



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

für den vorliegenden Jahresbericht 2014 des Instituts für Experimentelle Physik steht mein herzlicher Dank für die durch alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in diesem Jahr geleistete Arbeit an erster Stelle. Auf die durch sie in den Bereichen Lehre und Forschung erneut mit deutlich sichtbarem Erfolg geleistete Arbeit und das damit verbundene Ansehen des Instituts bin ich sehr stolz. Dabei ist jeder individuelle Beitrag wichtig.

Auch das Jahr 2014 brachte personelle Zuwächse und Veränderungen. Exemplarisch herausheben möchte ich zum einen die Berufung von Dr. Roman Gumeniuk zum Juniorprofessor für Kristallphysik. Ich gehe davon aus, dass sein Start und die weitere Arbeit auf der Grundlage der bisher aufgebauten Infrastruktur und der kooperativen Kultur des Instituts erfolgreich verlaufen werden. Dazu meine guten Wünsche. Zum anderen konnte Frau Dr. Anastasia Vyalikh, die im April 2014 an das Institut kam, ihr Kooperationsnetzwerk mit dem unsrigen in ausgezeichneter Form zusammenführen. So war die Bewilligung des Verbundprojektes „Synchrotron- und Neutronen-basierte Untersuchungen zur Energiespeicherung“ ein besonderer Glanzpunkt des Jahres. Im Ergebnis koordiniert unser Institut nun im Förderzeitraum der Jahre 2014–2017 als Teil des russisch-deutschen „Ioffe-Röntgen-Instituts“ (IRI) ein Verbundvorhaben im Bereich der Energiespeichertechnologien. Beteiligt sind drei deutsche und drei russische Partner mit ausgezeichneter Reputation. IRI-Partner unseres Instituts sind nun im

Rahmen des Vorhabens auf deutscher Seite das Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin und das Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim. Auf russischer Seite sind die *Lomonosov Moscow State University*, das *Joint Institute for Nuclear Research* in Dubna und das *Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry* in Novosibirsk beteiligt. In dem Vorhaben sehe ich zugleich eine weitere Bestätigung unserer methodischen Schwerpunktsetzung hinsichtlich der Nutzung internationaler Großforschungsanlagen und der Beteiligung an deren Betrieb und Ausbau.

Ein zusätzlicher Meilenstein war die Aufnahme der TU Bergakademie Freiberg, ausführend durch unser Institut, als gleichberechtigte Partnerin des „Russisch-Deutschen Labors“ (RDL), einer einzigartigen Kooperationseinrichtung an der Photonquelle BESSY II des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialforschung (HZB) im Mai dieses Jahres. Nach der erfolgreichen Anbahnung wird unser Prof. Serguei Molodtsov persönlich die Arbeiten koordinieren. Hierbei freue ich mich besonders in meiner aktuellen Personalunion als Prorektor und Institutsdirektor: Die gesamte Universität gewinnt einzigartige experimentelle Möglichkeiten hinzu und kann ihr internationales Netzwerk erweitern. Zugleich ergeben sich für unser Institut im Besonderen weitere spannende Optionen. Aus dem gegebenen Anlass tagte auch der Lenkungsausschuss des RDL im Jahr 2014 erstmalig an der Bergakademie. Eigene Messkampagnen führten uns und auch insge-

samt 25 Studierende verschiedener Fachrichtungen im Rahmen einer Exkursion wieder an das DESY und zum XFEL nach Hamburg sowie zum BESSY II nach Berlin-Adlershof. Ab dem Sommersemester 2015 bietet Prof. Molodtsov das regelmäßig als Blockveranstaltung am DESY verankerte Modul „Materialforschung mit Freie-Elektronen-Röntgenlasern“ für die Studierenden der Bergakademie an.

Ebenso erfreut bin ich über die Entwicklung der Professur „Biomining und Extreme Biomimetik“ von Prof. Hermann Ehrlich sowie deren gelungene Integration in das Institut. Inzwischen bereichert Prof. Ehrlich auch durch das Modul „*Biomining*“ die Ausbildung im Masterbereich. Anknüpfend an das erfolgreiche Jahr 2013 folgten in diesem Jahr 12 Veröffentlichungen in renommierten Zeitschriften, darunter ein Reviewartikel sowie erneut eine Veröffentlichung in *Nature Scientific Reports*; in diesem Jahr über die Entdeckung eines Korallenriffes im Irak. Im Dezember dieses Jahres erschien die zweite Monographie von Prof. Ehrlich mit dem Titel „*Biological Materials of Marine Origin: Vertebrates*“ im Springer-Verlag. Ferner erhalten zwei junge Nachwuchswissenschaftler, gefördert durch das EXIST-Gründerstipendium des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und beraten vom SAXEED-Gründernetzwerk, eine einzigartige Chance. Dadurch erhielten sie die Möglichkeit zur Erforschung und Vermarktung neuer Substanzen aus Extrakten des marinen Schwammes *Aplysina aerophoba*.

Unser Institut ist nun auch Teil des Verbundvorhabens „*Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany*“ (HYPOS). Dieses Projekt ist eines von zehn der neuen Bundesländer, welches im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird. Das Programm Zwanzig20 zielt darauf, dem Innovationsprozess in den neuen Bundesländern durch die Unterstützung überregionaler und interdisziplinärer Kooperationen zusätzliche Impulse zu verleihen. Ich freue mich, unser Institut in HYPOS bereits zu Beginn als einer von vier Wissenschaftlern des Initialkonsortiums eingebracht zu haben. Heute ziele ich nach der er-

folgreichen Antragstellung auch darauf, die Wahrnehmung meiner Aufgaben in HYPOS als Regionalverantwortlicher für Sachsen und Verantwortlicher für ein Querschnittsthema zu regeln. Die gerahmten Ernennungsurkunden in meinem Büro mahnen mich, hier kreativ zu sein und die richtige Balance zu finden. HYPOS kombiniert inzwischen die Kompetenzen lokaler Größen aus Energiewirtschaft, Chemie, Anlagenbau mit den Potenzialen von klein- und mittelständischen Unternehmen sowie der Expertise verschiedener Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Nach dem derzeitigen Stand werden wir auch zu einem breiten Forschungsthema mit wichtigen Industriepartnern gefragt sein, was uns zugleich weitere Spielräume für unsere Qualifizierungs- und Forschungsziele eröffnet.

Das Jahr 2014 sah auch die Evaluation des Virtuellen Instituts MEMRIOX der Helmholtz-Gemeinschaft vor. Ich freue mich sehr, dass das Gesamtvorhaben und unsere Beteiligung unter Koordination von Dr. Barbara Abendroth Anerkennung der Gutachter fanden. Damit kann das ausgezeichnete Netzwerk nun in einer weiteren Runde zusätzliche, international sichtbare wissenschaftliche Achtungszeichen generieren. Meine persönlichen Bemühungen – hier noch einmal in der oben erwähnten aktuellen Personalunion – zielen auf die Verstärkung des durch Dr. Barbara Abendroth geleiteten „Kompetenzzentrums Elektronikmaterialien“ auch über die Laufzeit der Förderung im Rahmen der Landesexzellenzinitiative ADDE, von der wir wohl sehr profitiert haben, hinaus. So freut es mich, dass der in vielen Verbundprojekten als Vordenker, Träger der Antragslast und Wissenschaftsmanager geschulte Dr. Tilmann Leisegang das durch ihn auf Grundlage seiner fachlichen Expertise gegründete „Kompetenzzentrum *N*-dimensionale Kristallographie und röntgenographische Elektronendichtebestimmung“ an unserem Institut inzwischen fest etabliert hat.

Hinsichtlich der exemplarischen Auswahl kann es keine Vollständigkeit und so auch Gerechtigkeit geben; alle können sich von nah oder fern z. B. über unsere Internetseite und den Jahresbericht 2013 einen umfassenden Überblick verschaffen. Dabei werden auch die besonders aktiven Autoren schnell

erkennbar. Für die vorher genannten Kommunikationen wie auch für die durch mich – das heißt unser Institut – herausgegebenen „Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie“ tritt Dr. Hartmut Stöcker regelmäßig und intensiv in die Verantwortung; auch dafür bin ich ihm sehr dankbar.

Das beachtliche Wachstum des Instituts erfolgte in den vergangenen Jahren unter Leitung eines „Prorektors im Nebenamt“: Auf jeden Fall ist dadurch eine eingeschränkte Vorort-Präsenz nahegelegt. Heute kann ich resümieren, dass es eine gute Entscheidung war, Dr. Claudia Funke die Prokura für den laufenden Betrieb zu übertragen. Nach der Erweiterung des Instituts im vergangenen Jahr – wir haben statt (traditionell) zwei nun vier Professuren – sowie zahlreiche Forschungsprojekte und natürlich Studierende – unsere Bedarfsträger an erster Stelle – gibt es im Sekretariat des Instituts außerordentlich viel zu tun: Stefanie Schlesinger hat das wieder exzellent erledigt. Alle Institutsangehörigen haben die zahlreichen wissenschaftlichen Leistungen auf unserer Haben-Seite inspiriert, unterstützt und vielfach erst ermöglicht. Auch die erfreuliche Vielfalt und die Auswirkungen des Lebens außerhalb der Institutsarbeit im engeren Sinne sind zu meistern; dass dies ganz überwiegend zu meiner Freude geschieht, will effizient organisiert sein und verdient meine ausdrückliche Anerkennung.

Unsere erste Aufgabe ist die Ausbildung von Studierenden und somit zukünftigen Fachkräften. Unser Institut trägt unter Leitung von Dr. Hartmut Bergelt die Verantwortung für die physikalische Praktikumsausbildung der gesamten Bergakademie. Die Wahrnehmung geschieht ohne Kassandraruhe und in konstant hoher Qualität: Prima. Wir haben uns auch gefragt, warum uns derzeit weniger Studienanfänger erreichen. Während ich um die vielfältigen Aktivitäten zur einschlägigen Akquise wusste, hat mich eine Gesamtschau der Angebote unseres Instituts für Abiturienten etc. stark beeindruckt. Faktisch im Wochenrhythmus offerieren wir Vorträge, Praktikumsangebote und weitere Möglichkeiten für die Annäherung an ein Studium in unserem Bereich. Vor dem Hintergrund gesamtgesellschaftlicher Prä-

gungen unternehmen wir damit wohl insgesamt nahezu das Bestmögliche.

Unsere gemeinsamen Anstrengungen für die Bereitstellung der erforderlichen Drittmittel haben uns die infrastrukturellen und personellen Möglichkeiten für die umfassende fachliche Ausarbeitung etablierter und neuer Themenfelder gegeben. Allein durch die Angehörigen meiner Professur wurden in diesem Jahr ca. 800 Tausend Euro neu eingeworben, weitere eingereichte Projektanträge unterliegen noch der Begutachtung. Unser Institut hat im Jahr 2014 insgesamt 2,17 Millionen Euro an Drittmitteln für Personal- und Infrastrukturentwicklung umgesetzt: Ein Achtungszeichen innerhalb der Bergakademie. Nach dem erfolgten Umbau des Zentralen Reinraumlabor konnten auch unsere diesbezüglichen Aktivitäten nun in umfassender Weise wirksam werden.

Die Ergebnisse unserer Bemühungen in den Bereichen Lehre und Forschung halten den hohen Erwartungen der Drittmittelgeber nach meiner Einschätzung stand; hier denke ich an die Anzahl der Abschlüsse in vielfältigen Stufen der fachlich-wissenschaftlichen Qualifikation (4 Promotionen, 1 Masterabschluss, 1 Diplomabschluss, 2 Bachelorabschlüsse, 3 Abschlüsse forschungsbezogener Projektseminare und 3 Abschlüsse problemorientierter Projektarbeiten). Das Resultat unserer, im Gesamtzusammenhang erreichten Fortschritte wurde im Jahr 2014 in ca. 30 Publikationen in international referierten Fachzeitschriften und 2 Patentanmeldungen gefasst. Hinsichtlich der wissenschaftlichen Expertise möchte ich nun gar nicht auf die Nennung Einzelner zielen. Dies insbesondere, da Wissenschaft nach meiner Auffassung grundsätzlich der Kooperation folgt. Wir diskutieren von der Bergakademie aus mit internationalen Spitzengruppen auf Augenhöhe; auch darauf bin ich stolz.

Und: Besonders wichtig sind Partner. Strategische Wegbegleiter unseres Instituts sind u. a. das Fraunhofer THM, das Fraunhofer IWS, das Kurt-Schwabe-Institut Meinsberg oder die GMBU Rossendorf sowie das Hemholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

Unser Institutsleben ist glücklicherweise sehr reichhaltig und dynamisch. Entsprechend konnte ich bei den hier gegebenen Beispielen nicht alles erfassen oder übersah manches. Dafür bitte ich um Nachsicht. Da ich weiß, in welchem Maße die Erfolge Einzelner aus unserem Kreis, etwa bei Graduierungen und Auszeichnungen als Beleg für unsere gemeinsame Arbeit angenommen werden, bin ich aber zuversichtlich, beispielhaft berichtet zu haben.

Ich freue mich auf eine gute Zusammenarbeit im Jahr 2015 und schließe an dieser Stelle mit besten Grüßen und einem herzlichen Glückauf!



Institutsdirektor

Inhalt

Das Institut für Experimentelle Physik	6
Das Institut	7
Die Mitarbeiter des Instituts für Experimentelle Physik	8
Institutswandertag 2014	10
Geräte am Institut für Experimentelle Physik	11
Bearbeitete Probensysteme	14
Arbeitsgruppen	16
Arbeitsgruppe Prof. Dirk C. Meyer „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“	17
Arbeitsgruppe Prof. Hermann Ehrlich „Biomining und Extreme Biomimetik“	23
Arbeitsgruppe Prof. S. Molodtsov „Strukturforschung mit XFELs und Synchrotronstrahlung“	28
Arbeitsgruppe Jun.-Prof. Roman Gumenuik „Kristallphysik“	33
Arbeitsgruppe Prof. Hans-Joachim Möller „Photovoltaik“	36
Gast-Professor Ingo A. Schwirtlich „Photovoltaik: Modultechnik und Modulmaterialien“	37
Methodisches Kompetenzzentrum NCrystED	39
Methodisches Kompetenzzentrum Elektronikmaterialien	40
Projekte	44
BMBF-Verbundprojekt CryPhysConcept	45
BMBF-Verbundprojekt SyNeSteSia	48
BMU-Verbundprojekt BaSta – Batterie Stationär in Sachsen	50
<i>Chemical Crystallography Beamline</i> am DESY-Synchrotron Petra III	52
Deutsch-Russisches Labor: Lenkungsausschuss tagt an der Bergakademie	54
ESF-Nachwuchsforschergruppe PyroConvert	55
Freiberger Biohydrometallurgisches Zentrum für strategische Elemente – BHMZ	58
Mining-RoX – Intelligente Roboter im Bergwerk	60
Start der zweiten Projektphase des Virtuellen Instituts MEMRIOX	62
VIP-Vorhaben Pyro-Funk	63
Publikationen und Lehre	64
Publikationen	65
Konferenzbeiträge	68
Graduierungen und studentische Arbeiten	73
Angebotene Lehrmodule	74
Physikalisches Grundpraktikum	75
Kennenlernen des Lehr- und Forschungsangebots des DESY und <i>European XFEL</i> in Hamburg	76
Impressum	78

Das Institut für
Experimentelle Physik

Das Institut

Das Institut für Experimentelle Physik arbeitet an der Schnittstelle von Kristallographie und Festkörperphysik zur Entwicklung neuer und innovativer Funktionsmaterialien vorwiegend im Bereich der Energie- und Datenspeicher sowie der Bioanwendungen. Mehrere interdisziplinäre Arbeitsgruppen befassen sich für diese Substanzklassen mit der Synthese und der Aufklärung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen. Dazu beteiligt sich das Institut für Experimentelle Physik aktiv am Ausbau und Unterhalt des Zentralen Reinraumlabor der TU Bergakademie Freiberg und betreibt die Strukturaufklärung mittels Röntgenstrahlung mit besonderem methodischen Anspruch. Darüber hinaus ist das Institut in ein aktives Kooperationsumfeld eingebunden und hat enge Verbindungen zu internationalen Großforschungseinrichtungen (in Deutschland sind dies u. a. *European XFEL*, DESY und BESSY).

In der Geschichte der TU Bergakademie Freiberg spielte die Physik als solche zunächst eine untergeordnete Rolle. In den ersten Jahrzehnten wurde die physikalische Ausbildung von Mathematikern, Chemikern und Kristallographen mit abgedeckt. Erst im Jahre 1826 wurde eine von der Mathematik getrennte ordentliche Professur für Physik eingerichtet, auf die Ferdinand Reich berufen wurde. Berühmt wurde er durch seine Fallversuche im Drei-Brüder-Schacht bei Brand-Erbisdorf und, zusammen mit Hieronymus Theodor Richter, durch die Entdeckung



des chemischen Elements Indium. Außerdem sorgte er durch Beschaffung einer Kopie des Urmeters aus Paris für die Einführung des metrischen Systems in Sachsen.

Heimstätte der Physik in Freiberg war zunächst das Gebäude in der Silbermannstraße. Im Jahre 1956 wurde ein zweites physikalisches Institut eingerichtet, das mit den Vorlesungen zur Experimentalphysik und den seinerzeit „modernen“ Fachrichtungen wie Atom-, Kern- und Festkörperphysik betraut wurde. Es setzte damit die Tradition des im Jahr 1948 aufgelösten Radiuminstituts fort. Zusammen mit dem im Jahr 1940 geschaffenen Institut für Geophysik und dem im Jahr 1951 gegründeten Institut für Theoretische Physik gab es seitdem vier physikalische Institute an der Bergakademie. Im Jahr 2005 bezogen schließlich die drei in der Fakultät für Chemie und Physik angesiedelten Institute für Angewandte, Experimentelle und Theoretische Physik gemeinsam den sanierten Gellertbau in der Leipziger Straße 23 (siehe Bild).



