

ENERGIEN BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN

MOTOR FORSCHUNG

ENERGIEFORSCHUNG AN GROSSGERÄTEN

Neue Lösungen für die Umwandlung
und Speicherung der Sonnenenergie

DAS HZB IN KÜRZE

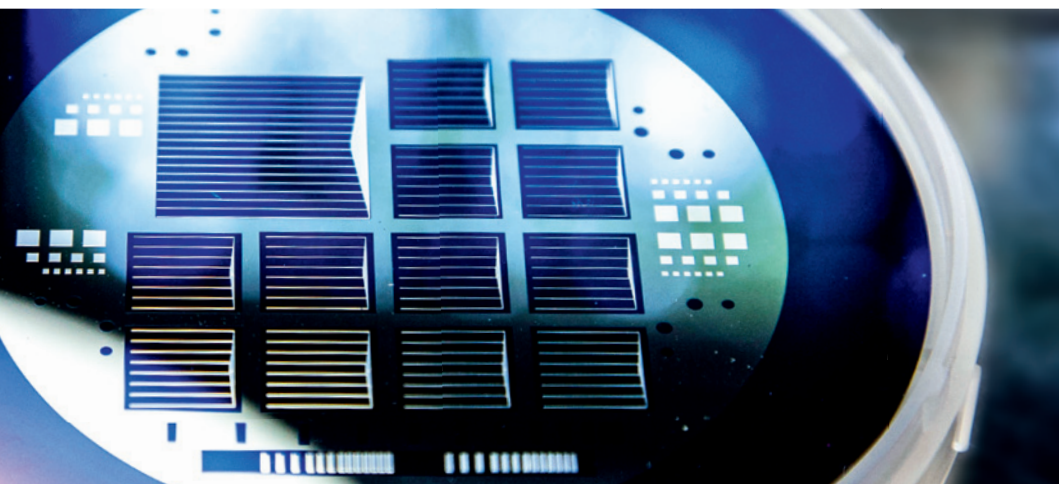
Um die Struktur und Funktion der Materie zu untersuchen, betreibt das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) zwei wissenschaftliche Großgeräte: den Forschungsreaktor BER II für Experimente mit Neutronen und den Elektronenspeicherring BESSY II, der ganz besonderes Röntgenlicht, so genannte Synchrotronstrahlung, erzeugt.

Ein großer Forschungsschwerpunkt ist die Solarenergie mit sieben Instituten und Abteilungen. Hier betreiben HZB-Wissenschaftler Grundlagenforschung, damit Solarzellen der nächsten und übernächsten Generation den Markt erobern. Sie entwickeln neue Materialien für **Dünnschicht-Solarzellen** und für die Erzeugung solarer Brennstoffe. Um den Transfer neuer Erkenntnisse in die Industrie zu beschleunigen, hat das HZB zusammen mit weiteren Partnern das **Kompetenzzentrum Photovoltaik (PVcomB)** aufgebaut.

Das HZB ist aus zwei traditionsreichen Berliner Forschungszentren hervorgegangen, die sich 2009 zusammengeschlossen haben: das ehemalige Hahn-Meitner-Institut und die ehemalige Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY). Aufgrund der Fusion ist das HZB eines der wenigen Zentren weltweit, welches unter einem Dach **Experimente mit Neutronen und mit Synchrotronstrahlung** ermöglicht.

Zahlen und Fakten

Das HZB beschäftigt rund 1.100 Mitarbeiter, davon 800 in Wannsee und 300 in Adlershof. Das Zentrum verfügt über einen Gesamthaushalt von etwa 110 Millionen Euro. Über die Region Berlin-Brandenburg hinaus kooperiert das HZB mit rund 400 Partnern in deutschen und internationalen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen.



SOLARENERGIE VORANTREIBEN



Die Energiewende ist eine gewaltige Aufgabe: Bis 2020 sollen erneuerbare Energiequellen etwa 35 Prozent des Strombedarfs in Deutschland decken, bis 2050 sogar 80 Prozent. Dieses Ziel ist erreichbar und die Solarenergie wird einen wichtigen Beitrag dazu leisten.

Der Grund für diesen Optimismus liegt in den Forschungsinfrastrukturen, die in Deutschland zur Verfügung stehen. Denn die Forschung zur Umwandlung von Solarenergie ist noch lange nicht abgeschlossen, im Gegenteil: Sie liefert viele Alternativen zu konventionellen Solarzellen aus kristallinen Siliziumwafern, deren Herstellung viel Energie kostet. Insbesondere **Dünnschicht-Solarzellen** aus Silizium und anderen Halbleitermaterialien haben ein enormes Potenzial: Ihr Wirkungsgrad kann noch gesteigert und der Material- und Energieeinsatz bei der Herstellung gesenkt werden. **Großer Forschungsbedarf** besteht auch bei Materialien und Komponenten zur Energiespeicherung wie solaren Brennstoffen oder Brennstoffzellen.

Europaweit führend in der Solarenergie-Forschung ist das Helmholtz-Zentrum Berlin¹: Wir haben große Forschungsinfrastrukturen aufgebaut, die uns einen tiefen und genauen Einblick in die Materie ermöglichen. Insbesondere erlauben sie einen Einblick in die Prozesse und quantenphysikalischen Effekte, die die Eigenschaften der Materialien bestimmen. Ein tieferes Verständnis dieser Prozesse ist der Schlüssel, um neue Ideen zu entwickeln und systematisch zu testen.



Das Potenzial der Sonne

Während im Sonnengürtel der Erde mehr als 1.000 Watt pro Quadratmeter ankommen, lassen sich im nördlich gelegenen Deutschland an sonnigen Tagen noch rund 600 Watt pro Quadratmeter ernten.

Selbst in diesem dichtbesiedelten Industrieland übertrifft die Sonnenstrahlung den Energiebedarf noch um den Faktor 80³.

