetzt ist, kann am HZB geprüft werden: Kurbelwellen, Bohrköpfe, Schweißnähte, sogar Brennkammern von Raketen. Analysen mit Neutronen und Photonen können frühzeitig Schwachstellen aufdecken, die sonst zu Schäden oder Unglücken führen könnten.

### Mikro- und Nanostrukturen revolutionieren die Welt

Aufgrund der sehr kurzen Wellenlängen und der außerordentlich hohen Intensität eignet sich Synchrotronlicht darüber hinaus ideal zur Herstellung von Mikro- und Nanostrukturen mittels Röntgenlithographie. Die Gebilde lassen sich anschließend mit Neutronen vorzüglich analysieren. Magnetische Nanostrukturen eignen sich beispielsweise als Datenspeicher, während Kohlenstoff-Nanoröhren außerordentlich hohe Ströme tragen können. Besondere Erfahrungen existieren am HZB

- beim Herstellen von Teilen für Mikrogetriebe sowie von Mikroformwerkzeugen für das Heißprägen und Mikrospritzgießen,
- in der Röntgenlithographie und Maskentechnologie für Halbleiterbauelemente
- sowie bei der Entwicklung und Optimierung von Photolacken.

### Weiche Materie und funktionale Materialien

Auch neue Forschungsfelder bedienen sich der Neutronen und Photonen. Zum Beispiel die Mikro- und Nanooptik, wo sogenannte photonische Kristalle untersucht werden oder die Mikro- und Nanofluidik. Hier werden hochgradig wasserabweisende Oberflächen analysiert und neuartige Syntheseverfahren entwickelt, um solche Oberflächen herzustellen. Die Forscherinnen und Forscher am HZB treiben diese jungen aufstrebenden Gebiete in Experiment und Theorie voran.

### „Spin-Spaghetti“ aus Dirac-Strings

Experimente am Forschungsreaktor BER II zeigen, dass sich bei einer Temperatur von wenigen Grad über dem absoluten Nullpunkt die magnetischen Momente im Inneren eines Kristalls aus Dysprosium-Titanat zu einem Netzwerk aus gewundenen Röhren (Dirac-Strings) zusammenfinden, an deren Enden sich magnetische Monopole ausbilden. Mit Magnetfeldern können die Forscher die Symmetrie und Orientierung dieser „Spin-Spaghetti“ variieren.

# NATUR UND UMWELT

Die Grundbausteine der Natur – die Atome – bilden ein überschaubares Ensemble. Vielfalt kommt erst durch ihre Verbindungen in die Welt. Dieses Wechselspiel der Natur zu ergründen und zum Wohl von Mensch und Umwelt zu nutzen, ist Anliegen vieler Forschergruppen. Am HZB, mit seinen Großgeräten, finden sie die perfekten Experimentiermöglichkeiten dafür.

Wichtige Untersuchungsgegenstände sind **Katalysatoren**. Ohne diese Reaktionsbeschleuniger fänden viele chemische Prozesse nicht oder nur sehr langsam statt. Welche Vorgänge sich dabei auf atomarer Ebene abspielen, ist aber selten genau verstanden. Diese Kenntnisse braucht man jedoch, um neue Katalysatoren entwickeln zu können. Sie machen chemische Verfahren noch effizienter und führen zu einem geringeren Energie- und Materialverbrauch. Mit Neutronen sowie mit Synchrotronlicht lassen sich die Abläufe einer Katalyse im Detail beleuchten. Mit Neutronen kann man dabei sogar durch dicke Wände „hindurchsehen“.

## Brennstoffe der Zukunft

Beispielsweise sind Reaktionsbeschleuniger unersetzlich für die großtechnische Synthese von **Methanol**, einem überaus wichtigen Ausgangsmaterial in der chemischen Industrie und ein vielfach genutzter Energielieferant. Dafür werden aktuell Katalysatoren aus Metalloxiden entwickelt. Die gleiche Art von Reaktions-

beschleuniger spielen eine wichtige Rolle, wenn das Treibhausgas Kohlendioxid aus der Luft chemisch gebunden werden soll oder man Wasserstoff für Brennstoffzellen herstellen oder speichern möchte. Forscherinnen und Forscher am HZB können diesen komplexen Reaktionsmechanismus mit Hilfe von Neutronen und Photonen genauestens aufklären.