Die Mitarbeiter des Instituts für Experimentelle Physik



von links oben nach rechts unten:

Dr. Vasilii Bazhenov, Prof. Dr. Hermann Ehrlich, Marco Herrmann, Iaroslav Petrenko, Anja Lehmann, Anton Nikolaev, Toni Köppe, Izabela Zglobicka, Alexey Rusakov, Thomas Köhler, André Ehrlich, Valentin Garbe, Emil Dieterich, Dr. Hartmut Stöcker, Ralph Strohmeyer, Rocco Liebschner, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Sabine Kaiser, Tina Weigel, Dr. Barbara Abendroth, Sabine Reußenweber, Dr. Tilmann Leisegang, Diana Karsch, Bianca Störr, Doreen Eger, Maximilian Sonntag, Falk Meutzner, Dr. Matthias Zschornak, Dr. Günter Gärtner, Alena Ratz, Stefanie Schlesinger, Dr. Hartmut Bergelt, Dr. Wolfram Münchgesang, Tina Nestler, Thomas Behm, Christoph Irmer, Dirk Prsa, Dr. Juliane Walter, Sven Jachalke, Mandy Koitzsch, Uta Fischer, Dr. Claudia Funke, Romy Rietzschel, Juliane Hanzig, Melanie Nentwich, Solveig Rentrop, Dr. Teresa Orellana Pérez.

Institut für Experimentelle Physik

Anschrift

Institut für Experimentelle Physik
TU Bergakademie Freiberg
Leipziger Straße 23
09596 Freiberg

Institutsdirektor

Prof. Dr. Dirk C. Meyer
Tel.: 03731 39 2860
dirk-carl.meyer@physik.tu-freiberg.de

Geschäftsführung

Dr. Claudia Funke
Tel.: 03731 39 2084
claudia.funke@physik.tu-freiberg.de

Sekretariat

Stefanie Schlesinger
Tel.: 03731 39 2892
Fax: 03731 39 4314
stefanie.schlesinger@physik.tu-freiberg.de

Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie

Prof. Dr. Dirk C. Meyer
Tel.: 03731 39 2860
dirk-carl.meyer@physik.tu-freiberg.de

Biomineralogie und Extreme Biomimetik

Prof. Dr. habil. Hermann Ehrlich
Tel.: 03731 39 2867
hermann.ehrlich@physik.tu-freiberg.de

Strukturforschung mit XFELs und Synchrotronstrahlung

Prof. Dr. Serguei Molodtsov
Tel.: 03731 39 2892
serguei.molodtsov@physik.tu-freiberg.de

Juniorprofessor Kristallphysik

Jun.-Prof. Dr. Roman Gumeniuk
Tel.: 03731 39 4268
roman.gumeniuk@physik.tu-freiberg.de

Kompetenzzentren

Kompetenzzentrum Elektronikmaterialien

Dr. Barbara Abendroth
Tel.: 03731 39 2773
barbara.abendroth@physik.tu-freiberg.de

Kompetenzzentrum NCrystED

Dr. Tilmann Leisegang
Tel.: 03731 419 6169
tilmann.leisegang@physik.tu-freiberg.de

Infrastruktur

Chemielabore

Thomas Behm
Tel.: 03731 39 3228
thomas.behm@physik.tu-freiberg.de

Elektronische Werkstatt

Patrick Zill
Tel.: 03731 39 2646
patrick.zill@physik.tu-freiberg.de

Mechanische Werkstatt

Christoph Imer
Tel.: 03731 39 2246
christoph.imer@physik.tu-freiberg.de

Gerätepools

Mikroskopie-Pool

Dr. Claudia Funke
Tel.: 03731 39 2084
claudia.funke@physik.tu-freiberg.de

Ofen-Pool

Dr. Hartmut Stöcker
Tel.: 03731 39 2773
hartmut.stoecker@physik.tu-freiberg.de

Spektroskopie-Pool

Dr. Günter Gärtner
Tel.: 03731 39 4087
gaertner@physik.tu-freiberg.de

Lehre

Physikalisches Praktikum

Dr. Hartmut Bergelt
Tel.: 03731 39 2861
hartmut.bergelt@physik.tu-freiberg.de

Vorlesungstechnik

Dipl.-Ing. Dirk Prsa
Tel.: 03731 39 2195
dirk.prsa@physik.tu-freiberg.de

Institutswandertag 2014

Ein kurzer Bericht: Am 30.09.2014 wanderten wir gemeinsam vom Bahnhof Freital-Hainsberg entlang des Rabenauer Grunds zur Talsperre Malter. Nach dem Mittagessen in der Gaststätte „Zum Ankerplatz“ fuhren wir mit der Schmalspurbahn entlang des Rabenauer Grundes zurück nach Freital.



Geräte am Institut für Experimentelle Physik

Beschichtungsanlagen

- Edwards Auto 306, thermischer Verdampfer
- Savannah S100, *Atomic Layer Deposition*
- Savannah S200, *Atomic Layer Deposition*
- Senntech, Ätzcluster

Elektrische Messplätze

- CAIC, *Current Analysis by Inductive Coils*
- Gamry Reference 600, Potentiostat
- Hall-Messplatz
- Keithley 4200, Vierspitzenmessplatz
- LBIC, *Laser Beam Induced Current*
- Oriel Sol1A, Sonnensimulator
- Polarisierungsaufbau im elektrischen Feld
- Pyroelektrischer Messplatz mit HV-Kammer
- Pyroelektrischer Messplatz mit UHV-Kammer
- Sinton WCT 120, Lebensdauermessung
- SPV, *Surface Photo Voltage*
- Vierpunkt-Messung im REM/FIB inkl. EBIC

Mechanische Probenbehandlung

- Struers Accutom-5, Präparationssäge
- Struers RotoPol-35, Poliermaschine
- Struers Secotom-10, Präparationssäge
- Zwicki 2.5, Zugmaschine

Mikroskope

- FEI Helios NanoLab 600i, Rasterelektronenmikroskop mit *Focussed Ion Beam*
- Jeol JSM 6400, Rasterelektronenmikroskop
- Keyence, Fluoreszenzmikroskop
- Leitz Ergolux AMC, Lichtmikroskop
- SIRM, *Scanning Infrared Microscopy*
- Zeiss AxioTech, Lichtmikroskop
- Zeiss Jenapol, Polarisationsmikroskop

Röntgendiffraktometer

- Bruker D8 Advance, Dünnschichtdiffraktometer
- Bruker D8 Advance, Pulverdiffraktometer
- Bruker D8 Discover, Hochauflösungsdiffraktometer mit Hochtemperaturkammer
- Bruker D8 Quest, Einkristalldiffraktometer
- Philips X'Pert PW1830, Dünnschichtgerät
- Seifert 3003TT, Pulverdiffraktometer

Spektroskopie

- Bruker IFS 113v, FTIR-Spektrometer
- Bruker S8 Tiger, wellenlängendispersives Röntgenfluoreszenzspektrometer
- Bruker Tensor 27, FTIR-Spektrometer
- Bruker Tensor 37, FTIR-Spektrometer
- EDX und 3D-EDX am FIB/REM
- Hiden HPR20, Massenspektrometer
- J. A. Woollam M2000 DI, Ellipsometer
- optischer Spektroskopie-Messplatz
- Thermo Fisher Escalab 250Xi, Röntgenphotoelektronenspektrometer

Temperaturbehandlung

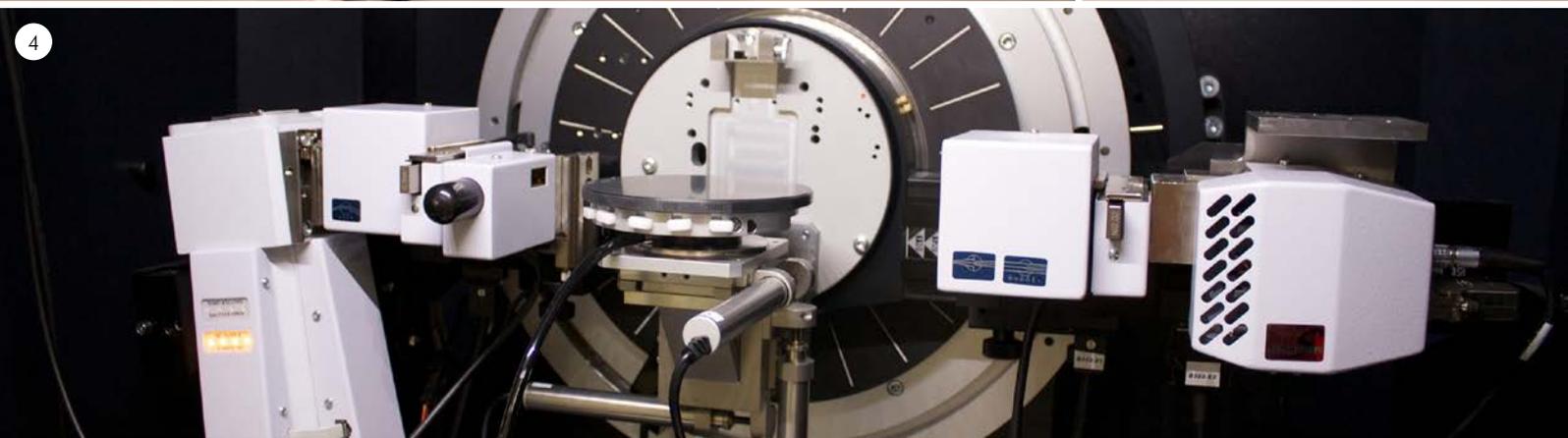
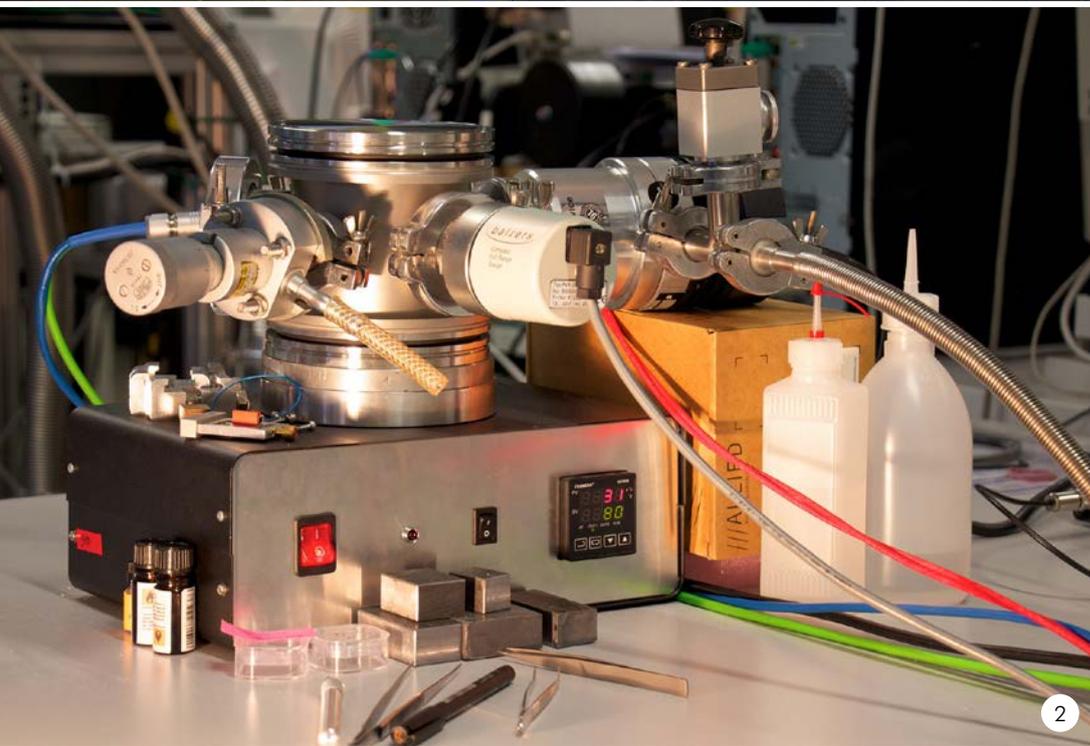
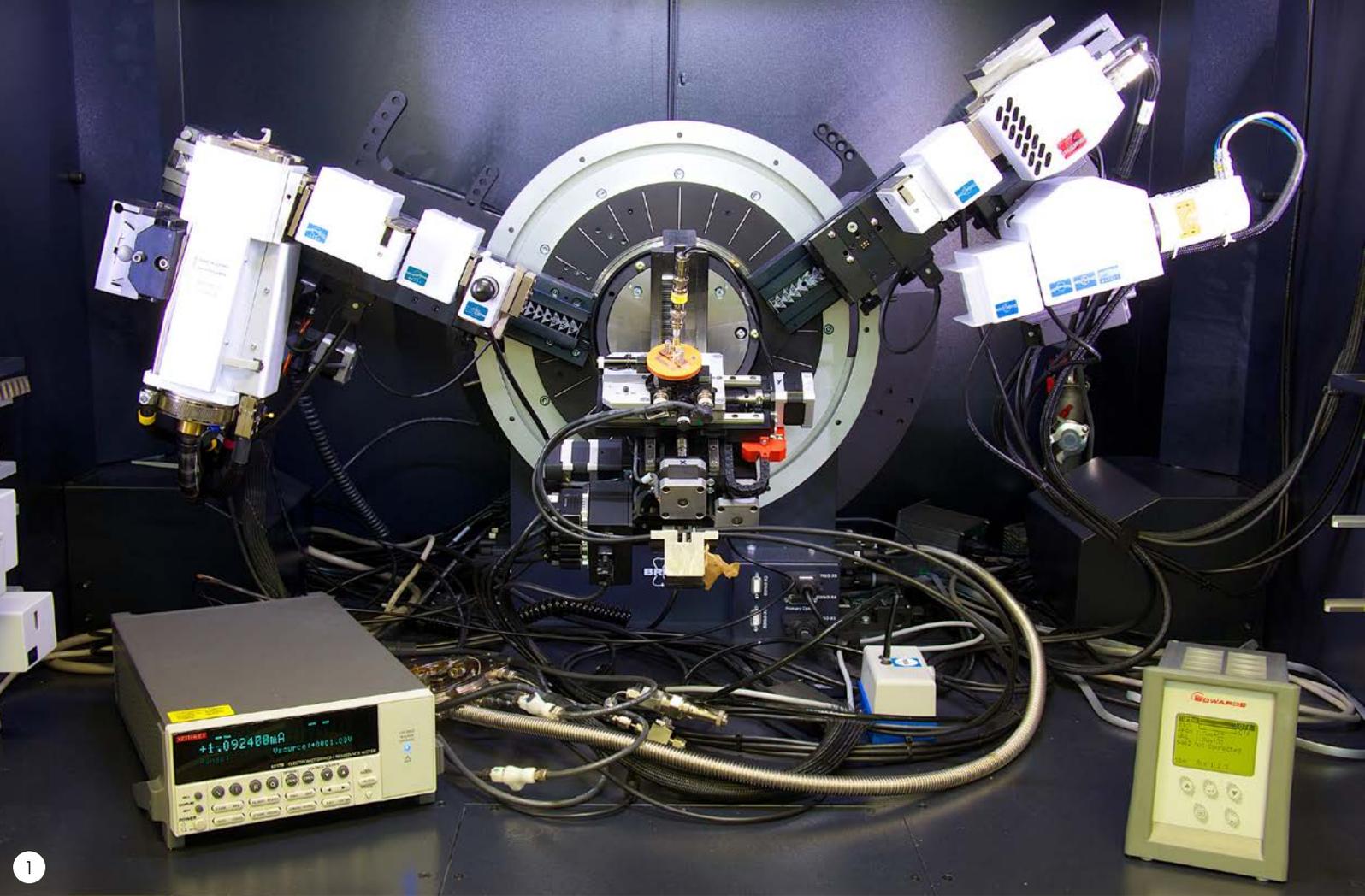
- Carbolite, Rohrofen bis 1200 °C
- Gero, Zehnzonenofen bis 1200 °C
- Heraeus, Rohrofen bis 1100 °C
- Leco FRH-80/200/1300, Rohrofen bis 1300 °C
- Xerion RO, Rohrofen bis 1100 °C
- Xerion Xtube, Dreizonenofen bis 1200 °C

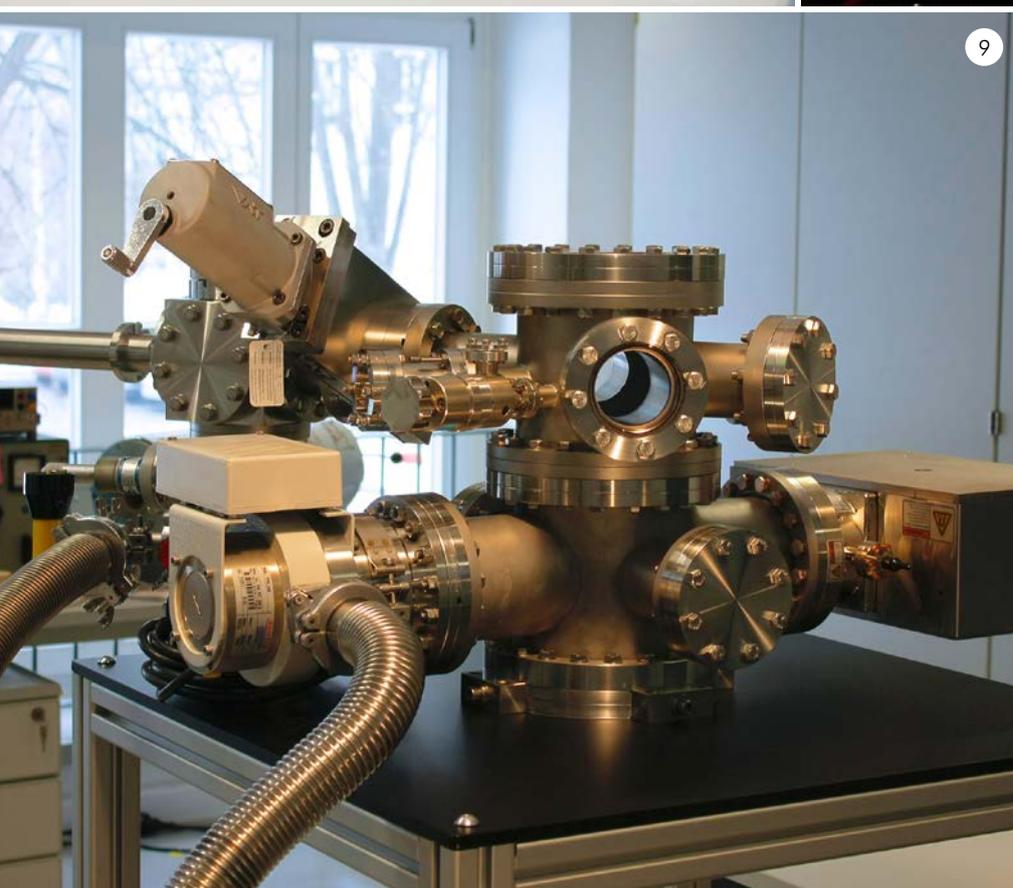
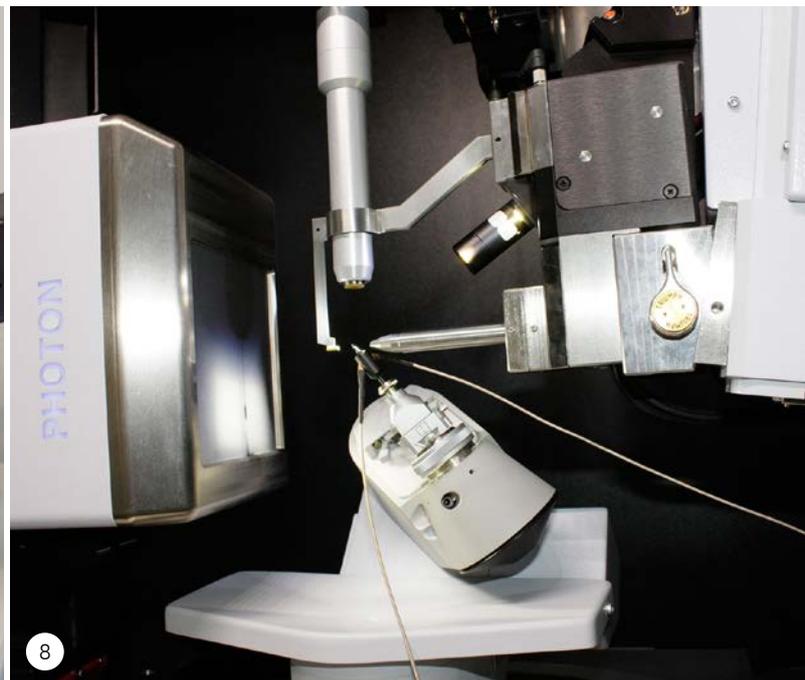
Topographie