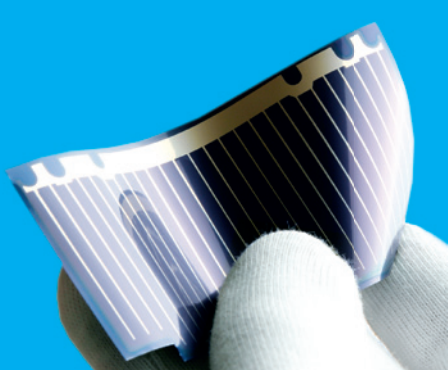
In Deutschland sind Mitte 2012 Photovoltaik-Module mit einer Spitzenleistung von 30 Gigawatt installiert. In der ersten Jahreshälfte deckte die Photovoltaik rund fünf Prozent des Brutto-Strombedarfs⁴.

1 Laut Elsevier-Ranking 2009

2 FVEE-Forschungsziele 2013, S.11

3 Quelle: www.bmu.de/erneuerbare_energien/kurzinfo

4 Brutto-Strombedarf Deutschland rund 625 TWh pro Jahr (BMWi)



Die Preise für PV-Module sind in den letzten 25 Jahren um den Faktor zehn gesunken², inzwischen ist „Netzparität“ erreicht, der Eigenverbrauch von Solarstrom lohnt sich bereits.

Die Forschung arbeitet an Solarzellen der nächsten Generation wie den flexiblen CIS-Solarzellen auf Titanfolie.

MIT GROSSGERÄTEN FORSCHEN

Mithilfe der **Neutronenquelle BER II** am Standort Wannsee erhalten Forscher Einblicke in atomare Prozesse innerhalb von Materialien. Am **Berliner Elektronenspeicherring BESSY II** steht eine Vielzahl mikroskopischer und spektroskopischer Methoden zur Verfügung. Hier lässt sich untersuchen, wie sich kristalline Schichten und Grenzflächen ausbilden und welchen Einfluss die atomare oder molekulare Struktur auf die elektronischen Eigenschaften des Materials ausübt. Beide Großgeräte werden ständig weiterentwickelt und gelten als weltweit führend auf ihrem Gebiet.

Exzellente Grundlagenforschung erfordert langen Atem, schafft aber auch die Voraussetzung, dass die **Quelle für echte Innovationen** nicht versiegt. Mit den beiden Großgeräten BER II und BESSY II haben wir hervorragende Werkzeuge zur Hand. Mit ihnen können wir untersuchen, wie sich Solarenergie durch komplexe Materialien nutzen lässt. Dabei umfasst das Spektrum der HZB-Forschung sowohl Grundlagenforschung als auch vielfältige anwendungsrelevante Fragen, die wir als Partner für die Industrie im Rahmen des Kompetenzzentrums PVcomB vorantreiben.



Die Sonne strahlt rund 10.000 mal mehr Energie auf die Erde als die Menschheit aktuell verbraucht.

TIEFE EINBLICKE IN DIE MATERIE

NACH DER MODERNISIERUNG DES BER II

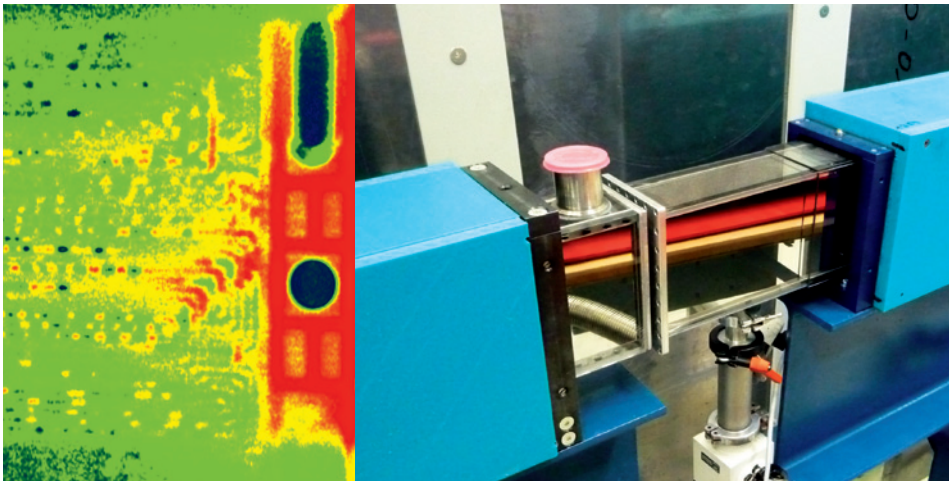
Bis zu fünfmal mehr Neutronen am Experiment – die Umbauarbeiten am Berliner Forschungsreaktor BER II haben sich gelohnt. Neue Neutronenleiter und neue Bauteile im Inneren der Neutronenquelle sorgen dafür, dass die Nutzer des BER II seit März 2012 wieder beste Bedingungen vorfinden und an den derzeit 15 zur Verfügung stehenden Messplätzen wissenschaftlich hochwertige Experimente durchführen können.

Für die Energieforschung sind besonders einige Techniken der Neutronenstreuung und -radiographie geeignet. So kann man mit der **bildgebenden Neutronentomografie** massiv gebaute Brennstoffzellen im laufenden Betrieb untersuchen und dabei beobachten, wie sich das entstehende Wasser in der Brennstoffzelle verteilt und abfließt. Solche Einblicke helfen, die Effizienz von Brennstoffzellen weiter zu verbessern.

Halbleitermaterialien, wie sie für Dünnschicht-Solarzellen verwendet werden, können an hochauflösenden Pulver-Diffraktometern mithilfe der **Neutronenbeugung** untersucht werden. Theoretische Überlegungen hatten gezeigt, dass winzige Störungen im kristallinen Aufbau, so genannte Punktdefekte, die elektronischen Eigenschaften einer Dünnschicht-Zelle kaum beeinträchtigen. Doch detaillierte Analysen zur Konzentration

Mit Neutronentomografie am BER II lässt sich beobachten, wie sich im laufenden Betrieb in einer Brennstoffzelle das entstehende Wasser verteilt.

Neue Superspiegel reduzieren die Verluste an Neutronen, so dass die Nutzer von einem stärkeren Neutronenfluss profitieren.