## Umweltgerechte Mobilität

Katalysatoren spielen ebenso in der **Automobilindustrie** eine wichtige Rolle. In kombinierten Versuchen mit Synchrotronlicht sowie mit Neutronen untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am HZB zusammen mit



Gel-chromatografische Trennung von Enzymen.



Blick auf ein Messinstrument am BER II, das auf die Untersuchung dünner Schichten von biologischen Proben und weicher Materie spezialisiert ist.

großen Autoherstellern Alternativen zum teuren Platin in den Katalysatoren: hochporöse Kohlenstoffe, in die Nanoteilchen aus Selen und Ruthenium eingelagert sind.

Ein weiteres wichtiges Arbeitsfeld sind Treibstoffe, insbesondere die Wirkung der darin enthaltenen Zusatzstoffe. Sie sorgen beispielsweise dafür, dass Diesel im Winter die Filter nicht verstopft. Die Aufklärung dieses Wirkmechanismus wurde ganz wesentlich durch Neutronenstreuexperimente vorangetrieben. In wenigen Jahren entsprang so aus der Grundlagenforschung ein markt-reifes Produkt, das sich als Additiv heute in vielen gängigen Treibstoffen befindet. Ferner untersuchten Experimentatoren am HZB wie sich Klebstoff verteilt, wenn Bleche im Automobilbau verklebt werden, oder wie sich Ruß in Motoren oder in Triebwerken von Flugzeugen ablagert.

## Funktionale Biologie und neue Materialien

Fremdkörper, die aus medizinischen Gründen in den menschlichen Körper eingebracht werden, stößt der Organismus oftmals ab. Am HZB arbeiten Forschergruppen daran, solche Abstoßungsprozesse zu verstehen und zu minimieren. Festkörperimplantate können zum Beispiel verträglicher werden, wenn sie mit einer Schicht körpereigener Moleküle, sogenannter **Lipide**, überzogen werden. Wie es gelingen kann, dass diese Moleküle auf Implantaten haften und wie sie sich unter körperspezifischen Bedingungen auf den Oberflächen verhalten, das können die Forscher mithilfe der Neutronenstreuung an biologischen Modellsystemen herausfinden. Am HZB stehen ihnen dafür spezielle Apparaturen zur Verfügung.

Neue funktionale Materialien werden am HZB auch für die **Katalyse** entwickelt. Zusammen mit der Industrie arbeiten Forscher am Design und der Fabrikation sogenannter **Nanokomposite**, die auf kolloidale Trägerpartikel aufgebracht werden. Diejenigen Moleküleinheiten, die diesen neu entwickelten Werkstoffen ihre Funktion geben, umfassen nur hundert bis einige tausend Atome. Ihre Eigenschaften weichen deutlich von den Eigenschaften der entsprechenden makroskopischen Festkörper ab, die aus vielen Billionen Atomen bestehen. Die am HZB entwickelten Werkstoffe sind sehr begehrt als Materialien für die Solarenergieforschung und Photonik. Aufgrund ihrer elektronischen und optischen Eigenschaften sind sie geeignet für die Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Informationen durch Lichtteilchen (Photonen).

# KRANKHEITEN ZU LEIBE RÜCKEN

Für biologische Untersuchungen nutzen Forscherinnen und Forscher besonders häufig die Röntgenkristallografie sowie Fluoreszenz- und Spektroskopiemethoden. In vielen Fällen eignen sich aber auch Neutronen. Während beim Röntgen feste Strukturen – Kristallgitter beispielsweise – ähnlich wie Knochen stärker Schatten werfen als weiches Gewebe, eignen sich Neutronen vor allem für Gefüge, die viel Wasserstoff enthalten. Zusammen ergibt sich ein detailreiches Gesamtbild.