- DI Dimension 3000, Rasterkraftmikroskop
- Olympus Lext, Konfokalmikroskop
- Polariskopie, Spannungstopographie
- Tencor, mechanisches Profilometer
- UBM Microfocus Expert, Lasertopograph
- Veeco Multimode V, Rasterkraftmikroskop

Bilder auf den nächsten Seiten:

- 1 Bruker D8 Discover, Hochauflösungsdiffraktometer
- 2 Pyroelektrischer Messplatz mit HV-Kammer
- 3 Polarisierungsaufbau im elektrischen Feld
- 4 Bruker D8 Advance, Dünnschichtdiffraktometer
- 5 DI Dimension 3000, Rasterkraftmikroskop
- 6 Olympus Lext, Konfokalmikroskop
- 7 J. A. Woollam M2000 DI, Ellipsometer
- 8 Bruker D8 Quest, Einkristalldiffraktometer
- 9 Pyroelektrischer Messplatz mit UHV-Kammer
- 10 Thermo Fisher Escalab 250Xi, Photoelektronenspektrometer





Bearbeitete Probensysteme

Verbindungshalbleiter

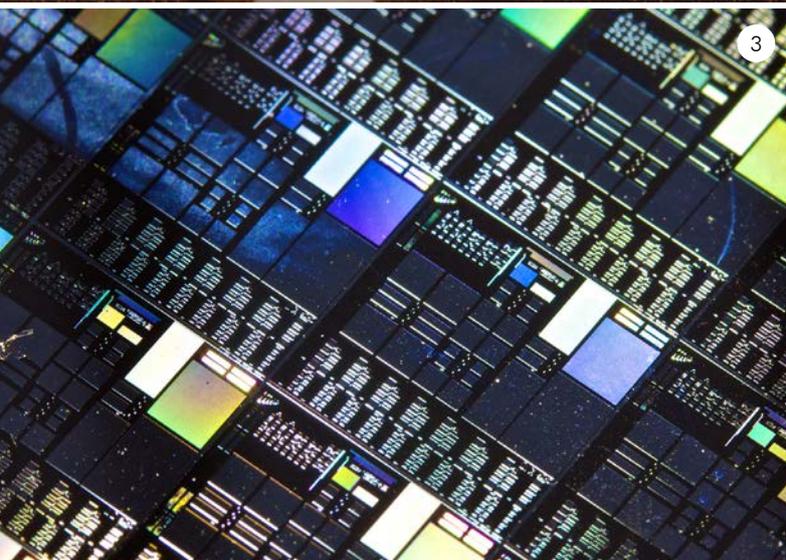
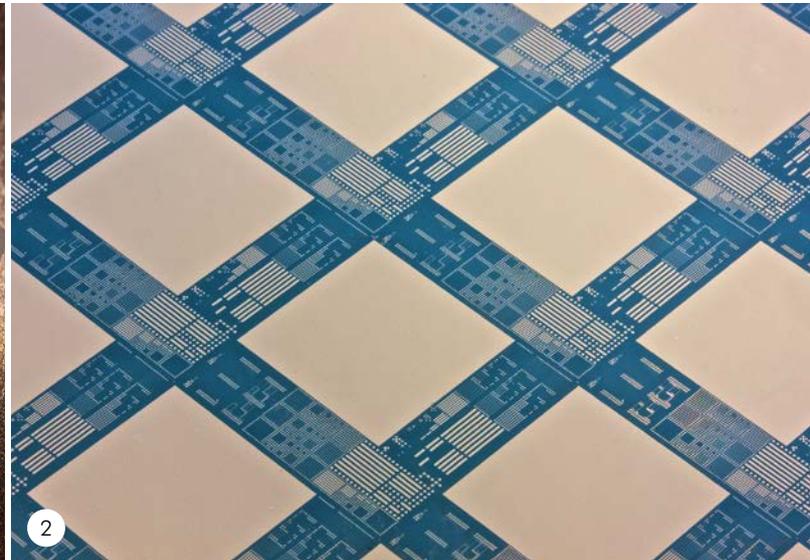
- oxidische Halbleiter (z. B. TiO_2 und SrTiO_3) in Form von Einkristallen oder dünnen Schichten
- Oxide in Perowskitstruktur und verwandte Strukturtypen (z. B. $\text{SrO}(\text{SrTiO}_3)_n$)
- modulierte Strukturen (z. B. $\text{YMn}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_5$ und HoPdSi_2)
- oxidische Pyroelektrika (z. B. BaTiO_3 , LiNbO_3 und LiTaO_3)
- neuartige Systeme für Kathoden, Anoden, Elektrolyte und Separatoren
- pyroelektrische Polymere (z. B. PVDF)
- Galliumnitrid (GaN)

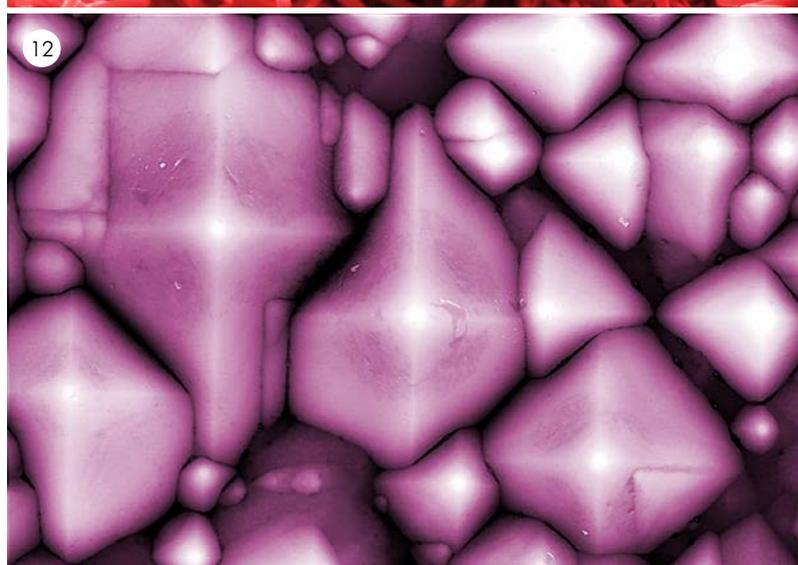
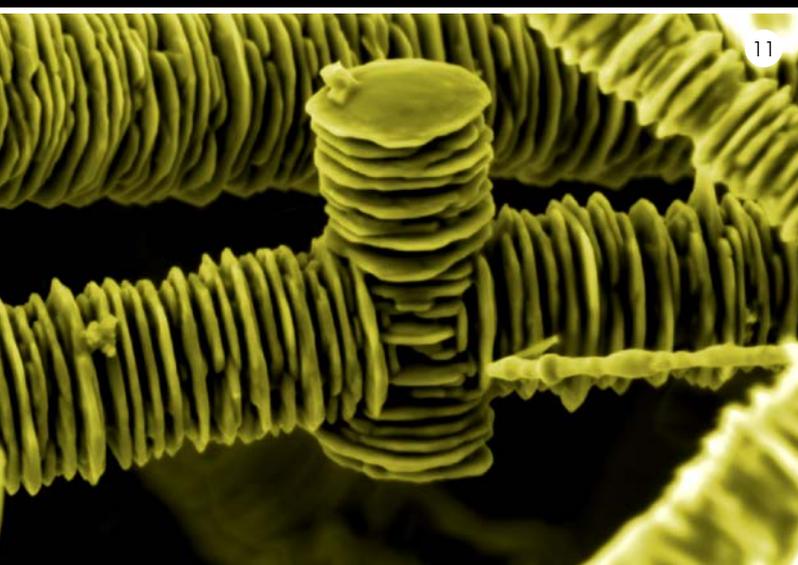
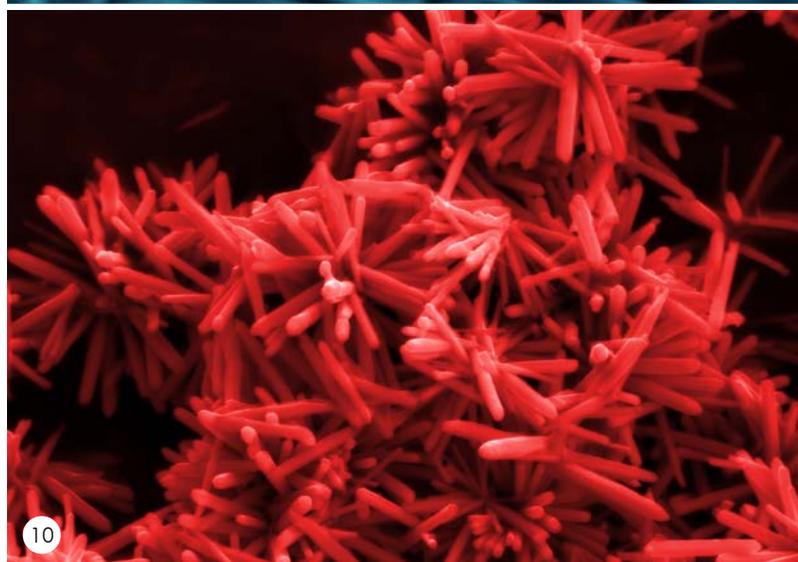
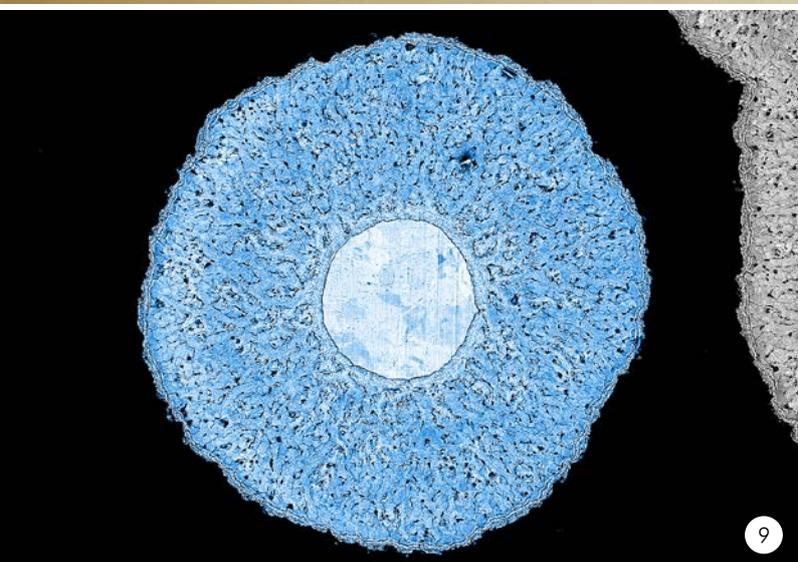
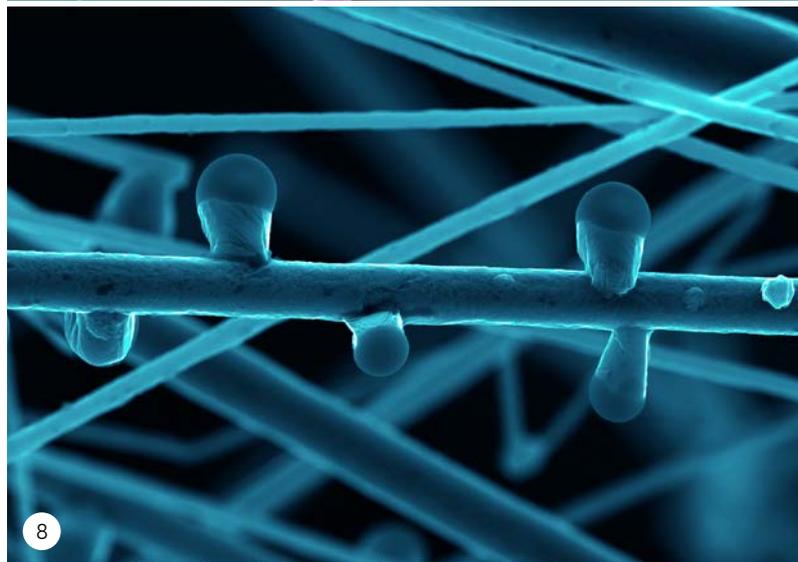
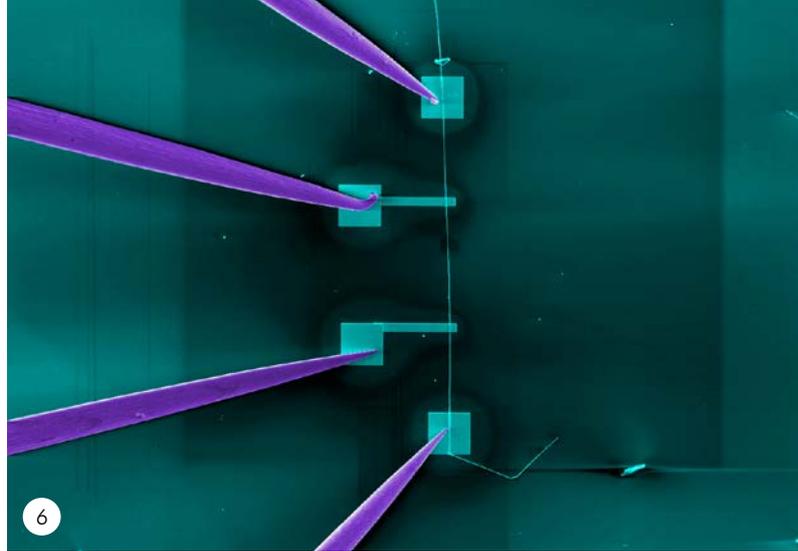
Biomaterialien

- Chitin in Verbindung mit anorganischen Oxiden
- Nanokristalline Materialien

Bilder auf den nächsten Seiten:

- 1 SrTiO_3 -Kristallstücke
- 2 Teststrukturen aus $\text{Pt-Nb}_2\text{O}_5\text{-Pt}$
- 3 SrTiO_3 -Teststrukturen
- 4 Beschichtetes Textil-Gewebe
- 5 Mehrere SiC-Nanowires
- 6 Vierspitzenmessung an einem einzelnen SiC-Nanowire
- 7 Nanoindent in Si
- 8 SiC-Nanowire mit angelagerten Kristalliten
- 9 Ni/NiSi-Schicht als Anode mit integriertem Stromkollektor
- 10 ZnO-Nanokristalle
- 11 Überwachener SiC-Nanowire
- 12 Oberflächentextur einer Solarzelle





Arbeitsgruppen

Arbeitsgruppe Prof. Dirk C. Meyer

„Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“

Die Zielsetzung der Arbeitsgruppe „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ folgt einem der wesentlichen Forschungsschwerpunkte der TU Bergakademie Freiberg und wurde hinsichtlich der zugeordneten Professur mit entsprechender thematischer Grundverankerung im Jahr 2009 durch Prof. Dirk C. Meyer neu besetzt. Für die Arbeit mit dem Schwerpunkt „Halbleitermaterialien“ steht als besondere Einheit seit dem Jahr 2008 das Zentrale Reinraumlabor der Bergakademie, das verschiedenen Arbeitsgruppen aus den Bereichen Physik, Elektronik- und Sensormaterialien, Chemie und Werkstoffwissenschaft eine hervorragende Infrastruktur bietet, zur Verfügung. Der seit der Übernahme der Professur vorangetriebene Ausbau der Infrastruktur des Instituts für Experimentelle Physik hinsichtlich röntgenbasierter Analytik sowie der Elektronenmikroskopie erlaubt eine umfassende Charakterisierung der im Reinraumlabor prozessierten Funktionselemente. Zusätzlich wurden Präparationsverfahren wie die Atomlagenabscheidung (ALD) etabliert. Die Arbeitsgruppe „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ ist aktuell vor allem durch ihre Forschung auf dem Gebiet der kristallphysikalischen Analyse und Modifizierung von Materialien und deren Eigenschaften, insbesondere von Kopplungsphänomenen für die Datenspeicherung und Energie- und Stoffwandlung, sichtbar.