HZB-Experten stellen extreme Probenumgebungen bereit, zum Beispiel tiefe Temperaturen und starke Magnetfelder für die Supraleiterforschung.

von Punktdefekten in kupferhaltigen Dünnschicht-Solarzellen, so genannten Chalkopyriten, gab es bislang nicht. Hier offenbarte die Neutronenbeugung, dass in den untersuchten Materialien Kupfer-Fehlstellen in hoher Konzentration vorhanden waren: Auf zahlreichen Plätzen im Kristallgitter, wo ein Kupferatom sitzen müsste, fehlte dieses. Dass solche Solarzellen trotz vieler Fehlstellen gut funktionieren, erscheint verwunderlich, ist aber für die Fertigung der Zellen sehr beruhigend.

Neutronen bringen Licht ins Dunkel

Ein Dauerbrenner in der Energieforschung ist das Phänomen der Supraleitung. Die heute bekannten Stoffe verlieren erst bei Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt ihren elektrischen Widerstand und müssen daher mit flüssigem Stickstoff auf minus 196 Grad Celsius gekühlt werden. Könnte man Materialien entwickeln, die Strom bei Zimmertemperatur verlustfrei leiten, wären enorme Einsparungen beim Stromtransport möglich. Mit Neutronenexperimenten am BER II können Forscher neue Theorien zu den entscheidenden Faktoren bei der Supraleitung experimentell prüfen und auf Basis solcher Erkenntnisse künftig noch gezielter **neue Materialien mit supraleitenden Eigenschaften** entwickeln.



Upgrade für die Forschung mit Neutronen

- Die neue Kalte Quelle liefert einen Faktor zur Verstärkung des Neutronenflusses von $>1,5$
- Die neue Superspiegelbeschichtung der Neutronenleiter liefert einen Verstärkungsfaktor von 4 – 8
- Mehrere Instrumente wurden umgebaut und optimal positioniert
- Im Aufbau ist ein weltweit einmaliger Hochfeldmagnet, der zunächst bis zu 25 Tesla für Neutronenstreuexperimente liefert

An 50 Experimentierplätzen können die Forscher ihre Proben mit Synchrotronstrahlung durchleuchten.



BESSY II – EIN MIKROSKOP FÜR RAUM UND ZEIT:

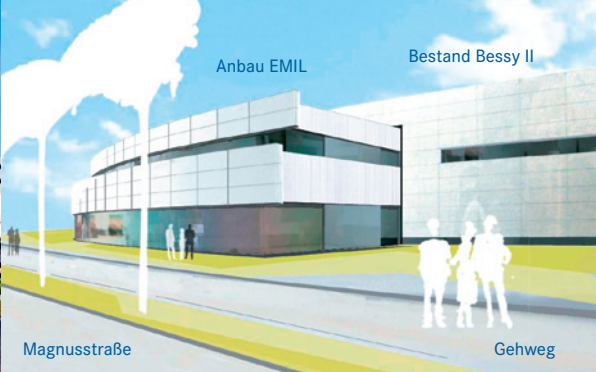
Der Berliner Elektronenspeicherring BESSY II in Adlershof liefert intensives Synchrotronlicht mit Frequenzen, die von einigen Terahertz über das sichtbare Spektrum bis zu harter Röntgenstrahlung reichen. Damit lassen sich atomare und molekulare Prozesse in organischen und anorganischen Materialien mit räumlichen **Auflösungen bis in den Nanometerbereich** (ein Milliardstel Meter) untersuchen. Zudem ermöglichen die ultrakurzen Synchrotronlichtpulse Einblicke in die Dynamik sehr schneller Reaktionen im Femtosekundenbereich (10^{-15} Sekunden), zum Beispiel an den Grenzflächen in neuartigen Dünnschicht-Solarzellen.

Das Synchrotronlicht wird von Elektronen erzeugt, die mit nahezu Lichtgeschwindigkeit in den Speicherring eingeschossen und dann auf einer Kreisbahn gehalten werden. Dabei strahlen sie tangential Photonenpakete oder Lichtpulse ab. BESSY II ist die führende Synchrotronlichtquelle der dritten Generation mit Schwerpunkt im weichen Röntgenbereich in Deutschland. Sie zieht jährlich rund 2.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland an, die das Großgerät wegen seiner hervorragenden Zuverlässigkeit und Stabilität schätzen. An den über **50 Experimentierplätzen (Beamlines)** können die Forscher Wellenlänge, Schwingungsrichtung (Polarisation) und Energie der Photonen einstellen. HZB-Experten entwickeln das Großgerät stetig weiter und haben nun mit dem Top-Up-Modus und einem Fast-Orbit-Feedback optimale Bedingungen für noch empfindlichere Messungen geschaffen.

www.light2hydrogen.de

ISSIS an BESSY II: Katalysatoren für die Wasserstoffproduktion mit Sonnenlicht

Am ISSIS-Strahlrohr bei BESSY II arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Fritz-Haber-Institut mit HZB-Experten und weiteren Partnern daran, neue Einsichten in die Wirkung von Katalysatoren zu gewinnen. Im Rahmen der vom BMBF geförderten Exzellenzinitiative „Light2Hydrogen“ untersuchen sie neuartige Photokatalysatoren, die aus polymerem Kohlenstoffnitrid und photoaktiven Halbleitern wie Chalkopyriten und Silizium bestehen. Diese Materialsysteme können mit Sonnenlicht Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff spalten.



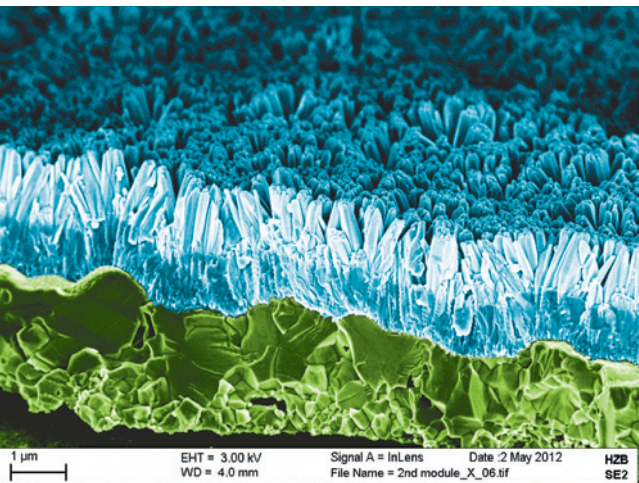
Ab 2015 kann die Energieforschung auch von den neuen Möglichkeiten im Labor EMIL profitieren.