## Den Geißeln der Menschheit auf der Spur

Mediziner, Biologen und Biophysiker, die ans HZB kommen, nutzen Neutronen und Röntgenstrahlen beispielsweise, um die Ursachen der **Alzheimerkrankheit** aufzudecken. Dazu untersuchen sie die Struktur und Wirkung bestimmter nervenschädigender Eiweißstoffe, die sich im Gegensatz zu gesunden Menschen bei Alzheimer- sowie bei Down-Syndrom-Patienten in Gehirn und Blutgefäßen ablagern.

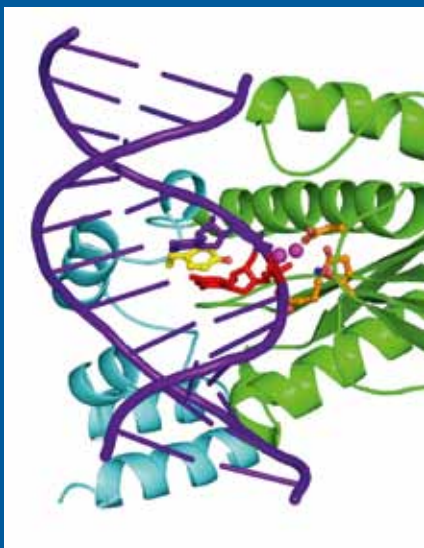
Unter Beobachtung steht am HZB ebenfalls die lipidreiche Membranstruktur Myelin. Sie umgibt Nervenzellen. Bei **Multiple-Sklerose**-Patienten wird diese Schutzschicht jedoch durch das körpereigene Immunsystem angegriffen. Diskutiert wird darüber hinaus, welche Rolle Myelin bei der Entstehung psychischer Erkrankungen wie der Schizophrenie spielt.

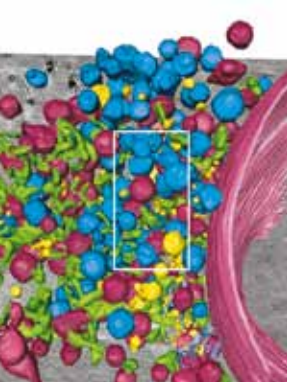
## Röntgen-Nanotomografie in 3D

Für medizinische wie biologische Untersuchungen haben Forscherinnen und Forscher des HZB ein spezielles **Röntgenmikroskop**

## Aids bekämpfen

Biologen haben an BESSY II erstmals die dreidimensionale Struktur eines Molekülkomplexes darstellen können, das bei der Vermehrung von HIV-Viren eine wichtige Rolle spielt. Biologen und Mediziner erhoffen sich davon neue Erkenntnisse für die Entwicklung aussichtsreicher Aids-Therapien.





Ein Forscher des HZB am Mikroskop für Röntgen-Nanotomographie. Mit der Apparatur lassen sich kleinste Strukturen von Zellen dreidimensional abbilden. Bild links: Eine Mauszelle mit ihren Zellbestandteilen – bogenförmig ist die Kernmembran zu sehen.