Die Arbeitsgruppe von Prof. Dirk C. Meyer hat zurückliegend Halbleiter und Schichtsysteme für unterschiedliche Anwendungen mit strukturellem Akzent sowie hinsichtlich verschiedener Herstellungsprozesse bearbeitet. Zur Spektroskopie konnte auch umfassend methodisch – hier insbesondere unter Nutzung von Röntgenstrahlung – beigetragen werden. In der jüngeren Zeit haben oxidische Halbleiter sowie kristalline Materialien mit elektrisch polarer Achse einen besonderen Stellenwert der Arbeiten erlangt, wobei sich der Bogen von der Herstellung über die Modifizierung und Charakterisierung bis hin zu den Anwendungen erstreckt. Bezüglich der



Synthese, Charakterisierung und Modellierung bestehen intensive Kooperationen, u. a. mit mehreren Fraunhofer-Instituten in Sachsen, dem Kurt-Schwabe-Institut Meinsberg und dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf. In besonderem Umfang wird die Arbeitsgruppe für die Charakterisierung und die Beeinflussung der Strukturbildung auch zukünftig die Synchrotronstrahlung an Großforschungszentren nutzen, wozu aus der zurückliegenden Zeit umfangreiche Erfahrungen existieren. Aktuell besteht unter Entsendung eines Mitarbeiters eine Beteiligung am Aufbau eines neuen Strahlrohres am Synchrotron Petra III des DESY in Hamburg zur Einrichtung einer *Chemical Crystallography Beamline*. Methodisch liegt der Schwerpunkt dabei auf der Entwicklung einer elementspezifischen und atomlagensensitiven Variante der Röntgenspektroskopie.

Herkunft der Arbeitsgruppe

Prof. Dirk C. Meyer ist kristallographisch orientierter Festkörperphysiker. In seiner Promotion beschäftigte er sich mit der Struktur und den Anwendungen von Halbleitern und Nanometerschichtsystemen. Die Anwendungsbereiche lagen dabei vorwiegend in den Bereichen der Röntgenoptik und Sensorik sowie der Datenspeicherung. Enge Kooperationen, insbesondere im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereiches 422 „Strukturbildung und Eigenschaften in Grenzschichten“, des DFG-Sonderforschungsbereiches 463 „Seltenerd-Übergangsmetallverbindungen: Struktur, Magnetismus und Transport“ sowie der DFG-Forschergruppe 520 „Ferroische Funktionselemente: Physikalische Grundlagen und Konzepte“ kennzeichneten seine Arbeit und das Bestreben, jeweils entlang einer geschlossenen Kette,

ausgehend von der Synthese über die Kristallstruktur und Grenzflächenmorphologie bis hin zu den Eigenschaften und Anwendungen zu wirken.

Begleitend hat Prof. Dirk C. Meyer zur methodischen Entwicklung im Bereich der Röntgenanalysemethoden, hier insbesondere mit frühen Arbeiten zur quantitativen Ausarbeitung der Methode der *Diffraction anomalous fine structure* (DAFS) und der Kombination von *X-ray absorption fine structure* (XAFS) und *X-ray standing waves* (XSW) in einem Experiment, beigetragen. Diese Arbeiten wurden durch die Verleihung des Max-von-Laue-Preises der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie im Jahr 2004 gewürdigt. Hinzu kamen Beiträge zur Instrumentierung von Synchrotronexperimenten, wie die Entwicklung und der Bau spezifischer Halbleiterdetektoren und Arbeiten für die digitale Signalprozessierung zur Erweiterung des Dynamikbereichs dieser Systeme.

Während der Zeit als Leiter einer selbstständigen Nachwuchsgruppe und seiner Juniorprofessur für „Nanostrukturphysik“ baute Prof. Dirk C. Meyer an der TU Dresden eine Gruppe von insgesamt über 15 Diplomanden, Doktoranden und wissenschaftlichen Mitarbeitern auf. In den Bereichen Lehre und Forschung widmete er sich u. a. der Kristallographie und den Röntgenmethoden mit besonderer Intensität. Neben der Fortführung der methodischen Arbeiten unter Nutzung von Synchrotronstrahlung lag ein besonderer Arbeitsschwerpunkt auf Kopplungsphänomenen zwischen elektromagnetischen Feldern und der Kristallstruktur sowie deren Anwendungen für Funktionselemente. Aus diesen Vorarbeiten leitet sich auch der Zugang zu den heute im Fokus stehenden Fragestellungen ab.

Nach einjähriger Wahrnehmung einer Vertretungsprofessur für „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ am Institut für Experimentelle Physik der Bergakademie folgte Prof. Dirk C. Meyer im Jahr 2009 dem Ruf zur Übernahme dieser Professur. In diesem Zusammenhang entschied er sich gegen den Ruf einer anderen Universität sowie weitere Optionen. Thematisch stehen seither oxidische Verbindungshalbleiter bzw. Dielektrika, die häufig struktu-

relle Verwandtschaft zur Perowskitstruktur aufweisen, im Fokus, wobei die in dieser Materialklasse auftretenden Kopplungsphänomene besonders gewürdigt werden. Durch Einwerbung von Drittmitteln wurde die Infrastruktur der Arbeitsgruppe und des Instituts insbesondere im Hinblick auf die Synthese und Charakterisierung dünner Schichten stark ausgebaut. Die direkte Anbindung an das Zentrale Reinraumlabor der Bergakademie bildet eine ausgezeichnete Möglichkeit der Probenpräparation, die auch durch Investitionen von Seiten der Arbeitsgruppe erweitert wird. Als neue Methoden konnten auf diesem Wege die ALD und die Plasmaätzung im Reinraumlabor etabliert werden. Im Rahmen eines Großgeräteantrages wurden die Charakterisierungsmöglichkeiten der hergestellten Schichten um ein kombiniertes Rasterelektronenmikroskop mit Ionenstrahl (REM/FIB) erweitert.

Seit dem Jahr 2010 ist Prof. Dirk C. Meyer gleichzeitig Prorektor der Bergakademie sowie seit dem Jahr 2011 Direktor des Instituts für Experimentelle Physik. Prof. Dirk C. Meyer ist u. a. Leiter des BMBF-Verbundprojektes „CryPhysConcept“, das auf Grundlage der Kristallphysik Zukunftskonzepte für elektrochemische Energiespeicher entwickelt sowie Leiter der ESF-Nachwuchsforschergruppe „PyroConvert“, die auf die Bearbeitung pyroelektrischer Funktionsmaterialien für die Energie- und Stoffwandlung zielt. Seine bisherigen Arbeiten sind durch über 100 Publikationen in internationalen referierten Fachzeitschriften, Buchbeiträge sowie zahlreiche Patente und Patentanmeldungen dokumentiert. Im Juni des Jahres 2014 erschien der Band „*Review on Electrochemical Storage Materials and Technology*“ (*AIP Proceedings Vol. 1597*, Herausgeber Dirk C. Meyer und Tilmann Leisegang).

Aktuelle Forschung

Pyroelektrische Funktionsmaterialien

Pyroelektrizität beschreibt das Verhalten bestimmter Materialien, auf eine Temperaturvariation mit einer Änderung der Oberflächenladung zu reagieren. Diese Eigenschaft, die bisher vorwiegend in der Sensorik Anwendung findet, wird innerhalb der Ar-

beitsgruppe hinsichtlich verschiedener neuartiger technischer Lösungen untersucht. Die bei Temperaturänderung auftretenden elektrischen Felder werden dabei nicht als Mess-, sondern als Prozessgröße erfasst.

Nach Schätzungen unterschiedlicher Energieagenturen und Institutionen gehen heutzutage weltweit mehr als 50 % des für die technische Nutzung gewandelten Energieaufkommens in Form von Abwärme verloren. Die anfallende Abwärme liegt dabei insbesondere im Niedertemperaturbereich und damit als ungenutzte thermische Energie vor. Die ESF-Nachwuchsforscherguppe „PyroConvert“ hat das Ziel, diese Abwärme nutzbar zu machen. Im Fokus der Arbeiten stehen die wissenschaftliche Untersuchung, Entwicklung und technische Erprobung innovativer Ansätze zur Nutzung von Niedertemperaturabwärme für Energie- und Stoffwandlungsprozesse durch Anwendung neuartiger pyroelektrischer Funktionsmaterialien.

Innerhalb des VIP-Vorhabens „Pyro-Funk“ wird zusammen mit dem Institut für Werkstoffwissenschaft der TU Dresden eine neuartige Beschichtung auf der Basis pyroelektrischer Materialien entwickelt. In ihrem grundsätzlichen Aufbau ist diese gleichermaßen geeignet, antibakteriell zu wirken und Oberflächen eisfrei zu halten. Die Beschichtungssysteme können zur Desinfektion von häufig kontaktierten Oberflächen und zum Schutz vereisungsgefährdeter Bauteile genutzt werden.

Die Herausforderung bei der Charakterisierung pyroelektrischer Materialien besteht in der Bereitstellung hoher Feldstärken und der gleichzeitigen Vermeidung von Durchschlägen sowie der Separation von pyroelektrischen und thermisch induzierten Beiträgen zum gemessenen Gesamtstrom. Der dafür realisierte Präzisionsmessaufbau erlaubt die temperaturabhängige Charakterisierung von Materialien unter hohen Feldstärken und wird daher auch für Stress-Tests weiterer Funktionselemente eingesetzt.

Neuartige Energiespeichermaterialien

Elektrochemische Energiespeicher sind, neben ihrer Bedeutung für die Elektromobilität, insbesondere für

den Ausbau dezentraler stationärer Anwendungen im Zusammenhang mit regenerativer Stromerzeugung unerlässlich. Dies betrifft neben der Gewährleistung der Netzstabilität besonders den Ausbau regional autarker Energieversorgung. Es ist daher ein übergeordnetes Ziel der Arbeitsgruppe, einen Beitrag zur verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energieträgern zu leisten sowie eine Erweiterung und Verbesserung des grundlegenden Verständnisses zur thermischen, elektrischen und stofflichen Speicherung von Energie zu erreichen.

Das BMBF-Verbundprojekt „CryPhysConcept“ zielt auf die Entwicklung eines Zukunftskonzepts für elektrochemische Energiespeicher sowie dessen Umsetzung und Heranführung an den Markt. Dabei stehen moderne Methoden der Kristallographie, der Kristallchemie und der kristallphysikalischen Struktur- und Eigenschaftsvorhersage sowie der Präparation und Analyse im Zentrum der Arbeiten.

Forschungsschwerpunkte des 3-jährigen Projektes BaSta „Batterie: Stationär in Sachsen“ sind Materialien für die Niedrigtemperatur-Natrium-Schwefelbatterie und die dazu gehörigen Fertigungstechnologien sowie der Entwurf, der prototypische Aufbau und die experimentelle Erprobung von Natrium-Schwefel-Speichermodulen für hochkapazitive Batterie-Speicherwerke. Das Gemeinschaftsprojekt von Bergakademie, Fraunhofer THM Freiberg und Fraunhofer IWS Dresden wird vom BMBF finanziert. Mit Abschluss des Projekts soll ein neuer stationärer Batterietyp zur Speicherung elektrischer Energie entstehen. Durch sein großes spezifisches Speichervermögen, seine hohe Sicherheit und Lebensdauer sowie vertretbare Kosten soll er die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende in Deutschland verbessern helfen. Gleichzeitig kommen ausreichend vorhandene Rohstoffe wie Natrium und Schwefel zum Einsatz.

Als Teil des deutsch-russischen Ioffe-Röntgen-Instituts treibt die Arbeitsgruppe auf methodischer Seite die Entwicklung der Energiespeichertechnologien von morgen voran. Im wissenschaftlichen Fokus des von ihr koordinierten Verbundprojekts SYNESTESIA „Synchrotron- und Neutronen-basierte Untersu-

chungen zur Energiespeicherung“ liegt die Entwicklung neuartiger Charakterisierungsmethoden, die auf dem Einsatz von Großgeräten wie Neutronenquellen und Elektronenspeicherringen basieren. Vorrangiges Ziel ist die Aufklärung chemischer Prozesse und von Strukturveränderungen an Grenzflächen während elektrochemischer Vorgänge. Dafür werden elektrochemische Zellen entwickelt, welche die Bestimmung der Strukturen an der Grenzfläche sowie jene metastabiler und reaktiver Phasen ermöglichen. Diese Zellen werden dann unter anderem für die Charakterisierung mittels Nuklearer-Magnetresonanz-(NMR)-Spektroskopie und Röntgenanalytik (Bergakademie) und an den beschleunigerbasierten Photonenquellen (u. a. BESSY II) und Neutronenquellen eingesetzt, um die entscheidenden Prozesse in Brennstoffzellen und Batterien zu untersuchen. Der Einsatz der komplementären Methoden wird ein tieferes Verständnis der Prozesse an elektrochemischen Grenzflächen ermöglichen, da neuartige Informationen über deren Struktur, die Ionenmobilität und den elektronischen Zustand zu erwarten sind.

Strukturelle Modifizierung von Dielektrika

In der Arbeitsgruppe „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ wird seit geraumer Zeit an Oxiden in Perowskitstruktur und damit verwandten Strukturtypen gearbeitet. Aus der Untersuchung verschiedener Syntheseverfahren, der gezielten Einstellung und Aktivierung von Oberflächen und anschließender struktureller Modifizierung ergibt sich ein immer noch rasch breiter werdendes Forschungsfeld.

Generell besteht für diese Systeme eine ausgesprochen starke Korrelation zwischen dem kristallinen Phasenbestand, den Realstrukturparametern, der Grenzflächenstruktur und den elektronischen Eigenschaften. Hierbei ist durch Kontrolle der Defekte in unterschiedlichen Dimensionen ein direktes Design der elektronischen Eigenschaften möglich. Diese können bei gezielter Steuerung durch externe Felder auch schaltbar verändert werden. Für die Oxide haben Sauerstoffleerstellen als intrinsische Dotierzentren eine große Bedeutung. Infolge ihrer Ladung können sie im umgebenden Kristallgitter durch Anlegen elektrischer Felder kontrolliert bewegt werden.

Die Schichtherstellung erfolgt vorwiegend auf atomarer Skala kontrolliert mittels ALD sowie chemischer und physikalischer Gasphasenabscheidung (CVD, PVD). Vergleiche zur Sol-Gel-Synthese und anderen nasschemischen Routen werden angestellt. Einen wichtigen Aspekt stellt jeweils das Studium des Kristallisationsvorgangs dar, der entweder während der Herstellung durch Wahl geeigneter Prozessparameter oder nachgelagert durch weitere Prozessschritte (z. B. Temperaturbehandlung, Ionenimplantation) im thermodynamischen Gleichgewicht oder abseits davon erfolgen kann.

Das Virtuelle Institut „MEMRIOX“ ist eine von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderte Forschungsinitiative auf dem Gebiet Ionenstrahl-modifizierter, sogenannter memristiver Funktionselemente auf der Basis von Oxiden. Memristive Elemente sind passive Bauelemente, deren elektrischer Widerstand von der Vorgeschichte abhängt (englisch *Memristance* = *Memory* + *Resistance*). Nanoskalige memristive Schalter könnten sich in Zukunft als ultimative nichtflüchtige Speicherzellen erweisen, deren Widerstand direkt durch einen elektrischen Strom geschaltet wird. Wissenschaftlich soll das Virtuelle Institut zur Intensivierung der Forschung jenseits der etablierten lagenweisen Kontrolle der natürlichen Defekte bei der Synthese memristiver Bauelemente beitragen. Dafür wird ein breites Spektrum an Ionenstrahl-Techniken genutzt, um die Struktur kleinster ein- und zweidimensionaler Bereiche mit hoher räumlicher Genauigkeit zu modifizieren. Die Ionenimplantation erlaubt auf diesem Wege die gezielte Herstellung resistiver Speicher ohne das Erfordernis einer elektrischen Formierung. Das Teilprojekt der Arbeitsgruppe „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ beschäftigt sich im Rahmen von „MEMRIOX“ schwerpunktmäßig mit der Herstellung dielektrischer Schichten durch ALD, die in Zusammenarbeit mit anderen Projektpartnern durch Ionenstrahl-Techniken modifiziert werden.

Weiterentwicklung von Röntgenmethoden

Die Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie umfasst unter anderem die Photoabsorption. Ist die Energie der Röntgenstrahlung größer als die element- und schalenspezifische Ionisierungsenergie

gie eines gebundenen Elektrons, wird ein Photon absorbiert und das Elektron aus dem Atomverband herausgeschlagen. Die an diesen spezifischen Energien sprunghaft ansteigende Absorption wird als Absorptionskante bezeichnet. Röntgenographische Messungen im Bereich der Absorptionskanten der zu untersuchenden Verbindung werden als „resonante“ Streuversuche bezeichnet, falls auf den kausal verknüpften Kanal der Streuung gezielt wird. Diese Methoden können meist nur an einem Synchrotron angewendet werden, da dort die Energie der Photonen aus einem weiten Bereich gewählt werden kann.

Eine Besonderheit resonanter Röntgenstreuung ist die verstärkte Abhängigkeit der Intensität eines Bragg-Reflexes von der Polarisierung der Röntgenstrahlung. Ändert man die Polarisierung der Photonen bezüglich der Probe – z. B. durch Rotation – erhält man, abhängig von der Symmetrie des resonanten Atoms, charakteristische sinusförmige Oszillationen der Intensität. Diese Anisotropie kann in manchen Fällen dazu genutzt werden, Phaseninformationen über die Atomstreuamplitude zu erhalten.

Eine Konsequenz der Anisotropie in resonanter Streuung (AAS) ist, dass die betreffenden Atome nicht mehr als kugelsymmetrisch angesehen werden können, wie es gewöhnlich in der Röntgenstreuung und Kristallographie geschieht. Dies hat insbesondere zur Folge, dass kristallographische Auslöschungsregeln nicht mehr greifen, wenn sie auf Translationsymmetrien beruhen, die mit einer Rotation kombiniert wurden, wie es bei den Symmetrieelementen Schraubenachse und Gleitspiegelebene der Fall ist. Die so im resonanten Fall zusätzlich auftretenden Reflexe werden auch verbotene Reflexe genannt und zeigen eine starke Energieabhängigkeit.

Der methodische Schwerpunkt auf der Weiterentwicklung dieser elementspezifischen und atomlagensensitiven Variante der Röntgenspektroskopie wird in der Arbeitsgruppe insbesondere für die Charakterisierung struktureller Defekte vorangetrieben. Aktuell wird im Rahmen eines BMBF-Verbundvorhabens der Aufbau eines neuen Strahlrohres am

Synchrotron Petra III des DESY in Hamburg zur Einrichtung einer *Chemical Crystallography Beamline* unterstützt.

Außenstelle GIZeF

Seit 2012 besteht für die Arbeitsgruppe eine Außenstelle im Gründer- und Innovationszentrum Freiberg (GIZeF), in direkter Nachbarschaft zum Fraunhofer-Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM, einem strategischen Partner der Arbeitsgruppe.

Die Anmietung erfolgt zum Zwecke der räumlichen und logistischen Konzentration der an verschiedenen Projekten beteiligten Wissenschaftler sowie zur gemeinsamen Diskussion der Forschungsthemen und Ergebnisse – auch zusammen mit externen Spezialisten und Wissenschaftlern.