EMIL: Forschen an Energiematerialien

Mit EMIL (Energy Materials In-situ Laboratory Berlin) baut das Helmholtz-Zentrum Berlin zusammen mit der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) ein weltweit einzigartiges Labor an BESSY II auf, das ab 2015 neue Möglichkeiten für die Forschung an Energie- und Katalysatormaterialien schafft.

Zentraler Bestandteil von EMIL ist das Solar Energy Materials In-situ Labor am Synchrotron, genannt Sissy. Es hat direkten Zugang zu einem Strahlrohr am Speicherring BESSY II und bietet **einzigartige Möglichkeiten für die Röntgenanalytik**. Ein großer Vorteil ist, dass die Solarzellen nicht mehr vom Labor zum Messplatz transportiert werden müssen, sondern im so genannten „Clustertool“ direkt vor Ort präpariert und „in system“, also ohne Unterbrechung des Vakuums, untersucht werden. Dies verhindert, dass die Ober- und Grenzflächen mit Luft in Kontakt kommen und verschmutzen.

Es ist auch geplant, solche Untersuchungen direkt während des Filmwachstums durchzuführen, so dass man praktisch „live“ verfolgen kann, wie sich die Schichteigenschaften ausbilden. Für die Analyse stehen erstmals „harte“ und „weiche“ Röntgenstrahlen in einem Labor zur Verfügung. Im Teil-Labor CAT können katalytische Prozesse untersucht und optimiert werden, die bei der Speicherung von Energie eine Rolle spielen.



Die Aufnahme mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigt eine Absorberschicht, die mit Nanoströbchen aus Zinkoxid kombiniert wurde. Damit kann die Solarzelle einen größeren Teil des Sonnenlichts einfangen.

NEUE OPTIONEN FÜR DÜNNE SCHICHTEN

Kesterit ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$) als photovoltaischer Absorber

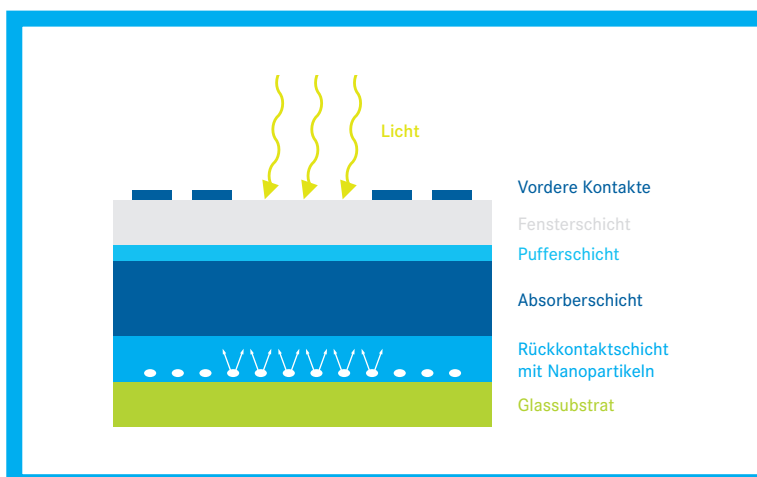
Leistungsfähige Dünnschicht-Solarzellen wie die so genannten Chalkopyrit-Zellen erreichen zwar schon Wirkungsgrade von über 20 Prozent, enthalten aber seltene Elemente wie Indium und Gallium. Genau diese Elemente sind in der Kesterit-Schicht durch Zink und Zinn ersetzt, die sehr viel häufiger vorkommen. Kesterit-Zellen sind daher interessante Kandidaten für günstige Solarzellen, haben aber noch deutlich geringere Wirkungsgrade von zurzeit um die 10 Prozent.

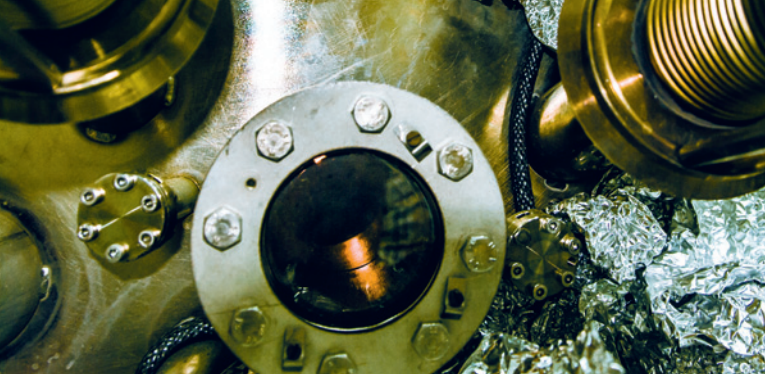
Untersuchungen der Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe um Prof. Dr. Marcus Bär haben nun gezeigt, dass die elektronische Grenzflächenstruktur zwischen der Kesterit- und der angrenzenden Pufferschicht nicht zusammenpasst: Es gibt dort einen „Bandversatz“, der den Wirkungsgrad deutlich reduziert.

Bei den Chalkopyrit-Zellen hat es rund 30 Jahre gedauert, um durch stetige Optimierung hohe Wirkungsgrade zu erzielen. Die am HZB verfügbare Methodenvielfalt ermöglicht nun tiefere Einblicke, die die Optimierung bei Kesteriten und anderen Materialsystemen deutlich beschleunigen könnten.

Moderne Dünnschicht-Solarzellen

Dünnschicht-Solarzellen bestehen aus vielen Schichten, die jeweils wichtige Funktionen erfüllen und damit den Wirkungsgrad steigern. Dabei erzeugt das einfallende Sonnenlicht in der Absorberschicht – am so genannten p-n-Übergang zwischen zwei unterschiedlich dotierten Halbleitermaterialien – Elektronen-Loch-Paare, die als Strom über die Kontakte abfließen. Die Pufferschicht, die zum Beispiel aus Cadmiumsulfid bestehen kann, verbessert die Eigenschaften der Solarzelle. Forscher experimentieren mit weiteren Schichten, hier im Bild ist eine Schicht aus metallischen Nanopartikeln eingezeichnet, die einen Teil des Lichts in die Absorberschicht zurückwerfen, so dass dort ein größerer Anteil des Lichts umgewandelt werden kann.