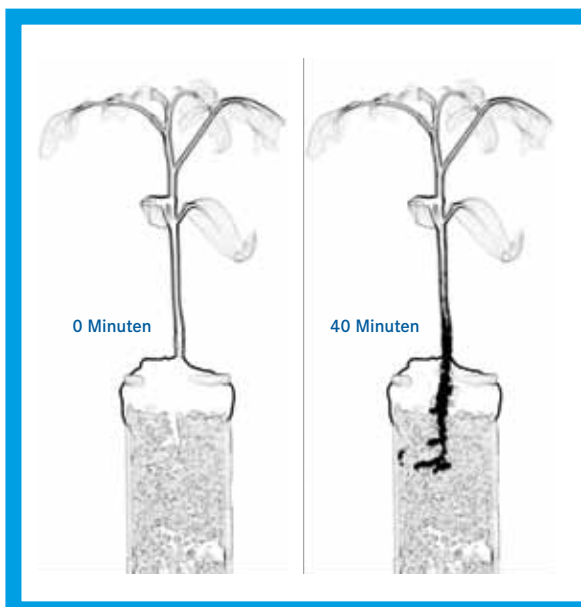
entwickelt. Mit beispiellos hohem Kontrast stellt es Strukturen von Zellen dreidimensional auf 30 Nanometer genau dar. Die erstklassige Auflösung erreicht das Team mit einer exzellenten Optik sowie mit teilkohärentem Licht, welches die Synchrotronquelle BESSY II bereitstellt. Für die Untersuchungen müssen die Zellen dabei weder – wie sonst üblich – chemisch fixiert und eingefärbt noch zerschnitten werden. Im tiefgefrorenen Zustand lassen sich die ansonsten intakten Objekte in ihrer (natürlichen) räumlichen Struktur (3D) untersuchen.

## Gefäße in Form halten

Für die medizinische Versorgung benötigt man oft biologisch verträgliche Materialien sowie Formgedächtnislegierungen. Ein Beispiel dafür sind sogenannte **Stents**. Als feine Geflechte werden sie in zusammengefaltetem Zustand in Blutgefäße, Harnröhren oder Gallengänge eingeführt und spreizen sich erst bei Körpertemperatur. Experimente am HZB haben dazu beigetragen, den Funktionsmechanismus solcher Formgedächtnislegierungen aufzuklären.

## Wie trinkt die Tomate?

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am HZB sind nicht nur Krankheiten auf der Spur, sondern ebenso ganz natürlichen Lebensvorgängen. Agrarwissenschaftler aus Japan und Potsdam untersuchten erstmalig, wie eine Pflanze Wasser aufnimmt und verteilt. Dazu haben die Experimentatoren den Tomatensetzlingen zu einem bestimmten Zeitpunkt ausschließlich sogenanntes „schweres“ Wasser zu trinken gegeben. Das Wassermolekül enthält zwei Neutronen mehr als gewöhnliches Nass. Beim Durchleuchten der Pflanze mit Neutronen kann man ihr so regelrecht beim Trinken zusehen.



Aufsteigendes Wasser in einer Tomatenpflanze: Beim Durchleuchten mit Neutronen zeichnet sich das „schwere“ Wasser (schwarz) ab.

# ENERGIE- VERSORGUNG DER ZUKUNFT SICHERN

Experten am HZB nutzen die Großgeräte, um neue Materialien zu testen, die für eine nachhaltige Energieerzeugung infrage kommen. Das gilt für Solarzellen ebenso wie für Brennstoffzellen oder Hochleistungsbatterien. Ziel ist, die künftige Energieversorgung auf kostengünstige und umweltverträgliche Beine zu stellen.

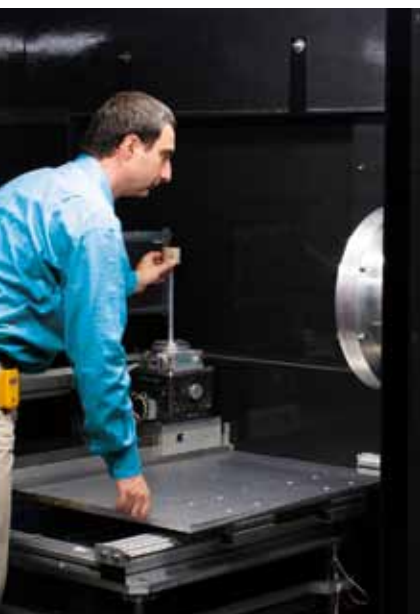
## Brennstoffzellen und Batterien bei der Arbeit zusehen