Insgesamt sind in der Außenstelle Arbeitsplätze für 20 Mitarbeiter eingerichtet sowie ein Beratungsraum vorhanden. Zudem besteht eine direkte Anbindung an den zentralen Rechencluster der Bergakademie, wobei eigene Rechenkapazitäten geschaffen wurden. Diese werden durch Dr. Matthias Zschornak betreut, der auch die Erweiterung koordiniert. Wissenschaftlich begleitet werden die Arbeiten der Außenstelle durch Dr. Tilmann Leisegang, der gemeinsam mit Alena Raatz auch den Aufbau der gesamten Infrastruktur koordiniert.

Die Aktivitäten der Außenstelle konzentrieren sich auf die Untersuchung von Energie- und Stoffwandlungsphänomenen, die Systematisierung bestehenden Wissens, die Ableitung neuer Konzepte und schließlich die Ausarbeitung von Strategien für deren Realisierung. So sind bisher ein Wissensmanagementsystem (inklusive Datenbanken und Wiki) etabliert, eine Reihe von Konzepten patentiert und Demonstratoren entwickelt worden. Begleitend werden Aktivitäten zur Öffentlichkeitsarbeit organisiert, so u. a. die *International Freiberg Conference on Electrochemical Storage Materials* – ESTORM, die erneut 2015 stattfindet, sowie Industriekooperationen angebahnt.



Außenstelle der Arbeitsgruppe im Gründer- und Innovationszentrum Freiberg (GIZeF): Schild am Eingang (links) und Ansicht des Hauptgebäudes (rechts).



Die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ (von links oben nach rechts unten): Marco Herrmann, Valentin Garbe, Ralph Strohmeyer, Emil Dieterich, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Rocco Liebschner, Tina Weigel, Thomas Köhler, Dr. Hartmut Stöcker, Dr. Tilmann Leisegang, Diana Karsch, Bianca Störr, Doreen Eger, Maximilian Sonntag, Dr. Matthias Zschornak, Dr. Günter Gärtner, Alena Raatz, Dr. Barbara Abendroth, Falk Meutzner, Dr. Claudia Funke, Dr. Hartmut Bergelt, Dr. Wolfram Münchgesang, Dr. Juliane Walter, Juliane Hanzig, Dirk Prsa, Uta Fischer, Mandy Koitzsch, Melanie Nentwich, Stefanie Schlesinger, Christoph Imer, Romy Rietzschel, Sven Jachalke, Solveig Rentrop, Tina Nestler, Dr. Teresa Orellana Pérez.

Arbeitsgruppe Prof. Hermann Ehrlich

„Biomaterialogie und Extreme Biomimetik“

Die Forschungsaktivitäten der Arbeitsgruppe „Biomaterialogie und Extreme Biomimetik“ im Jahr 2014 lagen hauptsächlich im Bereich der Biomaterialforschung und Biomimetik, insbesondere der Untersuchung und Nutzung mariner und limnischer Schwämme, der Identifikation von Chitin in fossilen Organismen sowie der Synthese und Charakterisierung verschiedenartiger nanostrukturierter Komposite, welche an organischen Matrizen wie Chitin oder Kollagen unter extremen chemischen Bedingungen gebildet werden. Dabei fanden verschiedene moderne biomimetische Methoden Anwendung.

Ein besonderes Ereignis war der Fund eines tropischen Korallenriffs im Irak und dessen Publikation in *Nature Scientific Reports* im März 2014. Während einer gemeinsamen Expedition eines Forscherteams des „Freiberger Wissenschaftlichen Tauchzentrums“ und Kollegen der irakischen Universität Basrah im Jahre 2013 wurde das Riff im Arabischen Golf gesichtet. Bis dahin war nicht bekannt, dass sich Korallen unter den extremen Bedingungen dieser Meeresregion ansiedeln können.

2014 wurden neben einem Buch „*Biological Materials of Marine Origin: Vertebrates*“, erschienen im Springer-Verlag, 11 Veröffentlichungen – unter anderem in *Nature Scientific Reports*, *RSC Advances*, *Marine Drugs*, *Acta Biomaterialia* und *Progress in Polymer Science* – publiziert, sowie acht Beiträge auf internationalen Konferenzen und Tagungen präsentiert. Ferner hielt Prof. Ehrlich an der TU Bergakademie Freiberg das Mastermodul „Biomaterialogie“ sowie mehrfach einzelne Vorlesungen zum Thema Biomaterialogie und Biomaterialien in Dresden, Lodz und Posen.

Das im Sommer 2013 gestartete und durch die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung finanzierte Teilprojekt im Rahmen des „Biohydrometallurgischen Zentrums für strategische Elemente (BHMZ)“ zur Entwicklung von germaniumbasierten Biokompositen mittels biomi-

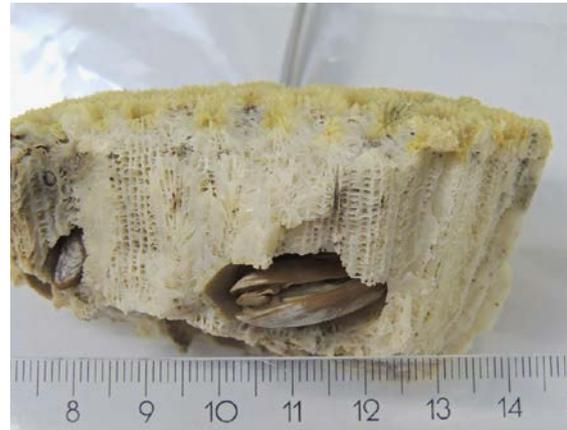


Abbildung 1: Lebende Koralle aus dem frisch entdeckten Korallenriff im irakischen Küstengewässer.

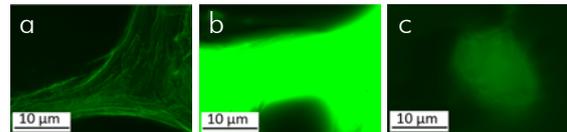


Abbildung 2: Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von $\frac{1}{4}$ s von a) Chitin, b) Chitin-GeO₂-Komposit, c) GeO₂. Zu erkennen ist die deutliche Zunahme der Fluoreszenz des Kompositmaterials gegenüber den Ausgangsstoffen.

metischer Methoden liefert derzeit erste Ergebnisse. Mit dem erfolgreichen Abschluss des Projektes – geplant im Sommer 2017 – sollen neuartige Biokomposite mit besonderen Eigenschaften wie Photo- oder Elektrolumineszenz zur Verfügung stehen. Gegenwärtig erfolgt zum einen die Herstellung von Germaniumverbindung-Chitin-Biokompositen über biomimetische Synthesewege, derzeit insbesondere unter hydrothermalen Bedingungen. Dabei koordiniert ein spezielles röhrenförmiges Chitinmaterial aus einem marinen Schwamm, welches selbst eine hohe thermische Stabilität aufweist, die Bildung hexagonaler Germaniumdioxid-Kristalle an seiner Oberfläche. Es konnte erstmalig gezeigt werden, dass sowohl die Fluoreszenz als auch die Photolumineszenz des Syntheseproduktes gegenüber den Ausgangsmaterialien um ein Vielfaches höher sind, wobei die Untersuchungen noch andauern.

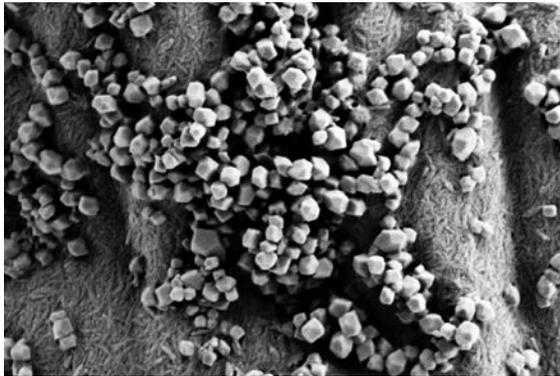


Abbildung 3: Chitin-GeO₂-Komposit. Durch hydrothermale Synthese werden an einer Chitinmatrix (dargestellte Faser) hexagonale GeO₂-Kristalle gebildet.



Abbildung 4: Studenten im „Biomaterial“-Praktikum am Fluoreszenzmikroskop.

Andererseits wird der Germaniumeinbau in artspezifische silikatische Skelettbestandteile lebender Süßwasserschwämme, der sogenannten Spikulen, verfolgt. Dabei werden die Süßwasserschwämme im Labor kultiviert, die Spikulen isoliert und mittels verschiedener Methoden untersucht. Aufgeklärt werden soll, wie ein Einbau von Germanium in das silikatische Gerüst erfolgt.

Lehrmodul „Biomaterial“

Im Sommersemester 2014 hielt Prof. Ehrlich erstmals das englischsprachige Mastermodul „Biomaterial“. Es wird als Wahlpflichtmodul für den Studiengang Angewandte Naturwissenschaft sowie als Wahlmodul für die Studiengänge Geologie/Mi-

neralogie und Geoökologie angeboten. Die jährlich angebotene Vorlesung behandelt die Prinzipien der Biomaterialisation, die Vielfältigkeit der Biomaterialien sowie deren Rolle in der Biogeochemie, wobei ebenso auf die praktische Verwendung in der bioinspirierten Materialwissenschaft sowie moderne Technologien eingegangen wird. Besondere Beachtung finden die Prozesse der Biomaterialisation, Dematerialisation und Rematerialisation als grundlegende Bestandteile des mineral-organischen Materialkreislaufs, welche bei unzähligen Prozessen in der Natur ablaufen. Das zum Modul dazugehörige Praktikum findet ebenfalls jährlich im Sommersemester statt und wurde im letzten Sommer erstmalig angeboten. Inhaltlich erlernen die Studenten verschiedene Dematerialisierungstechniken, insbesondere die Isolation und Identifikation organischer Matrizen aus-

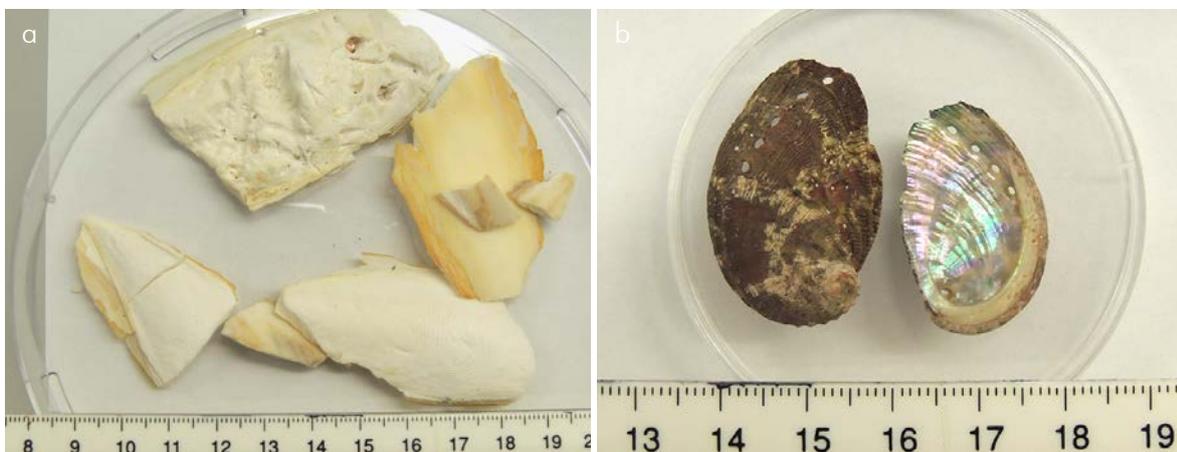


Abbildung 5: Beispiele für Untersuchungsobjekte. a) Tintenfischskelett (*Sepia* sp.), b) Gehäuse der marinen Schnecke „Grünes Seeohr“ (*Haliotis tuberculata*).

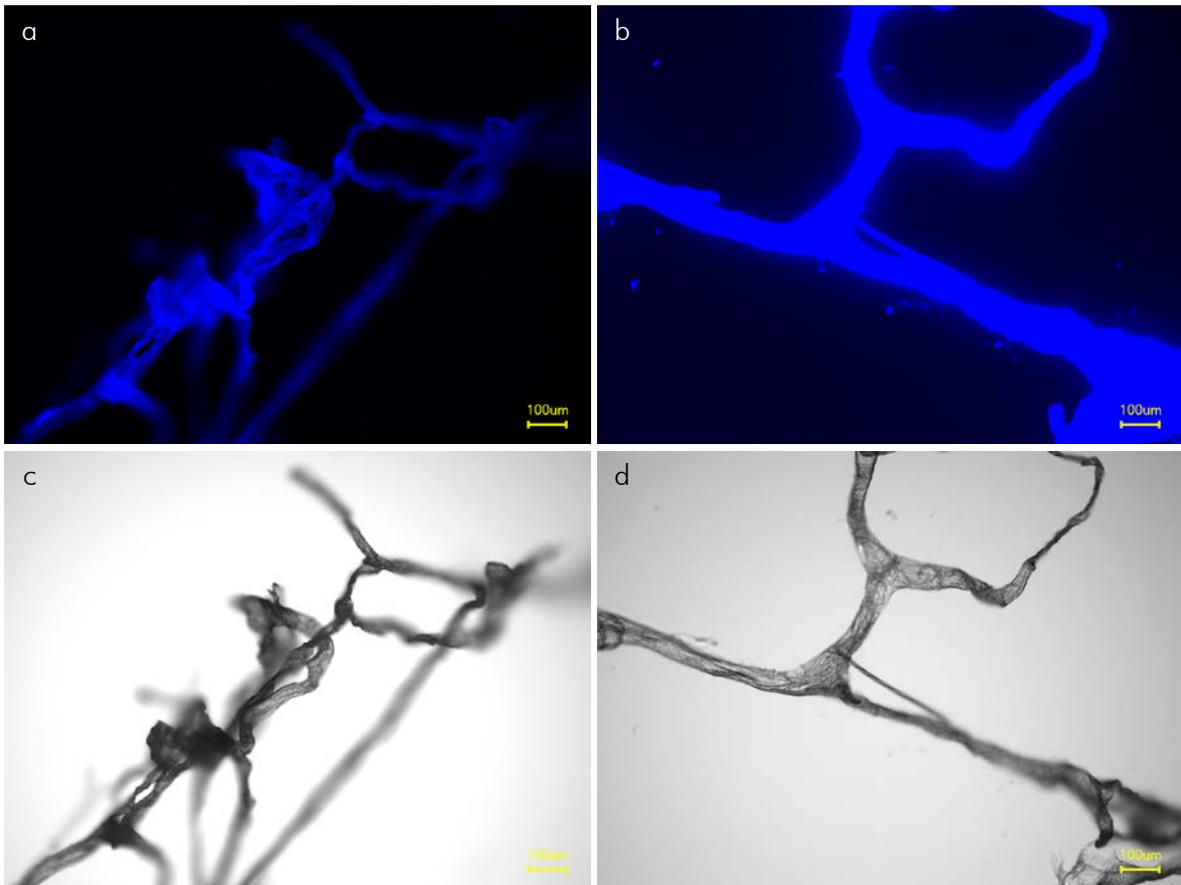


Abbildung 6: Chitin unter dem Mikroskop. a) Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme unbehandelten Chitins (Belichtungszeit 1/50 s). b) Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme, Ansteigen der Fluoreszenz durch Behandlung des Chitins mit dem Fluoreszenz-Farbstoff Calcofluor Weiß (CFW) (Belichtungszeit 1/50 s). c) + d) Lichtmikroskopische Aufnahmen der Chitinfaser von a) und b).

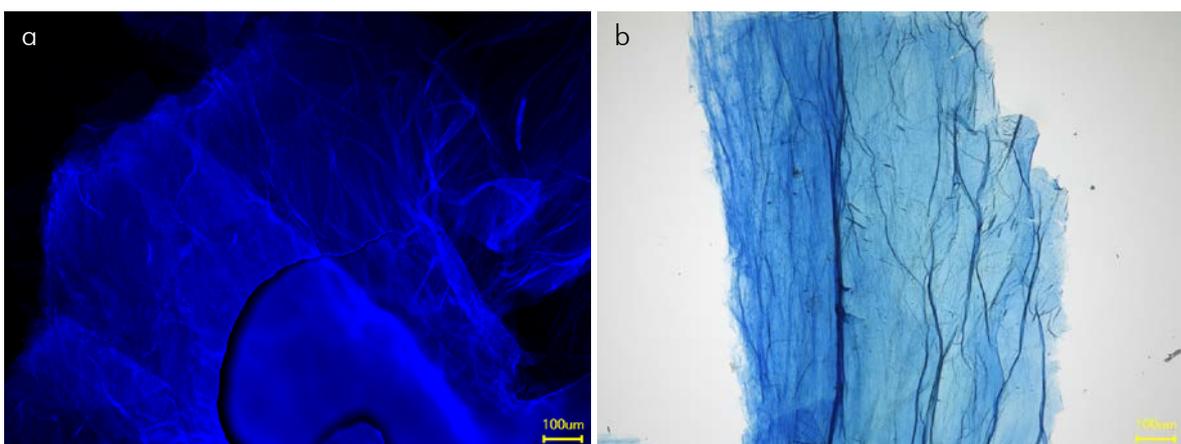


Abbildung 7: *Haliotis tuberculata* nach Demineralisierung mit Salzsäure, wobei die übrigbleibende organische Matrix zu erkennen ist. a) Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme (Belichtungszeit 1/150 s), Fluoreszenzfarbstoff Calcofluor Weiß (CFW). b) Lichtmikroskopische Aufnahme. Die Probe ist mit dem Fluoreszenz-Farbstoff Comassie brilliant blue (CBB) angefärbt.

gewählter fossiler und rezenter Biominerale. Dabei eignen sie sich spezielle Präparierungstechniken der Mikroskopie sowie die eigenständige Nutzung des modernen Fluoreszenzmikroskops an. Weiterhin erlernen sie neue biomimetische Methoden zur Herstellung nanostrukturierter Biokomposite. Herauszuheben ist, dass das Praktikum außerordentlich forschungsnah durchgeführt wird.