In Ultrahochvakuumapparaturen werden Solarzellen beschichtet und untersucht.

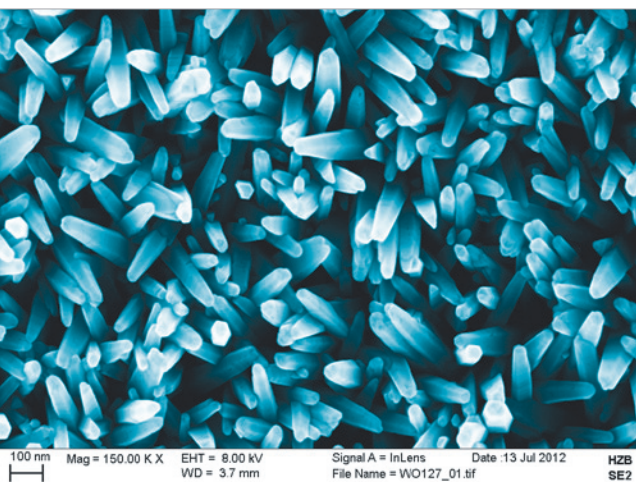
Nanooptische Solarzellen-Architekturen bei Chalkopyriten

Chalkopyrite haben Eigenschaften, die sich sehr gut für Solarzellen eignen. Unter den polykristallinen Dünnschicht-Solarzellen erreichen sie den höchsten Wirkungsgrad. Allerdings sind verwendete Materialien wie Indium sehr teuer. Deshalb gilt es, die Chalkopyrit-Dünnschichten noch dünner zu machen, dabei aber ihre hohen Wirkungsgrade zu erhalten. Denn ein dünner Film absorbiert entsprechend weniger Sonnenlicht.

HZB-Forscher um die Nachwuchsgruppenleiterin Dr. Martina Schmid arbeiten daher an so genannten **Nanooptischen Solarzellen-Architekturen**: Dabei liegen unter dem extrem dünnen Chalkopyrit-Film metallische Nanopartikel. Diese Nanopartikel streuen Licht in die Chalkopyrit-Schicht zurück, das ansonsten unwirksam in der Rückwand der Photovoltaikzelle verschwinden würde. Über die Materialzusammensetzung, die Form und Größe dieser Nanopartikel können die Forscher beeinflussen, welche Wellenlängen des Lichts zurückgestreut werden.

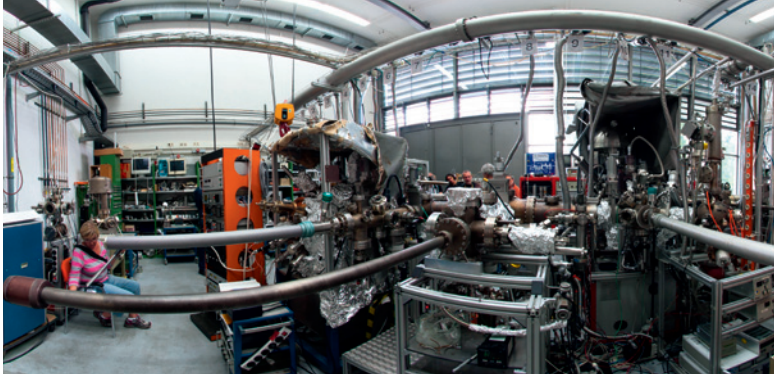
Eine weitere Idee besteht darin, eine Schicht aus winzigen Mikro-Linsen in die Solarzellen-Architektur zu integrieren, die das Licht auf kleine Inseln aus Chalkopyrit fokussieren. Das Material zwischen den Inseln könnte eingespart werden.

Die Funktionsweise einer Solarzelle erklärt auch eine Animation im HZB-Youtube-Kanal: www.youtube.com/user/hzbkanal



In dieser Elektronenmikroskopieaufnahme sind die Stäbchen aus Metalloxiden gut erkennbar, die wie Teppichfasern aus der Schicht ragen.

Das „Integrierte System“ stellt eine Vielzahl unterschiedlicher Messverfahren zur Verfügung.



DAS WACHSTUM BEOBACHTEN UND KONTROLLIEREN:

Der Aufbau von effizienten Dünnschicht-Solarzellen ist vielschichtig und komplex, sie bestehen aus mehreren Lagen unterschiedlicher Halbleiter, die jeweils wichtige Funktionen erfüllen und dazu beitragen, dass die Zelle Sonnenlicht effizient in Strom umwandeln kann. Die Prozesse in, zwischen und an den Oberflächen können durch die Herstellung beeinflusst und optimiert werden. Die Untersuchungen an den Experimentierplätzen von BESSY II schaffen eine Wissensbasis, um gezielt Dünnschicht-Technologien weiter zu entwickeln.

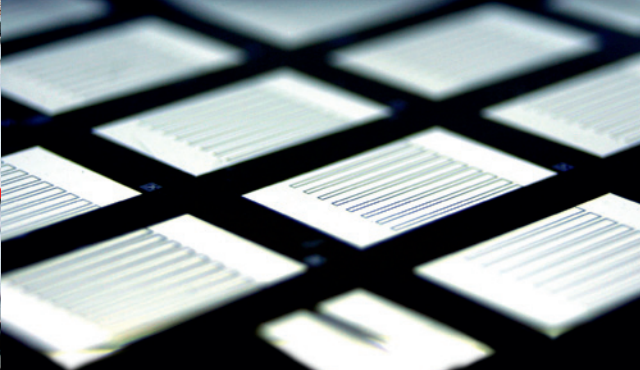
Die elektronischen und optischen Eigenschaften von halbleitenden dünnen Schichten entwickeln sich bereits während sie auf einem Substrat aufwachsen. Deshalb ist die **Gestaltung des Wachstumsprozesses** ganz entscheidend, um Dünnschicht-Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden zu produzieren. An den Experimentierplätzen bei BESSY II können Wissenschaftler diese Wachstumsprozesse „in situ“ – also in Echtzeit – beobachten und analysieren. Sie nutzen dazu Röntgenbeugung und Röntgenfluoreszenz mit hoher zeitlicher Auflösung.