Brennstoffzellen gewinnen aus Sauerstoff und Wasserstoff umweltfreundlich Wärme und Strom. Je nach wissenschaftlicher Fragestellung kann man Teilaspekte dieses technisch anspruchsvollen Vorgangs entweder mit Neutronen oder mit Photonen untersuchen. Mit Synchrotronlicht können Techniker und Ingenieure beispielsweise genauestens verfolgen, wie Wasser als Abfallprodukt der Reaktion entsteht. Mit Neutronen gelingt dies sogar bei laufendem Betrieb – wenngleich in größerer Auflösung. Beide Informationen zusammen helfen, das überaus wichtige **Wassermanagement** in einer Zelle zu verstehen, was Grundvoraussetzung zur Herstellung einer möglichst effektiv arbeitenden Brennstoffzelle ist.

Doch häufig sind Brennstoffzellen noch zu teuer für den Massenmarkt. Ein Grund ist das Platin, das als Katalysator darin steckt. Ziel vieler Forscher ist es, dafür preiswerten Ersatz zu finden. Am HZB haben Elektrochemiker herausgefunden, dass nanometerkleine Partikel des Metalls Ruthenium eine Alternative sein können. Mit Photonen von BESSY II lassen sich deren Eigenschaften exakt bestimmen.

Mit Neutronen können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ferner Lithium-Ionen-Batterien beim Laden oder Entladen zuschauen und sich so die komplexen chemischen Reaktionen in den Zellen ansehen. Mit einem tieferen Verständnis dieser Vorgänge hoffen die Experten, die Energiedichte der Batterien künftig deutlich steigern zu können, womit der Elektroantrieb zu einer echten **Alternative zum Verbrennungsmotor** würde.

Mit Photonen und Neutronen lässt sich das wichtige Wassermanagement von Brennstoffzellen detailliert untersuchen. Ein Wissenschaftler bereitet ein Experiment mit Neutronen vor.





Für Experimente mit Neutronen werden polykristalline Proben des Solarabsorber-Materials hergestellt. Eine Wissenschaftlerin entnimmt eine Quarzglasampulle mit dem Probenmaterial aus dem Ofen, in dem bei 900 Grad Celsius die Verbindung  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  aus den Elementen Kupfer, Indium, Gallium und Selen gezüchtet wurde.

## Solarzellen ins rechte Licht gesetzt

Zahlreiche Projekte zeigen, dass die Großgeräte ebenso hervorragende Hilfen für die Solarzellen-Forschung sind, beispielsweise zur Untersuchung von Materialien für anorganische Dünnschicht-Solarzellen. Verbindungen wie Kupfer-Indium (und/oder Gallium)-Sulfid oder -Selenid, so genannte **Chalcopyrite**, werden schon heute in Dünnschicht-Solarzellen als lichteinfangende Schicht (Solarabsorber) eingesetzt. Um ihre Effizienz weiter zu erhöhen, sind jedoch noch umfangreiche Forschungen nötig. Mit Neutronen und Photonen gewinnen Forscherinnen und Forscher detailreiche Einblicke, was an den Grenzflächen der einzelnen Materialschichten passiert, wie die Materialien atomar aufgebaut sind und welche Prozesse möglicherweise den Stromfluss behindern. Röntgenmethoden sind dafür oft die Methode der Wahl. Doch die Elemente Kupfer und Zink beziehungsweise Kupfer und Gallium kann man bei Analysen mit Röntgenstrahlen kaum unterscheiden – mit Neutronen hingegen schon. Mit Neutronenexperimenten ist es daher möglich, die atomare Struktur und die darin enthaltenen Defekte solcher Halbleitermaterialien zu untersuchen.

Experten gehen davon aus, dass Chalcopyrit-basierte Dünnschichtsolarellen künftig einen großen Anteil am Photovoltaik-Markt haben und zu seinem Wachstum beitragen werden. Für einige Dünnschichtsolarellen dieser Art hält das HZB derzeit sogar den **Effizienzrekord**.