BMW-Bi-Ausgründungsprojekt „BromMarin“

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW) geförderte und vom Gründernetzwerks SAXEED betreute Projekt „BromMarin“ zielt auf die Isolierung, Anreicherung und Reinigung verschiedener chemischer Substanzen aus marinen Schwämmen. Schwämme sind eine der ältesten Lebensformen auf der Erde und treten in einer Vielfalt von Erscheinungsformen auf. Diese mehrzelligen Tiere leben fest verankert am Meeresboden und haben als kleine „Chemiefabriken“ lebensnotwendige Strategien entwickelt, um Fraßfeinde und Überwuchs abzuwehren. Zu Recht zählen sie daher unter den marinen Organismen zu den ergiebigsten Quellen bioaktiver Substanzen und eröffnen damit ein enormes Potential für die Wissenschaft, speziell für die Materialwissenschaft, die Nanobiotechnologie sowie die Biomedizin.



Abbildung 8: Goldschwamm *Aplysina aerophoba* in natürlicher Umgebung.

Das Freiburger Gründerteam, bestehend aus André Ehrlich, Marcel Bürger und Stephan Meschke, wird von Prof. Ehrlich fachlich betreut und beschäftigt sich mit dem, der Klasse der Hornkieselschwämme zugehörigen, Schwamm *Aplysina aerophoba* – dem sogenannten „Goldschwamm“. Das Ziel ist speziell die Extraktion, Anreicherung und Aufreinigung von bromtyrosinhaltenigen Substanzen aus dem Gewebe des marinen Schwammes, was auch der Projektname „BromMarin“ widerspiegelt. Dabei wurde das nutzbare Potential des Schwammes untersucht und eine Extraktionsmethode der Substanzen entwickelt. Die gewonnenen bioaktiven Wirkstoffe gelten unter anderem als antibakteriell, antiviral, antifungal und entzündungshemmend.

Die Idee, diese Stoffe aus den marinen Schwämmen zu isolieren, reifte nach der Feststellung, dass die chemische Synthese von Bromtyrosinverbindungen kostenintensiv ist. Die Gewinnung aus Schwämmen ist deutlich preiswerter, wobei das Schwammmaterial als nachwachsender Rohstoff angesehen werden kann, wenn es unter Bewahrung der Habitate gewonnen wird. Dies wird durch einen Kooperationspartner, welcher die Schwämme in Marikultur züchtet, sichergestellt.

Dabei ist es dem Gründerteam gelungen, nicht nur 99,9 % der im Schwammgewebe befindlichen Bromtyrosine zu isolieren, sondern darüber hinaus



Abbildung 9: Gereinigtes Chitinskelett des Schwammes *Aplysina aerophoba*. Diese Chitinscaffolds werden bereits erfolgreich in der Biomedizin und Biomaterialentwicklung verwendet. Das Potential für weitere Anwendungen wird sehr hoch eingestuft.

das Schwammskelett – ein 3D-Chitingerüst – zu gewinnen und vollständig zu erhalten. Zurzeit konzentrieren sich die Mitarbeiter des Projekts auf den Nachweis der antibakteriellen Wirkungen und die Aufbereitung der 3D-Gerüste. Mittelfristiges Ziel, vorgegeben durch die spezielle Art der Gründerförderung, ist die Ausgründung des Projektes aus dem Universitätsbetrieb. Dabei steht die Vermarktung der unterschiedlichen Produkte aus *Aplysina aerophoba* im Vordergrund. Bis dahin müssen jedoch noch vielfältige betriebswirtschaftliche Aufgaben – wie die Analyse der unterschiedlichen Märkte, die Suche nach Investoren oder das Verfassen eines Businessplans – bewerkstelligt werden.

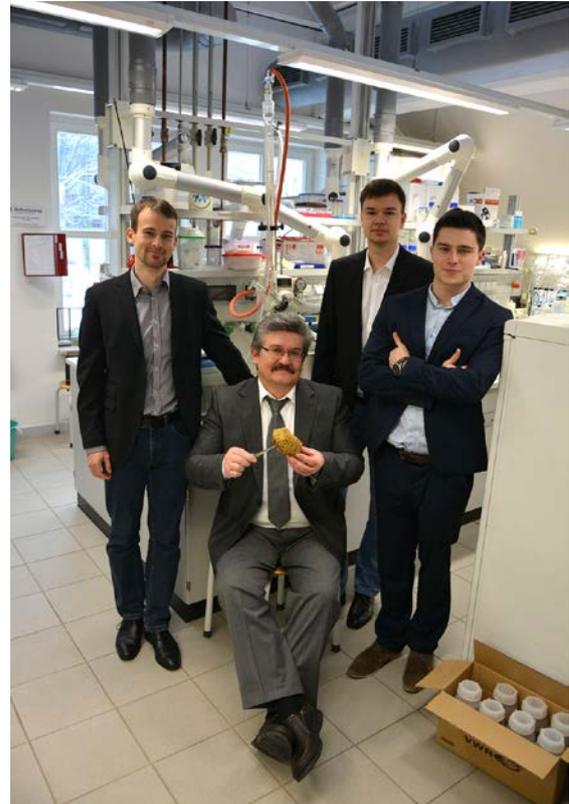


Abbildung 10: Gründerteam Stephan Meschke, Marcel Bürger und André Ehrlich sowie Mentor Prof. Ehrlich.

Arbeitsgruppe Prof. Serguei Molodtsov „Strukturforschung mit XFELs und Synchrotronstrahlung“

Die Arbeitsgruppe um Prof. Serguei Molodtsov, der die Position eines wissenschaftlichen Direktors am *European X-ray Free Electron Laser (XFEL)* in Hamburg (www.xfel.eu) innehat, beschäftigt sich mit Materialwissenschaft sowohl an der TU Bergakademie Freiberg, als auch am *European XFEL*. In beiden Fällen wird die Ausbildung der Studenten als wesentlicher Teil der Aktivitäten erachtet. Neben der unmittelbaren Einbindung der Studenten in die Forschung, wurde die Spezialvorlesungsreihe „Materialforschung mit Freie-Elektronen-Röntgenlasern (XFELs)“ entwickelt, die jetzt in den Lehrplan der TU Bergakademie Freiberg aufgenommen wurde.

Forschungstätigkeiten am Institut für Experimentelle Physik

Das Labor der Gruppe ist mit dem neuesten Photoemissionsspektrometer ausgestattet, welches die Untersuchung der elektronischen Struktur hochentwickelter Materialien mit Hochenergie und Lateralauflösung zulässt. Das vorhandene Photoelektronenspektrometer ESCALAB 250Xi (siehe Abbildung 1) von Thermo Scientific (Großbritannien) verfügt über eine Röntgenquelle mit Aluminiumanode und Monochromator. Für die Analyse isolierender oder schlecht leitender Proben ist eine Elektronenquelle zur Ladungskompensation vorhanden. Die Kombination aus Linsensystem, Halbkugelanalysator und Detektor ermöglicht sowohl Kleinbereichs-XPS als auch bildgebende Messungen. Eine Besonderheit des Spektrometers stellt die Cluster-Ionenquelle MAGCIS dar, welche nicht nur zur Erstellung von Tiefenprofilen sondern auch zum sanften Abtrag von Oberflächenverunreinigungen genutzt werden kann. Die Gerätebedienung, Datenerfassung und Datenauswertung erfolgen über die Software Advantage.

XPS-Messungen finden in den verschiedensten Projekten Anwendung. Zu diesen zählen unter ande-

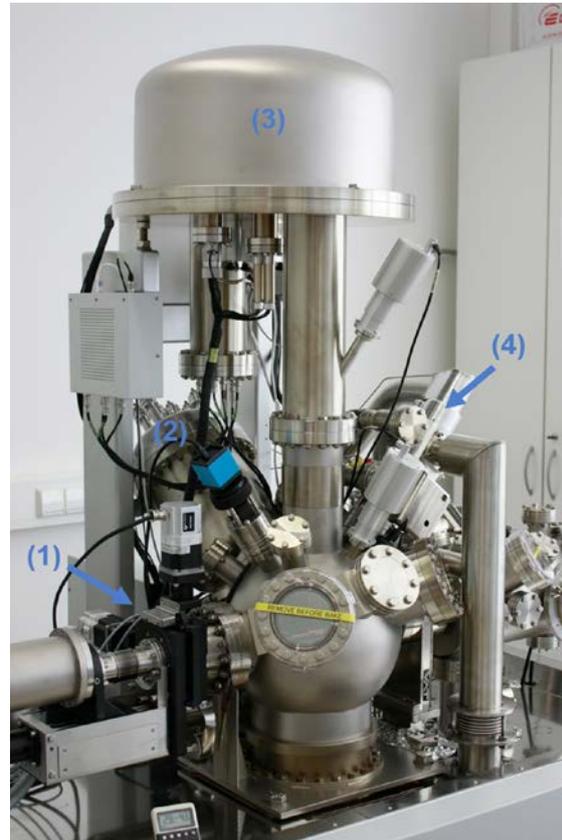


Abbildung 1: Photoelektronenspektrometer ESCALAB 250Xi von Thermo Scientific mit Al-Anode (1), Monochromator (2), Halbkugelanalysator (3) und Ionenquelle (4).

rem MEMRIOX und BaSta sowie die Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Biomineralogie und Extreme Biomimetik“ von Prof. Hermann Ehrlich zur Untersuchung von Chitin-Kompositen. Weitere Beziehungen gibt es zum Institut für Elektronik- und Sensormaterialien (Frau Prof. Yvonne Joseph), wo für grenzflächenbestimmte Funktionsmaterialien die Zusammensetzung dünner Filme analysiert wird. Außerdem gibt es externe Kooperationen, wie mit dem Zentrum für Oberflächen- und Nanoanalytik der Johannes-Kepler-Universität Linz zur Untersuchung des Effekts von Langzeit-Argonionen- und Argonclustersputtern auf die chemische Degradation von Korrosionsprodukten wie Hydrozinkit und Eisenoxid.

Insbesondere die Chitin-Komposite stellen ein breites Anwendungsfeld für XPS-Messungen dar. Mittels hydrothormaler Synthese wird das als Templat verwendete Chitin beispielsweise mit Fe_2O_3 versetzt und die sich ergebende Struktur sowie der Wechselwirkungsmechanismus der Reaktion untersucht. Anhand des O-1s-Spektrums (siehe Abbildung 2) lassen sich die Wechselwirkungen zwischen Chitin und Eisenoxid gut verdeutlichen. Das Spektrum des Chitin- Fe_2O_3 -Komposits zeigt Peaks bei 529,4 eV und 527,6 eV, welche sich Fe-O-Bindungen in α - Fe_2O_3 -Nanopartikeln zuordnen lassen. Der Peak bei 531,7 eV stammt von der OH-Gruppe des Chitins. Dies zeigt, dass die OH-Gruppen des Chitins eine wichtige Rolle bei der Bildung der Chitin-Hämatit-Komposite bilden.

Es wird sehr begrüßt, dass Studenten an verwandten Experimenten teilnehmen und die Möglichkeit in Betracht ziehen, hier ihre Bachelor- oder Master-Arbeit anzufertigen.

Forschungs- und Bautätigkeiten am European XFEL

Das *European XFEL*-Vorhaben ist auf gutem Wege, Röntgenstrahlen ab Ende 2016 liefern zu können. Der Nutzerbetrieb wird 2017 anfangen und auch Stellvertreter der TU Bergakademie Freiberg mit ausgezeichneten Möglichkeiten ausstatten, Forschung an der vordersten Front der Wissenschaft zu betreiben.

2014 wurden der Linearbeschleunigungskomplex des *European XFEL* und seine umfangreiche Infrastruktur durch ein internationales Beschleunigerkonsortium von 17 europäischen Forschungsinstituten unter Führung des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY) errichtet. Im gleichen Jahr wurde die Serienproduktion für viele Komponenten fortgesetzt, zahlreiche andere wurden geliefert, der Zusammenbau der Beschleunigermodule wurde angefahren und die Installation begonnen. Bis zum Ende des Jahres war der *European XFEL*-Injektor mit Ausnahme der Beschleunigerabschnitte im Wesentlichen zusammengesetzt und die Installation der Haupttieft-

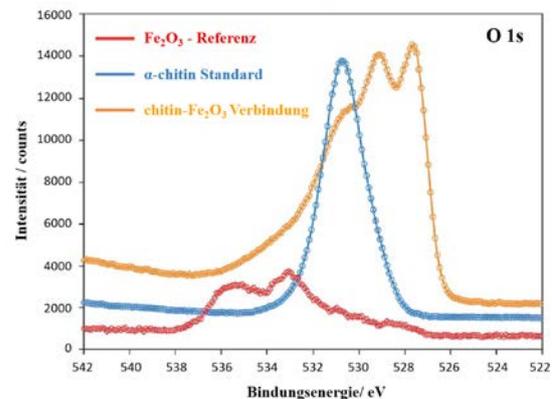


Abbildung 2: XPS-Spektrum des O-1s-Rumpfniveaus für α -Chitin aus *Aplysina aerophoba* (blaue Linie), Hämatitreferenz (rote Linie) und Chitin- Fe_2O_3 -Komposit (orange Linie), aus [M. Wysokowski et al.: RSC Advances 4 (2014) 61743].



Abbildung 3: Beschleunigermodule im Tunnel.

temperaturkomponenten des Linearbeschleunigers hatte begonnen (siehe Abbildung 3).

Der kalte Linearbeschleuniger des *European XFEL* besteht aus mehreren Abschnitten mit insgesamt 101 Beschleunigermodulen. Die Produktionsrate war angesetzt auf ein fertiges Modul pro Woche. 2014 wurde dieses anspruchsvolle Ziel erreicht. Im September begann die stetige Anlieferung der Module vom *Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives* (CEA) zu DESY. Ende 2014 war fast ein Viertel der Gesamtzahl der Module hergestellt.

Planung und Bau der wissenschaftlichen Endstationen/Instrumente, die von den Wissenschaftlern genutzt werden, um Experimente durchzuführen, gehen ebenfalls gut voran. Den Forschern werden sechs Instrumente zur Verfügung gestellt, deren Schwerpunkt es ist, hauptsächlich strukturelle (harte

Röntgenstrahlen) und Elektronenstrukturexperimente (weiche Röntgenstrahlen) durchzuführen:

Harte Röntgenstrahlen: Wissenschaftliches Instrument FXE

Das *Femtosecond X-ray Experiments* (FXE)-Instrument wird einer breiten wissenschaftlichen Gemeinschaft zeitaufgelöste *Pump-Probe*-Experimente auf ultraschnellen Zeitskalen ermöglichen. Während die ersten Komponenten bereits hergestellt wurden, fördert die FXE-Gruppe den Entwurf der ausstehenden Komponenten durch Forschungsinitiativen, bei denen Laborlaserquellen, Synchrotronquellen in Verbindung mit dem FXE-MHz-Lasersystem und Freie-Elektronenlaser genutzt werden.

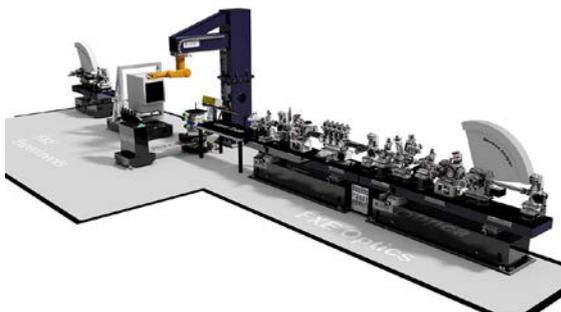


Abbildung 4: Aktueller Entwurf des FXE-Instruments.

Harte Röntgenstrahlen: Wissenschaftliches Instrument HED

Das *High Energy Density Science* (HED)-Instrument wird eine einzigartige Plattform für Experimente sein, die die harte Strahlung des Freie-Elektronen-Röntgenlasers mit der Möglichkeit verbinden, Materie extremen Zuständen von Druck, Temperatur oder elektrischen Feldern auszusetzen, indem optische Hochenergielaser oder gepulste Magnete benutzt werden. Die wissenschaftlichen Anwendungen schließen ein: Untersuchungen der Eigenschaften von Materie in Exoplaneten, neuen Extremdruckphasen und Plasmen mit festkörperartiger Dichte und strukturelle Phasenübergänge von komplexen Festkörpern in starken Magnetfeldern. 2014 wurde der technische Designbericht für das HED-Instrument veröffentlicht, und die Hütte für den Experimentaufbau wurde in der Experimentierhalle errichtet.

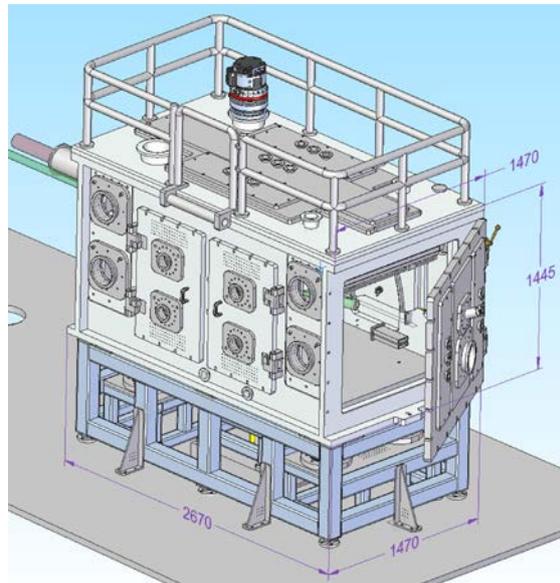


Abbildung 5: Aufbauskeizze der großen Wechselwirkungskammer des HED-Experiments.

Harte Röntgenstrahlen: Wissenschaftliches Instrument MID

Das Ziel des *Materials Imaging and Dynamics* (MID)-Instruments ist es, Untersuchungen der Struktur und Dynamik von kondensierter Materie mittels Röntgenstreuung und abbildenden Experimenten auf der Nanoskala zu ermöglichen. Weitere Anwendungsgebiete sind Materialwissenschaft und Nanomaterialien. Die MID-Gruppe setzte die Planung verschiedener Instrumentenkomponenten, Experimentierräume und der Infrastruktur fort und führte Forschung und Entwicklung mit entsprechenden Experimenten an anderen Lichtquellen durch.



Abbildung 6: Seitenansicht der MID-Hütten. In den Experimentierhütten zu erkennen ist das MID-Instrument mit einem großen Detektorarm. Eine optische Laserhütte ist rot skizziert. Die blaue Hütte auf dem Dach der Experimentierhütte enthält Elektronikschränke.