So beobachten Dr. Roland Mainz und seine Kollegen zum Beispiel, ob Elemente aus angrenzenden Schichten oder aus der umgebenden Atmosphäre in die aufwachsende Schicht eingebunden werden oder aus der Schichtoberfläche abdampfen und welche kristallinen Verbindungen dabei in der Schicht entstehen. Gleichzeitig können sie aber auch die Korngrößen von auskristallisierten



CIS-Module mit ILGAR verbessert

HZB-Wissenschaftler vom Institut „Heterogene Materialsysteme“ haben das ILGAR-Verfahren (Ion Layer Gas Reaction) entwickelt, um Pufferschichten aus Indiumsulfid oder Zinksulfid / Indiumsulfid herzustellen. Damit lassen sich die sonst in Dünnschicht-Solarzellen verwendeten Pufferschichten aus Cadmiumsulfid ersetzen. Außerdem wird ein umweltschädliches Abscheidungsverfahren überflüssig. Die so produzierten Solarzellen erzielten Wirkungsgrade von über 16,1 Prozent, was deutlich über bisher erreichten Wirkungsgraden mit Indiumsulfid-Pufferschichten liegt.



Bei Rückseiten-Solarzellen sind alle Kontakte auf der sonnenabgewandten Seite aufgebracht, so dass Verschattung vermieden wird.

Bereichen bestimmen. Und sie sehen, wo sich mechanische Spannungen in den Schichten ausbilden. Für die EDDI-Beamline von BESSY II haben die Forscher zwei Messkammern entwickelt: Hier untersuchen sie diese Prozesse unter Bedingungen, die denen bei der industriellen Herstellung ähnlich sind. So konnten sie den Herstellungsprozess für $\text{Cu(In,Ga)}\text{S}_2$ -Zellen so optimieren, dass ihr Wirkungsgrad einen neuen Rekordwert erzielte.

Rückseiten-Solarzelle mit Siliziumhetero-Kontakten erreicht Rekord-Wirkungsgrad

Die rückkontaktierte Heteroübergang-Solarzelle vereint die Vorteile von zwei verschiedenen Photovoltaik-Technologien: Rückkontakte und Siliziumheterokontakte. Dabei liegen die Metallfinger, die den Strom einsammeln, auf der Rückseite der Zelle, so dass sie die Zelle nicht verschatten. Bei der Heterokontakt-Technologie werden zwei Halbleiter mit unterschiedlichen Bandlücken in einer Solarzelle verwendet, in diesem Fall kristallines und amorphes Silizium.

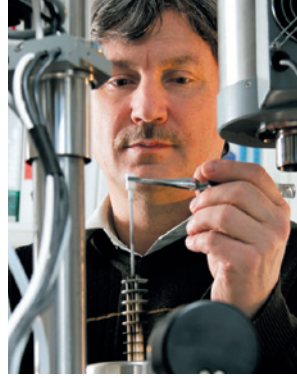
Beide Verfahren haben den Vorteil, dass sie schon industriell genutzt werden: Das Kombinieren beider Konzepte gilt als Möglichkeit, sehr hohe Effizienzen um 25 Prozent zu erreichen. In einem gemeinsamen Projekt, das vom Bundesministerium für Umwelt und den Firmen Bosch, Schott Solar, Sunways und Stiebel Eltron

unterstützt wird, entwickeln Forscher vom HZB und vom Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) diese neuartige Solarzelle weiter. Dabei erzielten sie einen großen Erfolg: Bis 2011 lag der Wirkungsgrad noch bei 15 bis 16 Prozent, inzwischen liegt er bei 20,2 Prozent.



Eine Forscherin präpariert eine Probe mit dem ILGAR-Verfahren.

An dieser Anlage zur thermogravimetrischen Analyse wird das thermische Verhalten von Katalysatoren in unterschiedlichen Gasatmosphären untersucht.



SOLARE BRENNSTOFFE SPEICHERN DIE ENERGIE DER SONNE

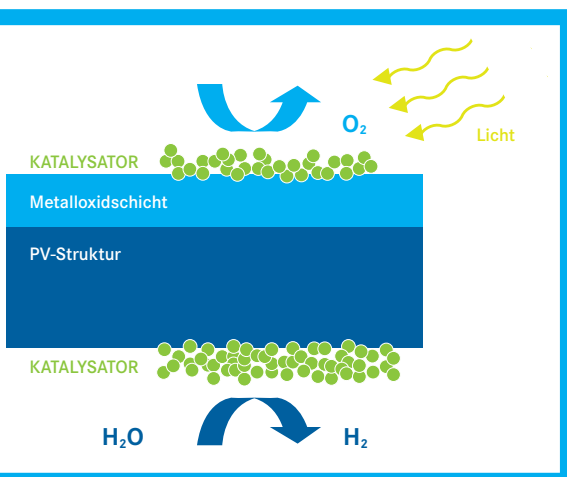
Am HZB-Institut „Solare Brennstoffe“ entwickeln und untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler um Prof. Dr. Roel van de Krol neue Materialsysteme, die die Energie des Sonnenlichts möglichst effizient in chemische Energie umwandeln, welche sich einfach speichern lässt. Dafür bauen sie auf einen elektrolytischen Prozess, mit dem sich Wasser in seine Bestandteile Sauerstoff (O_2) und Wasserstoff (H_2) zerlegen lässt. H_2 ist ein chemischer Speicher für Solarenergie: In einer Brennstoffzelle kann die darin gespeicherte Energie zur Stromerzeugung genutzt werden. Wasserstoff kann aber auch zu weiteren solaren Brennstoffen verarbeitet werden, zum Beispiel zu Methan, Methanol oder sogar zu Benzin oder Diesel.