Ganz neue Möglichkeiten wird das Analyselabor SISSY eröffnen (Solarzellen In-Situ Labor am Synchrotron), welches das HZB derzeit aufbaut. Es wird direkt an den Beschleuniger BESSY II angekoppelt und ermöglicht weltweit einzigartige Bedingungen, um neuartige Solarzellen mit Synchrotronlicht zu untersuchen. Damit wird es möglich, das Wachstum der Schichten direkt zu beobachten.

Darüber hinaus untersuchen Forscherinnen und Forscher am HZB, inwiefern sich mit Nanopartikeln beschichtete, ultradünne Solarzellen herstellen lassen. Nanopartikel, die sich exzellent mit Neutronen und Synchrotronlicht untersuchen lassen, sollen beispielsweise Oberflächen von Solarzellen so strukturieren, dass sie einfallendes Licht außerordentlich stark einfangen und es so für die Energiegewinnung besser nutzbar wird.

Flexible Dünnschicht-Solarzelle aus dem HZB.

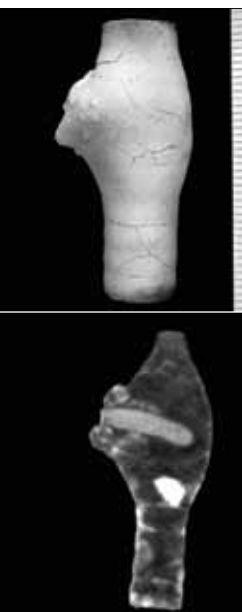




# DIE KUNST DER SYNERGIE

Mit Neutronen und Photonen lassen sich historische Objekte überaus schonend und absolut zerstörungsfrei untersuchen. Immer öfter kommen daher Kunsthistoriker oder Archäologen an das HZB. Hier lassen sie Bilder antiker Meister auf Echtheit prüfen oder bringen wertvolle Schriften mit, wie die des Archimedes oder die Qumran-Rollen, die zu den ältesten bekannten Aufzeichnungen der Bibel zählen. Andere bringen Teile versunkener Schiffe oder Kultgegenstände wie die Himmelsscheibe von Nebra oder den Berliner Goldhut, ein Artefakt aus der Bronzezeit, der vermutlich ein Kalender war. Damit die oft einzigartigen und sehr wertvollen Objekte nicht beschädigt oder gar entwendet werden, verfügt das HZB über klimatisierte Untersuchungsräume sowie über Tresore für die Lagerung.

Die Himmelsscheibe von Nebra: Die absolut zerstörungsfreie Analyse des rund 4000 Jahre alten Kulturobjekts brachte wichtige Erkenntnisse. Die älteste bekannte Abbildung des nächtlichen Sternenhimmels, wurde offensichtlich in mehreren Phasen erschaffen und die Materialien stammen aus verschiedenen Teilen Europas. Dies belegt Reiseaktivitäten, die in jener Zeit bislang als ausgeschlossen galten.



Der Wurm in der Seelilie: Die 150 Millionen Jahre alte versteinerte Seelilie gab den Archäologen vom Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität ihr Geheimnis preis – dank Neutronentomographie: Der antike Stachelhäuter war von einem Wurm befallen. Wurm und Seelilie lebten in Symbiose miteinander.





(S. 16) Die Echtheit antiker Gemälde: Lange war nicht klar, ob das Gemälde „Armida entführt den eingeschlaferten Rinaldo“ aus der Berliner Gemäldegalerie ein Original des französischen Malers Nicolas Poussin (1594 – 1665) ist. Untersuchungen am HZB konnten zeigen, dass vorskizzierte Bäume von der gleichen Art und aus identischen Farbpigmenten übermalt wurden; für Kunsthistoriker ein untrügerisches Zeichen, dass es sich um ein Original handelt.

(S. 17) Der „Schmuck der Kaiserinnen“ zur Untersuchung an BESSY II: Die einzelnen Schmuckstücke aus Feingold weisen vielfältige Verzierungen mit Edelsteinen, Perlen und antiken Gemmen auf. Anhand der Materialzusammensetzung können Kunsthistoriker Rückschlüsse auf Bearbeitungsschritte zu verschiedenen Zeitpunkten ziehen.