Harte Röntgenstrahlen:

Wissenschaftliches Experiment SPB/SFX

Die *Single Particles, Clusters, and Biomolecules and Serial Femtosecond Crystallography* (SPB/SFX)-Gruppe ist dafür verantwortlich, ein wissenschaftliches Instrument für Strukturuntersuchungen von kristalliner und nicht-kristalliner Materie nach dem neuesten Stand der Technik zu bauen, insbesondere zur Bestimmung der Struktur von biologischen Molekülen. 2014 baute die Gruppe entscheidende Erweiterungen in das Instrumentendesign ein, wie sie von dem SFX-Nutzerkonsortium vorgeschlagen wurden, um noch mehr Strukturblogie am *European XFEL* anzusiedeln.

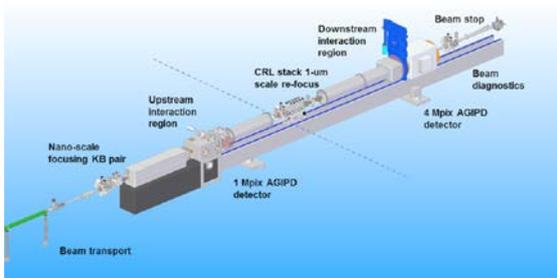


Abbildung 7: Überblick über die Schlüsselkomponenten des SPB/SFX-Instruments in der Experimentierhütte.

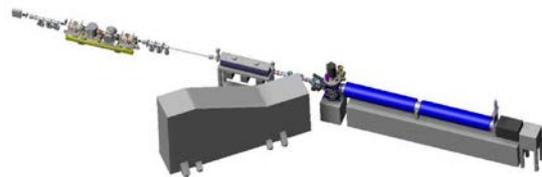


Abbildung 8: Aufbauskeizze der SCS-Instrumente mit der Hauptkammer (rechts) und h-RIXS-Kammer (Mitte).

Weiche Röntgenstrahlen:

Wissenschaftliches Instrument SCS

Die *Spectroscopy and Coherent Scattering* (SCS)-Gruppe plant für den *European XFEL* ein Instrument zur Kleinwinkelstreuung, Resonanzdiffraktion und kohärenten Diffraktionsabbildung bei weichen Röntgenenergien. Nutzer werden in der Lage sein, die elektronischen, Spin- und Struktureigenschaften von Festkörperproben in den kleinsten Raum-Zeit-Dimensionen mit einem breitgefächerten Satz von spektroskopischen Werkzeugen zu erforschen. Die

SCS-Gruppe entwickelte 2014 den technischen Designbericht, führte die abschließenden technischen Spezifikationen und die Ausschreibungen für die ersten Instrumentenkomponenten fort und arbeitete zusammen mit dem *Heisenberg Resonant Inelastic X-ray Scattering* (h-RIXS)-Nutzerkonsortium an der Integration der RIXS-Instrumentierung. Außerdem führte die Gruppe Experimente durch, um die Methodologie, die man sich für das SCS-Instrument vorgestellt hat, weiter voranzutreiben.

Weiche Röntgenstrahlen:

Wissenschaftliches Instrument SQS

Die *Small Quantum Systems* (SQS)-Instrumentengruppe arbeitete 2014 die Details zum Aufbau des Experimentierbereichs und der benötigten Infrastruktur des SQS-Instruments aus. Ferner optimierte und finalisierte die Gruppe das Design verschiedener Komponenten der Experimentierkammern für die Untersuchung atomähnlicher Quantensysteme und nanogroßer Quantensysteme. Die Forschungsaktivitäten der SQS-Gruppe, die hauptsächlich Untersuchungen von nicht-linearen Prozessen in prototypischen Atomproben und auf Anwendungen von Zwei-Farb-Experimenten zur Untersuchung der Dynamik atomarer und molekularer Photoionisation gewidmet sind, basieren auf Experimenten, die an anderen Freie-Elektronen-Laserquellen durchgeführt werden.

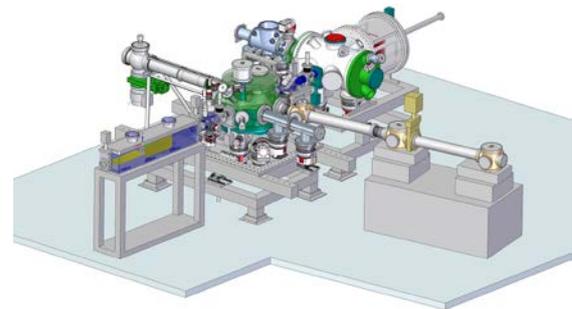


Abbildung 9: Aufbauskeizze des SQS-Instruments mit den zwei Hauptkammern und den KB-Spiegeln.

Lehre in Hamburg

Die Blockvorlesung „Materialforschung mit Freie-Elektronen-Röntgenlasern (XFELs)“ ist vom 21. bis 25. September 2015 in Hamburg geplant (siehe Abbildung 10).

Die Vorlesungsreihe zeigt die Darstellung von konventionellen und ultrahoch-zeit aufgelösten spektroskopischen Methoden und Methoden zur Bestimmung der strukturellen Eigenschaften:

- Inelastische und resonante inelastische Röntgenstreuung
- Röntgenemissionsspektroskopie
- Röntgenabsorptionsspektroskopie
- Photoelektronenspektroskopie
- Röntgenmikroskopie
- Kohärente Röntgendiffraktion
- Photonenkorrelationsspektroskopie
- Röntgenholographie

Die Anwendung der genannten Methoden wird während den Führungen durch den weltweiten Freie-Elektronen-Röntgenlaser FLASH bei DESY illustriert. Es wird außerdem einen Besuch der Baustellen des *European XFEL* geben.

Die Studierenden erlangen vertiefte Kenntnisse des Aufbaus und der Anwendung der neuesten Gene-

ration von Röntgen-Lichtquellen, den Freie-Elektronen-Röntgenlasern. Die FELs erzeugen Röntgenstrahlung mit sehr hoher Brillanz. Die Studierenden lernen Messmethoden kennen, bei denen ultrakurze Laserlichtblitze im Röntgenbereich bis zu hunderttausendmal in der Sekunde und mit einer Leuchstärke, die milliardenfach höher ist, als die der besten Röntgenstrahlungsquellen herkömmlicher Art, eingesetzt werden. Freie-Elektronen-Röntgenlaser werden in der Materialforschung und -entwicklung von katalytischen, magnetischen sowie biologischen Stoffen und Hybrid-Strukturen benutzt. Verschiedene experimentelle Methoden und ihre besonderen Möglichkeiten, die nur mit Freie-Elektronen-Röntgenlasern realisiert werden können, werden dargestellt und detailliert erläutert. Die Studierenden sollen mit Hilfe des Moduls in die Lage versetzt werden, die hier kennengelernten Methoden im späteren Berufsleben bei Bedarf mit zu berücksichtigen, und gleichzeitig erste Erfahrungen in einer internationalen Großforschungseinrichtung sammeln.

Unterbringung im DESY-Gästehaus, Fahrt- und Übernachtungskosten werden übernommen.

Die Studenten können sich gerne anmelden bei: serguei.molodtsov@xfel.eu



Abbildung 10: Ausschnitt der Vorlesungsankündigung (Poster).

Arbeitsgruppe Jun.-Prof. Roman Gumeniuk „Kristallphysik“

Im Oktober 2014 wurde Dr. Roman Gumeniuk als Juniorprofessur für Kristallphysik mit *Tenure-Track* als Nachfolger von Prof. H.-J. Möller berufen. Sein bisher ausgewiesener Schwerpunkt liegt auf Struktur-Eigenschafts-Korrelationen in intermetallischen Verbindungen. Durch diese Berufung wird die interdisziplinäre Ausrichtung der Professuren des Instituts verstärkt und die Basis für eine auch künftig enge Zusammenarbeit innerhalb des Hauses gelegt.

Strukturvarianten der Remeika-Phasen

Roman Gumeniuk^{1,2}, Walter Schnelle²,
Andreas Leithe-Jasper², Lev Akselrud²

¹ Institut für Experimentelle Physik, TU Bergakademie Freiberg,
Leipziger Str. 23, 09596 Freiberg

² Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe, Nöthnitzer
Str. 40, 01187 Dresden

Der $\text{Yb}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ -Strukturtyp wurde durch Remeika und Mitarbeiter in den frühen 80er-Jahren entdeckt [1]. In den letzten drei Jahrzehnten wurden mehr als 100 intermetallische Verbindungen gefunden, die in dieser primitiv-kubischen strukturellen Anordnung kristallisieren [2]. Wie Klathrate und gefüllte Skutterudite gehören die Remeika-Phasen zu der Familie der sogenannten Käfigverbindungen. In solchen Strukturen sind die positiv geladenen Kationen in vergrößerten Hohlräumen, welche durch ein kovalent gebundenes, negativ geladenes anionisches Gerüst gebildet werden, eingebettet. Die Kombination aus ionischer und kovalenter chemischer Bindung, die bei Käfigverbindungen gefunden wird, führt zu vielen interessanten physikalischen Eigenschaften. So sind sie Objekte zahlreicher Studien. Eine mögliche Anwendung solcher intermetallischer Verbindungen als thermoelektrische Materialien ist besonders faszinierend. Unter anderem beobachtet man bei Käfigverbindungen Supraleitung, schwere



Fermionen und quantenkritische Systeme, Systeme mit Nicht-Fermi-Flüssigkeits-Verhalten, itinerantem Ferromagnetismus, halbmetallisches Verhalten und vieles mehr.

Die Atomanordnungen in den gefüllten Skutteruditen ($\text{LaFe}_4\text{P}_{12}$ -Strukturtyp) [3] und im Remeika-Strukturtyp können vom einfachen kubischen Perowskit CaTiO_3 -Strukturtyp [4] abgeleitet werden. Verdoppelung der Gitterparameter gepaart mit dem Verkippen der Oktaeder führen zur Transformation von zwei von acht Kubooktaedern, wie sie in der strukturellen Anordnung des Perowskits vorliegen, in Ikosaeder. Die restlichen sechs Kubooktaeder kann man sich in trigonale Prismen umgewandelt vorstellen. Dies führt zur Bildung des $\text{LaFe}_4\text{P}_{12}$ -Strukturtyps. Die Rotation von einem der Ikosaeder um 90° in dieser Struktur bewirkt die Umwandlung der Oktaeder in trigonale Prismen und somit die Entstehung der eckenverknüpften trigonalen Prismen-Anordnung, welche den Remeika- $\text{Yb}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ -Strukturtyp aufbaut (siehe Abbildung [5]). Alle hier beschriebenen strukturellen Beziehungen sind im Detail in Ref. [6] diskutiert.

Remeika-Phasen, welche Germanium enthalten, sind in den Systemen mit Füllatomen wie Sc, Y, Erdalkali- (EA), Seltenerd- (SE) oder Aktiniden-Metallen

und d-Elementen der Fe- und Co-Untergruppen bekannt. In den letzten Jahren ist es uns aber gelungen, Remeika-Phasen mit einem Pt-Ge-Gerüst mittels Hochtemperatur-Hochdrucksynthese zu synthetisieren. Allerdings kristallisieren sie in einer kubischen ($\text{Ca}_3\text{Pt}_{4-x}\text{Ge}_{13+y}$), tetragonalen ($\text{Yb}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$), rhomboedrischen ($\text{HT-Y}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$) oder monoklinen ($\text{LT-Y}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$) verzerrten Variante des primitiven kubischen $\text{Yb}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ Remeika-Prototyps.

Die strukturellen Beziehungen zwischen dem Prototyp und diesen abgeleiteten Strukturen können innerhalb der Symmetrie durch ein Gruppe-Untergruppe-Schema verstanden werden. Alle Symmetrie-Transformationen in der Abbildung werden durch klassengleiche (k) bzw. translationengleiche (t) Verringerung der Indizes 2, 3 oder 4, Änderungen der Gitterparameter der Elementarzelle oder Beseitigung einiger Symmetrieoperationen durchgeführt. Die grundlegenden Konzepte solcher Betrachtungen zur Symmetrie sind in den *International Tables for Crystallography* [7] dargestellt und erläutert. In der Abbildung werden drei Zweige von Symmetrie-Verwandtschaften gezeigt: ein kubischer (zeigt die Beziehungen zwischen den kubischen Strukturtypen $\text{Yb}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$, $\text{La}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ und $\text{Ca}_3\text{Pt}_{4+x}\text{Sn}_{13-y}$), ein rhomboedrischer (Beziehung des Hochtemperatur- $\text{Y}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$ -Strukturtyps zum kubischen Prototyp) und ein tetragonaler (Symmetrietransformation des kubischen $\text{Yb}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ -Prototyps in die tetragonalen $\text{Yb}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$ - und monoklinen Tieftemperatur- $\text{Y}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$ -Strukturtypen).

Solche engen Beziehungen bedeuten das gleiche Strukturmotiv für alle in der Abbildung dargestellten Strukturtypen. Das eckenverknüpfte trigonale Prismen-Feld besteht ausschließlich aus den p-Elementen $X = \text{Ge}, \text{Sn}$. Die Prismen werden durch d-Elemente $B = \text{Rh}, \text{Ir}$ oder Pt zentriert, wobei sich im Freiraum zwischen vier Prismen Ikosaeder befinden. Die größeren Atome $M = \text{Y}, \text{La}, \text{EA}, \text{SE}$ oder Aktinide befinden sich innerhalb von 18-eckigen Polyedern, die aus 12 X-Atomen (bilden verzerrte Kubooktaeder), 4 B- und 2 M-Atomen bestehen. Die Positionen der M- und B-Komponenten in allen Strukturtypen sind nahezu gleich. Verzerrungen treten nur im kovalent gebundenen X-Gerüst auf.

Diese führen dann zur Symmetriereduktion und zum Verlust der Inversionssymmetrie in diesen Strukturen [5]. Solche Veränderungen bedeuten aber auch die Brechung einiger Ge-Ge-Bindungen.

Elektronische Bandstrukturechnungen für fiktives $\text{Y}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$ mit kubischer Struktur ($\text{Yb}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ -Prototyp) sowie mit nichtzentrosymmetrischen HT- und TT- $\text{Y}_3\text{Pt}_4\text{Ge}_{13}$ -Strukturen wurden durchgeführt. Diese Studien zeigen, dass die abgeleiteten Strukturen mit niedriger Symmetrie viel kleinere Bildungsenthalpien sowie niedrigere Zustandsdichten (DOS) am Fermi-Niveau, im Vergleich zum idealen kubischen Modell, besitzen. Offensichtlich, führt die Brechung einiger Ge-Ge-Bindungen innerhalb der Ikosaeder zur Aufspaltung von Ge-p-Zuständen in bindende und antibindende Zustände und damit zur Absenkung der DOS am Fermi-Niveau. Dies macht auch komplizierte Strukturen energetisch günstiger.

Literatur

- 1 J. P. Remeika, G. P. Espinosa, A. S. Cooper, H. Barz, J. M. Rowell, D. B. McWhan, J. M. Vandenberg, D. E. Moncton, Z. Fisk, L. D. Woolf, H. C. Hamaker, M. B. Maple, G. Shirane, W. Thomlinson: *Solid State Communications* 34 (1980) 923.
- 2 P. Villars: *Pearson's Handbook, Crystallographic Data for Intermetallic Phases*, Materials Park, OH 44073, v. 1, 1997.
- 3 W. Jeitschko, D. Braun: *Acta Crystallographica B* 33 (1977) 3401.
- 4 A. Roushoun, Y. Masatomo: *Journal of Solid State Chemistry* 178 (2005) 2867.
- 5 R. Gumeniuk, M. Schöneich, K. O. Kvashnina, L. Akselrud, A. A. Tsirlin, M. Nicklas, W. Schnelle, O. Janson, Q. Zheng, C. Curfs, U. Burkhardt, U. Schwarz, A. Leithe-Jasper: *Dalton Transactions* 44 (2015) 5638.
- 6 R. Gumeniuk, L. Akselrud, K. O. Kvashnina, W. Schnelle, A. A. Tsirlin, C. Curfs, H. Rosner, M. Schöneich, U. Burkhardt, U. Schwarz, Yu. Grin, A. Leithe-Jasper: *Dalton Transactions* 41 (2012) 6299.
- 7 T. Hahn: *International Tables for Crystallography*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1996.

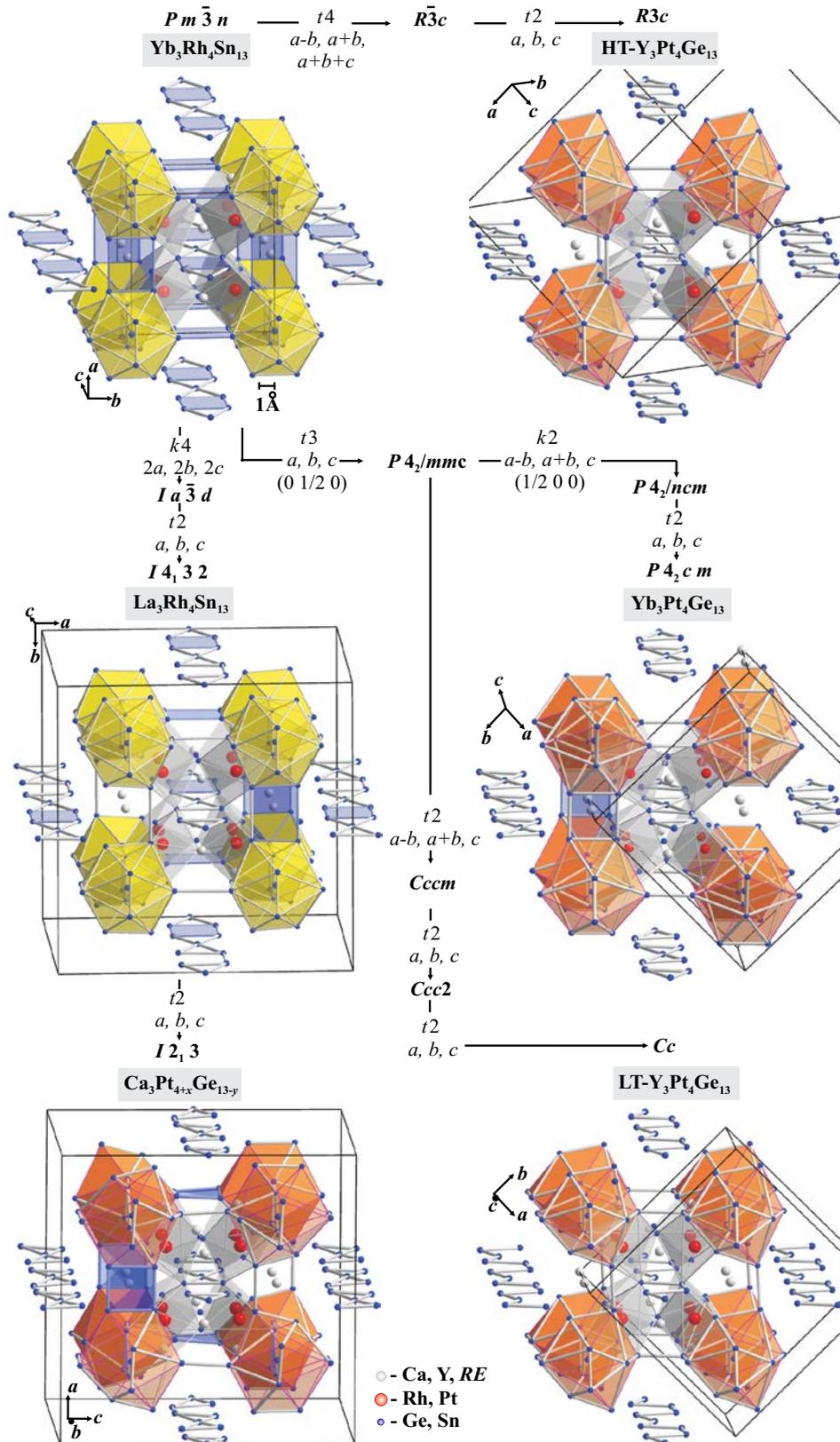


Abbildung: Strukturelle Symmetriebeziehungen mit den Indizes der klassengleichen (k) und translationengleichen (t) Symmetriereduktion zwischen Abkömmlingen des primitiven kubischen $Yb_3Rh_4Sn_{13}$ -Remeika-Strukturtyps und dessen abgeleiteten Strukturen [5].