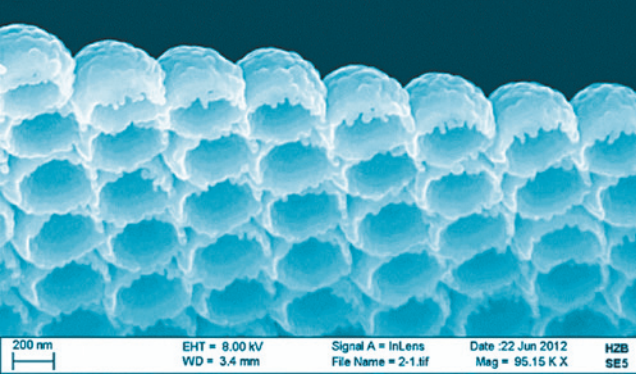
Dabei ist die große Expertise des HZB in der Solarzellenforschung essenziell: Denn damit die Aufspaltung der Wassermoleküle gelingt, muss Licht zunächst – wie in einer Solarzelle – eine Spannung in der Elektrode erzeugen.

Der Kern der Elektrode besteht aus einer Vielzahl unterschiedlich dotierter Halbleiterschichten, die mehrere „Junctions“ bilden (Tandem-Konfiguration). Ursprünglich waren mindestens drei solcher Junctions nötig, die jeweils aus drei unterschiedlichen Schichten bestehen. Inzwischen haben die Forscher gezeigt, dass eine dieser Junctions durch eine Metalloxid-Schicht ersetzt werden kann. Dies wäre ein Weg, um die Herstellung dieser

Integrierte Photo-Elektrode mit vielen Talenten

In dieser Elektrode sind Absorberschichten aus photovoltaisch aktiven Halbleiterstrukturen, eine Metalloxid-Schicht und Katalysatoren integriert. Die Elektrode befindet sich im Wasser. Einfallendes Licht erzeugt eine Spannung, die zur Aufspaltung von Wassermolekülen in Sauerstoff (O_2) und Wasserstoff (H_2) führt. Die Katalysatoren an der Elektroden-Oberfläche beschleunigen diesen Prozess. Das erzeugte Wasserstoffgas wird abgeführt und kann mit bekannten Technologien gespeichert oder weiterverarbeitet werden.





Nanostrukturen, hier aus Eisenoxid, können auch die Form von Hohlkugeln annehmen.

vielschichtigen Systeme zu vereinfachen, ihre chemische Stabilität gegen Korrosion im Wasser zu erhöhen und gleichzeitig auch noch die Effizienz zu verbessern: Denn während die Halbleiter-Junctions vor allem das langwellige rote Licht zur Ladungstrennung nutzen, kann die Metalloxid-Schicht die blauen Anteile des Lichts in Spannung umwandeln.

Das komplexe Materialsystem aus Licht-absorbierenden Schichten wird mit Katalysatorpartikeln beschichtet, die die Ausbeute an Wasserstoffgas deutlich steigern.

Die Forscher arbeiten nun schon an der nächsten Stufe, um mehr Wasserstoffgas aus Solarenergie zu gewinnen. Sie experimentieren mit **Nanostrukturen aus Metalloxid**: Denn mit einer einfachen Schicht aus Metalloxid lässt sich kein optimales Ergebnis erzielen, weil sie einerseits ausreichend dick sein muss, um genügend Licht zu absorbieren, andererseits aber möglichst dünn sein sollte, damit die Ladungsträger gut abfließen können. Nanostrukturen ermöglichen viele interessante Lösungen: Ein dünner „Teppich“ aus Nanostäbchen würde sowohl kurze Wege für die Ladungsträger bieten als auch ausreichende Strecken für die Lichtabsorption. Außerdem haben die „Teppichfasern“ eine enorm große Oberfläche, die sich mit Katalysatorpartikeln beschichten lässt. Dies würde die Ausbeute an Wasserstoff weiter erhöhen.

Als Ausgangsstoffe für Katalysatoren kommen künstlich hergestellte Einkristalle aus CuInS_2 (links oben), TaS_2 (links unten) oder PtS_2 (rechts) in Betracht. Forscher arbeiten nun aber auch mit weitaus günstigeren Materialien.





Die Herstellung von Proben aus neuartigen Materialsystemen erfordert Expertise in Chemie, Kristallzucht und Werkstoffwissenschaften.

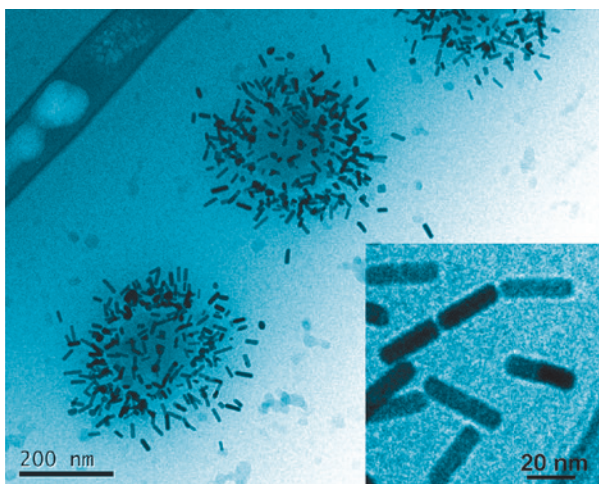
Neue Materialien für Katalysatoren

Neue optisch aktive Katalysatormaterialien können die Effizienz bei der Energieumwandlung enorm erhöhen. Da Platin-Katalysatoren sehr teuer sind, arbeiten HZB-Forscher an preiswerteren Alternativen, die eine besonders große „aktive Oberfläche“ besitzen. Dies lässt sich zum Beispiel mit **katalytisch aktiven Nanopartikeln** erreichen, die in ein Trägermaterial eingebettet sind.

Die Chemikerin Dr. Yan Lu aus dem HZB-Institut für „Weiche Materie und Funktionale Materialien“ arbeitet daran, solche Nanopartikel mit maßgeschneiderten optischen Eigenschaften zu synthetisieren. Ihre Nanopartikel besitzen einen winzigen Kern aus Gold, der von einer oder sogar mehreren Schalen aus Metalloxid-Teilchen umgeben ist. Dabei „erntet“ der Goldkern die elektromagnetische Energie des Lichts und setzt sie ein, um unerwünschte Prozesse zu bremsen.