## VON HISTORISCHEM SCHMUCK UND DINOSAURIERN

In der Regel stehen Fragen der Entstehung, Herkunft, Echtheit sowie Aspekte der Konservierung im Vordergrund. Physiker können mit Neutronen metallische Werkstoffe untersuchen sowie verborgene Farbschichten auf Bildern oder das Innenleben von archäologischen Schätzen zum Vorschein bringen. Mit Synchrotronlicht lässt sich die chemische Zusammensetzung von Gemälden oder Kunstgegenständen genauestens analysieren. Beispielsweise wurde das Licht von BESSY II genutzt, um den „Schmuck der Kaiserinnen“ aus dem 11. Jahrhundert zu untersuchen, auch bekannt als Gisela Schmuck. Mit Neutronen haben Forscher vom Berliner Museum für Naturkunde einen 270 Millionen Jahre alten Dinosaurierschädel durchleuchtet, um Informationen über das Hörsystem der urzeitlichen Organismen zu bekommen.



**Versunkene Schätze:** Oft sind Schätze aus versunkenen Schiffen mit einer dicken Kalkschicht überdeckt. Versuchen Archäologen sie zu entfernen, beschädigen sie möglicherweise das Objekt. Belassen sie es, ist es nutzlos für die Wissenschaft. Die Tomographie insbesondere mit Neutronen erlaubt nun tiefe Einblicke ins Innere der Gegenstände, ohne sie zu zerstören. In Kooperation mit der Universität Palermo hat das HZB Objekte untersucht, die vom Grund des Mittelmeers geborgen wurden. Von den detailreichen Bildern erhoffen sich die Archäologen Hinweise auf deren Entstehungszeit sowie auf das beste Verfahren zur Restauration.



Kinder beim Experimentieren im Schülerlabor.

## AKTIV FÜR DEN NACHWUCHS

Das HZB bietet interessierten Schülern, Schulabgängern, Studenten, Doktoranden und Post-Doktoranden viele Möglichkeiten, sich aus- und weiterzubilden.

### Sonnige Aussichten für Studenten

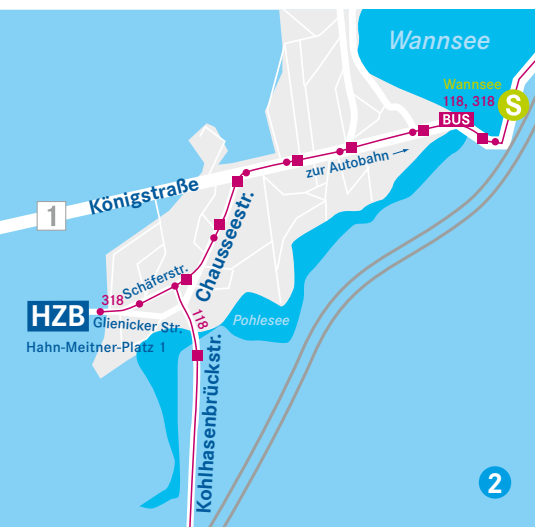
Das HZB arbeitet eng mit den Berliner und Brandenburger Universitäten zusammen. Viele der leitenden Wissenschaftler lehren dort und betreuen Studenten bei ihren Abschlussarbeiten. Jedes Jahr findet im HZB ein zehntägiger Workshop zur Neutronenstreuung statt. Eine internationale Schule für Photovoltaik und ein acht Wochen umfassendes **Sommerstudentenprogramm** werden angeboten. Die Programme sind für Studenten eine einmalige Gelegenheit, die wissenschaftlichen Großgeräte des HZB und das Arbeiten in Laboren kennenzulernen.

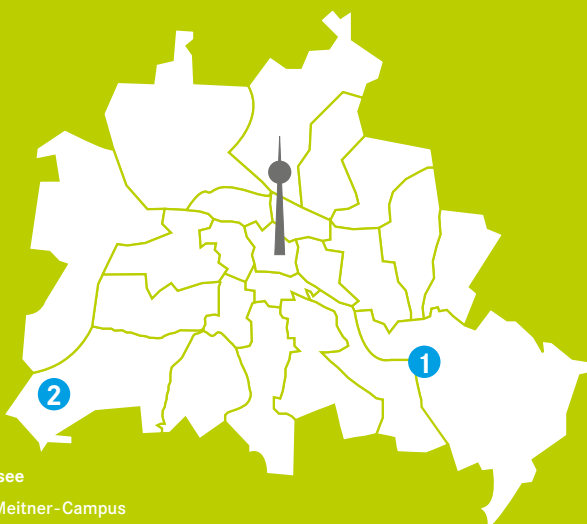
### Wissenschaft zum Anfassen

Im Schülerlabor „Blick in die Materie“ können Schülerinnen und Schüler in die faszinierende Welt der Physik eintauchen – und ganz nebenbei die Arbeit eines Forschers kennenlernen. Interessierte Jugendliche können während eines Schülerpraktikums im HZB noch mehr in die Praxis hineinschnuppern.

### Erfolgreich ins Berufsleben

Jugendliche haben außerdem die Möglichkeit, in einem zukunftsorientierten Beruf ausgebildet zu werden, etwa im Bereich Verwaltung, Maschinenbau, Informatik oder Umwelt- und Strahlenschutz.





#### Wannsee

##### Lise-Meitner-Campus

Hahn-Meitner-Platz 1  
14109 Berlin  
Tel +49 30 8062-0  
Fax +49 30 8062-42181

#### Adlershof

##### Wilhelm-Conrad-Röntgen-Campus

Albert-Einstein-Str. 15  
12489 Berlin  
Tel +49 30 8062-0  
Fax +49 30 8062-12990

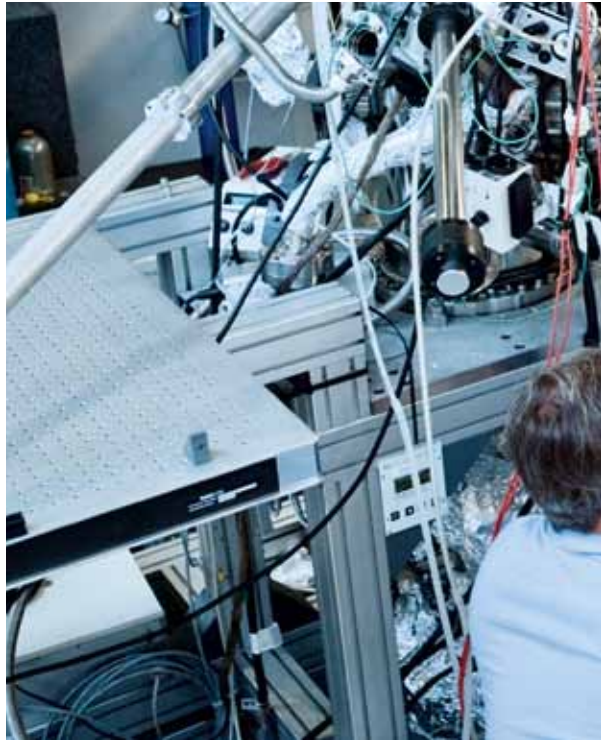
Kekuléstraße 5  
12489 Berlin  
Tel +49 30 8062-0  
Fax +49 30 8062-41333

#### Bildnachweise

© HZB • Titelbild-Fotograf: © schurian.com • S. 17 unten: iStockphoto

**Helmholtz-Zentrum Berlin für  
Materialien und Energie GmbH**

Hahn-Meitner-Platz 1  
14109 Berlin  
Tel +49 30 8062-0  
Fax +49 30 8062-42181



[www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de)