Inzwischen gelingt es Lu und ihren Kollegen, Nanopartikel mit unterschiedlichen Eigenschaften gezielt herzustellen. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Gestalt der Metalloxid-Partikel um den Goldkern herum: Sie können kugelartig oder länglich sein und auch unterschiedlich dicht am Goldkern anliegen. Am Röntgenmikroskop von BESSY II untersuchen sie die Struktur der Partikel und messen mit spektroskopischen Methoden ihre optischen und elektronischen Eigenschaften.

Diese Nanopartikel bestehen aus Nanostäbchen aus Gold, die in einer Schale aus thermosensitivem Polystyrol immobilisiert sind.





Mitarbeiter prüfen eine neue Beschichtung an der Sputteranlage des PVcomB.

PVcomB – IMMER EINEN SCHRITT VORAUS

In der Photovoltaikforschung ist das PVcomB eine Verbindungsstelle zwischen Grundlagenforschung und wirtschaftlicher Anwendung: Erkenntnisse aus Forschungseinrichtungen wie dem HZB, der Technischen Universität Berlin oder der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) sollen hier so weiterentwickelt werden, dass die Technologien anwendungsreif werden.

Das PVcomB muss dabei immer einen Schritt voraus sein und heute schon an den Themen arbeiten, die in der Zukunft für die Industrie relevant werden. Das gilt zum Beispiel für die Effizienz, mit der Solarzellen Licht in Strom umwandeln. Weltweit arbeiten Labore daran, die Wirkungsgrade zu steigern. Die Konkurrenz ist in diesem Feld groß, weshalb das PVcomB ganz neue Wege beschreitet. Die Beschichtungen der Solarzellen sind im Augenblick noch dünne, zweidimensionale Filme. Am PVcomB entwickeln Forscher **Technologien, mit denen man die Schichten gezielt und gesteuert wachsen lassen kann**, so dass sie dreidimensionale Gebilde werden, so wie jetzt auch schon am HZB in der Grundlagenforschung.

Wichtig ist zudem die Systemoptimierung: Solarzellen darf man nicht nur für sich betrachten – sie werden von äußeren Faktoren beeinflusst und haben andersherum auch Auswirkungen auf diese. Deshalb widmet sich das PVcomB auch der Bedeutung von Solarzellen in Systemen – um daraus Rückschlüsse für die Dünnschicht-Photovoltaik der Zukunft zu ziehen.



www.pvcomb.de

Das PVcomB:

- unterstützt Industriepartner beim Aufbau neuer Produktionslinien
- entwickelt industrielle Prozesse weiter
- erforscht neue, vielversprechende Hoch-Risiko-Konzepte
- transferiert Ergebnisse aus der Grundlagenforschung und überträgt sie auf die PVcomB-Standardgröße von 30 x 30 cm²
- betreibt eigene Referenzlinien als Benchmark für Prozesskontrollen
- stimmt gemeinsam mit den Hochschulen die Lehrangebote auf die Forschung und Anwendung ab
- baut Lehrstühle auf, die sich an den Bedürfnissen der Praxis orientieren



Schüler während eines Experiments im Schülerlabor (links) und ein junger Forscher bei der Kontrolle eines Versuchsaufbaus.

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

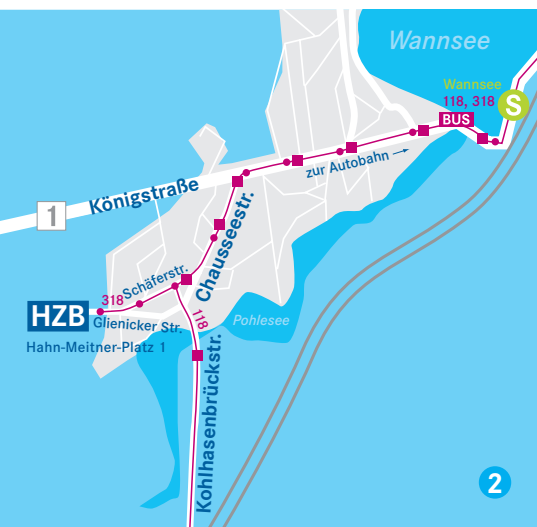
Das HZB arbeitet eng mit den Berliner und Brandenburger Universitäten und Hochschulen zusammen. Viele der leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler lehren dort und betreuen Studenten bei ihren Abschlussarbeiten. Jedes Jahr findet im HZB ein zehntägiger Kurs zur Neutronenstreuung statt. Eine 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.

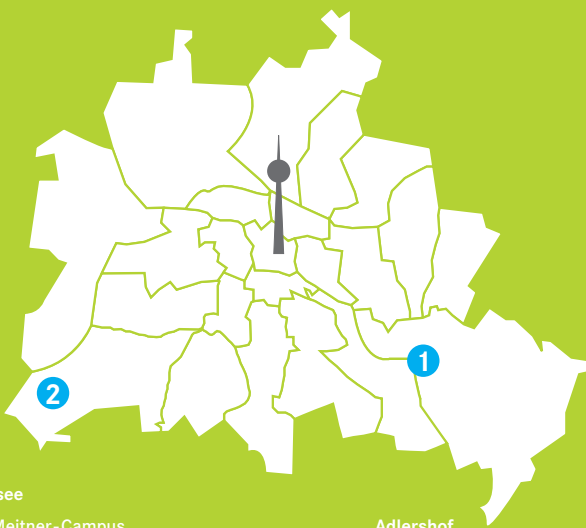
Wissenschaft zum Anfassen

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

PVcomB
Schwarzschildstraße 3
12489 Berlin
Tel +49 30 8062-0
Fax +49 30 8062-15677

Bildnachweise

© HZB • S. 3: Detlef Janke • S. 5 oben links und unten: Fotolia • S. 7: Bernhard Schurian • S. 11: Dirk Butenschön • S. 12: Gerhard und Marion Bertling • S. 15 unten: Peter Witt • S. 16 oben: Frank Steinmann

**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