Arbeitsgruppe Prof. Hans-Joachim Möller „Photovoltaik“

Das Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien (THM) in Freiberg kooperiert mit dem Institut für Experimentelle Physik auf dem Gebiet der Photovoltaik. Seit dem Ausscheiden von Prof. Hans-Joachim Möller in den Ruhestand im Jahr 2011 und der anschließenden Übernahme seiner Leitungsaufgaben am Fraunhofer THM führt er im Rahmen einer Nebentätigkeit Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet durch. Das Institut ermöglicht dazu die Nutzung spezieller, photovoltaischer Messtechnik, die während seiner früheren Tätigkeit am IEP entwickelt worden ist.

Dies betrifft vor allem noch die Untersuchung von elektrischen und optischen Eigenschaften von Wafern, Solarzellen und Modulen. Diese Untersuchungen ergänzen die Forschungsarbeiten am THM. Dabei wurden drei Themen bearbeitet:

- die Degradation von Siliziumsolarzellen in Modulen aufgrund der Potential-induzierten Wanderung von Ionen (PID-Effekt),
- die Untersuchung der lokalen Stromgeneration in CdTe-Modulen,
- die Untersuchung der Minoritätslebensdauer von gesägten, oberflächengeschädigten Siliziumwafern.

Auf dem Gebiet der Charakterisierung von Solarmodulen arbeitet das THM auch eng mit Prof. Ingo Schwirtlich am IEP zusammen. Der Schwerpunkt hier betrifft die *In-situ*-Untersuchung der Leistung von Modulen in Solaranlagen mit Hilfe der Flugthermographie. Dabei handelt es sich um die Nutzung von Mikro-Multikoptern, die mit speziellen Infrarotthermographie-Kameras ausgerüstet sind und Solaranlagen überfliegen und abbilden können.

Im Laufe des Jahres sind außerdem eine Reihe von Forschungsprojekten beendet worden, die im Rahmen des ADDE-Spitzenclusters unter Leitung von Prof. Hans-Joachim Möller begonnen und durchgeführt worden waren. Einige dieser Forschungsarbeiten sind oder werden noch durch Dissertationen abgeschlossen und beschäftigen sich mit der Entstehung und den elektrischen Auswirkungen von ausgedehnten Defekten wie Versetzungen und Korngrenzen in Silizium.

Landesexzellenzinitiative auf der Basis von Spitzentechnologieclustern „Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering“ (ADDE)

Laufzeit: 2009 bis 2014, tu-freiberg.de/ze/adde

- Teilprojekt 2: Struktur-Eigenschaftskorrelation in multikristallinem Solarsilizium und Defekt-Engineering bei der Züchtung unter Verwendung von unterschiedlich reinem Ausgangsilizium
- Teilprojekt 3: Einfluss von Kristall- und Oberflächendefekten auf die mechanischen Eigenschaften ultradünner Siliziumwafer
- Teilprojekt 4: Herstellung und Eigenschaften nano- und mikrokristalliner Siliziumdünnschichten aus Oligosilanen für Solarzellen



Europa fördert Sachsen
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



Gast-Professor Ingo A. Schwirtlich

„Photovoltaik: Modultechnik und Modulmaterialien“

Die Gastprofessur von Professor Dr. Ingo A. Schwirtlich ergänzt die Aktivitäten von Professor Dr. Hans-Joachim Möller im Bereich der photovoltaischen Materialien seit 2010. Es besteht daher eine enge Zusammenarbeit mit ihm im Rahmen von Projekten an der TU Bergakademie Freiberg und am Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM.

Die Herstellung von Photovoltaik-Modulen durch Bildung eines Sandwich-Laminates, das neben den Solarzellen aus einer Frontglasscheibe, Einkapselungsmaterialien sowie einer Folien- oder Glasrückseite besteht, scheint auf den ersten Blick keine besonderen materialtechnischen Herausforderungen zu enthalten. Verdeutlicht man sich jedoch die nicht unbeträchtliche Zahl von Grenzflächen zwischen den unterschiedlichen Materialien in einem Modulverbund und die Einwirkungen darauf durch äußere Parameter wie Feuchte, Temperatur bzw. Temperaturwechsel, Wärme, UV-Strahlung und die anliegenden elektrischen Potentiale, ergeben sich eine große Zahl von Wechselwirkungen, die diese Produkte im Einsatz erfahren.

Deutschland verfügt mit bald 40 GW installierter Leistung über eine hohe Anzahl an Bestandsanlagen, von denen man eine Lebensdauer von über 20 Jahren erwartet. Dies setzt voraus, dass man die zu erwartenden Wechselwirkungen in den einzelnen Solarmodulen über die Zeit sowie in der gesamten Anlage versteht und geeignete Materialien auswählt, die mit angepassten und optimierten Prozessen verarbeitet werden.

In den letzten Jahren hat sich ein außerordentlich ernst zu nehmendes Degradationsphänomen bei vielen Solarmodulen im Feldeinsatz gezeigt, dessen endgültige Aufklärung noch aussteht: die „Potential-induzierte Degradation“. Sie tritt bei p-Typ-Solarzellen auf der Minusseite der Solarmodul-Strings auf und kann die Modulleistung um bis zu 60 % reduzieren. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit



SolarValley Mitteldeutschland, der TU Bergakademie Freiberg und dem Fraunhofer THM in Freiberg wurde von der CEM Concept GmbH, ein von Prof. Dr. I. Schwirtlich gegründetes Unternehmen, eine vom BMBF geförderte Studie* über dieses Thema durchgeführt, deren wesentliche Erkenntnisse auch in seine Wahlpflichtvorlesung eingehen.

Die elementare Vorstellung besteht darin, dass durch das negative Potential zwischen Solarzellen-Matrix und dem geerdeten Rahmen auf der Seite des Minuspols der Solarmodulstring positiv geladene Ionen, die sich unter der Einwirkung von Feuchte, UV und Temperatur in EVA (Ethyl-Vinyl-Acetat) basierten Einkapselungsmaterialien aus dem Deckglas gelöst haben können, zum negativen Emitter der Solarzellen wandern. Dort können sie eine dielektrische Doppelschicht bilden, die die Solarzellendiode in Durchlassrichtung polen kann. Gegenwärtig wird noch erforscht, ob dies vorzugsweise durch Ausbildung einer Inversionsschicht oder durch die Bildung elektrisch leitender Pfade in der Raumladungszone erfolgt. Die Tatsache, dass sich eine eingetretene Degradation durch Anlegen einer inversen Spannung unterstützt durch Feuchte und erhöhte Tempe-

ratur ganz oder teilweise wieder rückgängig machen lässt, kann mit den gegenwärtigen Modellvorstellungen noch nicht befriedigend erklärt werden.

Solarzellen, die innerhalb der Solarmodule von der „Potential-induzierten Degradation“ betroffen sind, können mittels Elektrolumineszenz-Aufnahmen oder wegen ihrer erhöhten Betriebstemperatur mit Hilfe von Infrarot-Kameras identifiziert werden. Unter Laborbedingungen stellen diese Techniken keine große Herausforderung dar. Um auch betroffene Module in einer Freifieldanlage identifizieren zu können, wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer THM die Flugthermographie entwickelt, bei der mit Hilfe kleiner Flugdrohnen, in diesem Fall mittels Oktokoptern, deren Software durch die CEM Concept GmbH weiterentwickelt wurde, Infrarotaufnahmen von installierten Photovoltaikanlagen angefertigt werden. Bei günstigen Schneebedingungen lassen sich betroffene Module auch durch das Muster des abschmelzenden Schnees auf einfache Art und Weise identifizieren.

Die Ergebnisse der Studie wurden im Rahmen der „PV-Days“ am 21. und 22.10.2014 am CSP in Halle vorgestellt. Nach neuestem Verständnis können die Beobachtungen der Leistungsdegradation durch ein 3-Stufen-Modell entsprechend der fortschreitenden Auswirkung der Ionendiffusion, vorzugsweise von Natrium, erklärt werden. Danach würde sich

in der ersten Stufe eine dielektrische Doppelschicht formieren, aus der sich in der zweiten Stufe ein Inversionsfeld ausbilden würde. In der dritten Stufe diffundieren demnach die Ionen in den Emitter der Solarzellen und bilden zunächst Ladungsträger-Traps in der Bandlücke, die sich zu leitenden Pfaden weiterentwickeln können. Diese Vorstellung kann zwar den größten Teil der Schädigungsphänomene erklären, jedoch nur einen Teil der beobachteten Erholungsprozesse. Weitere Arbeiten an diesem Thema sind daher erforderlich.

Zur Förderung der Anwendungen ziviler Mikro-Drohnen im Bereich der Wissenschaft und Technik wird zusammen mit dem Fraunhofer THM in Freiberg am 23. und 24. April 2015 ein Workshop in Freiberg organisiert.

* Die Studie wurde von der CEM Concept GmbH als Aufgabe M 670 des Unterprojektes $x\mu$ -Module, Phase 2, „Potential Induced Degradation“ des Fraunhofer THM in Freiberg, unterstützt von SolarValley Mitteldeutschland und gefördert durch das BMBF, Förderkennzeichen 03SF0400B, durchgeführt.



Methodisches Kompetenzzentrum NCrystED

Das Kompetenzzentrum NCrystED für N -dimensionale Kristallographie und röntgenographische Elektronendichtebestimmung bündelt die Forschungsinfrastruktur zur Untersuchung bevorzugt einkristalliner Materialien. Mit besonderem Schwerpunkt werden Materialien mit komplexen strukturellen Feinheiten auf atomarer Skala, modulierte Strukturen und aperiodische Kristalle, bearbeitet. Hierbei werden moderne Methoden der Kristallographie auch temperaturabhängig eingesetzt:

- die Röntgeneinkristalldiffraktometrie,
- die röntgenographische Elektronendichtebestimmung, unter Einbeziehung der *Maximum-Entropy*-Methode und
- die N -dimensionale Kristallographie.

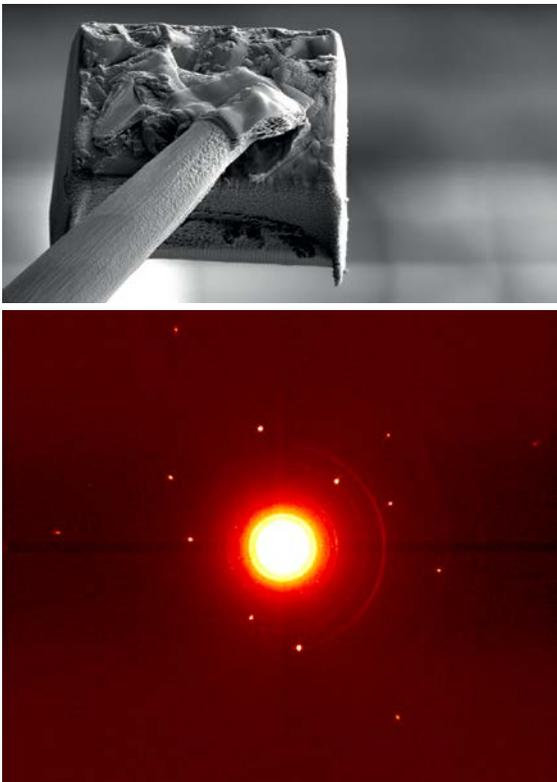


Abbildung 1: Mittels FIB präparierter Einkristall von ca. $50\ \mu\text{m}$ Kantenlänge (oben). Anhand des Beugungsbildes (unten) lässt sich auf einen einphasigen Kristall schließen.

Insbesondere bilden experimentell bestimmte Elektronendichten die Schnittstelle zu theoretisch berechneten. Damit schließt das Kompetenzzentrum NCrystED die Arbeiten des Instituts für Experimentelle Physik zwischen Theorie und Experiment bzw. elektronischer Struktur und chemischen Eigenschaften. Im Fokus der Arbeiten stehen somit vorzugsweise einkristalline Materialien mit komplexen Strukturen aus den Bereichen der Energie- und Stoffwandlung, der Grundlagenforschung, der Mikroelektronik und der Sensorik.

Bearbeitet wurden unter anderem Legierungsnoden für neuartige Ansätze elektrochemischer Energiespeicher, Materialien für die pyroelektrische Wasserstoffherzeugung, Farbstoffe für organische Solarzellen und intermetallische Verbindungen für thermoelektrische Wandler.

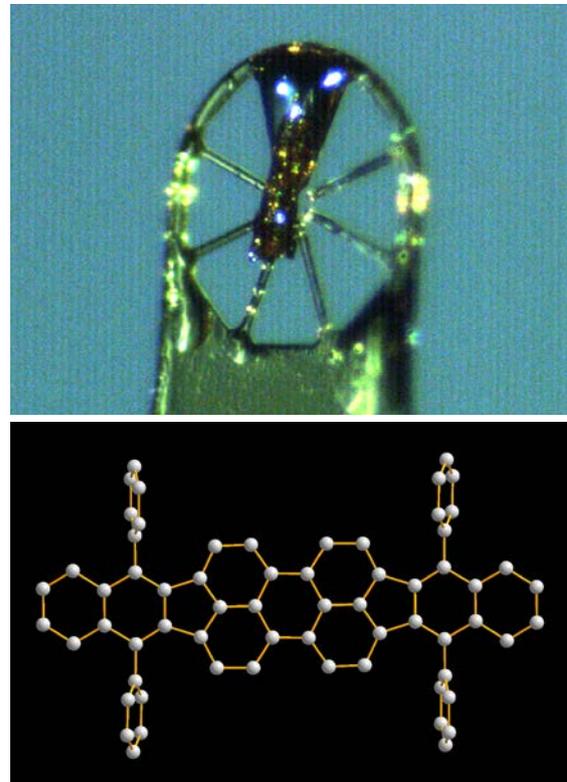


Abbildung 2: Farbstoff-Kristall in Probenhalter (oben). Gelöste Struktur des Farbstoff-Moleküls (unten).

Methodisches Kompetenzzentrum Elektronikmaterialien

Das Methodische Kompetenzzentrum Elektronikmaterialien (MKEM) wurde im Rahmen der Sächsischen Landesexzellenzinitiative „Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch atomares Design und Defekt-Engineering“ (ADDE) im Jahr 2009 gegründet. Organisatorisch wurde das MKEM an die Institute Experimentelle Physik und Elektronik- und Sensormaterialien angegliedert. Seit Ablauf der Projektzeit der Landesexzellenzinitiative im Februar 2014 wird das MKEM im Rahmen des BMWI-Verbundprojektes BaSta als eigene Einheit im Institut für Experimentelle Physik fortgeführt. Seit dem Beginn in 2009 leitet Frau Dr. Barbara Abendroth das MKEM. Aufgaben, die sie als Leiterin des MKEM wahrnimmt, sind zum einen die Laborleitung des Zentralen Reinraumlabor (ZRL) sowie die Vertretung des IEP im Leitungsgremium des ZRL. Zum anderen ist Frau Dr. Abendroth sowohl für das IEP als auch das ZRL Ansprechpartner für interne und externe Kooperationspartner.

Innerhalb der TU Bergakademie Freiberg koordiniert das MKEM den Zugang zu den Anlagen des ZRL und bietet Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Prozessierung dünner Schichten und mikroelektronischer Bauelemente. Dabei wirkt das MKEM als institutsübergreifende Schnittstelle zwischen den Betreibern einzelner Geräte (insbesondere im ZRL) und potenziellen Nutzern. Zusammen mit den Mitarbeitern Dr. Wolfram Münchgesang und Dipl.-Nat. Solveig Rentrop betreibt das MKEM wissenschaftliche und methodische Arbeiten zu strukturellen und elektronischen Eigenschaften nanoskaliger Übergangsmetalloxid-Schichten.

Das Zentrale Reinraumlabor der TU Bergakademie Freiberg

Das Zentrale Reinraumlabor (ZRL) wird an der TU Bergakademie Freiberg gemeinschaftlich von den Instituten Elektronik- und Sensormaterialien, Experimentelle Physik und Angewandte Physik betrieben. Die Direktoren dieser Institute Prof. Yvonne Joseph,

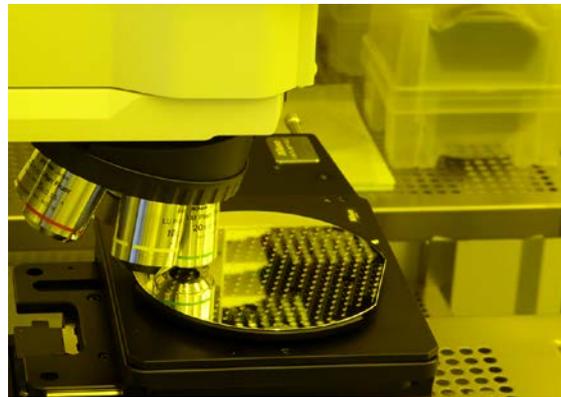


Abbildung 1: Wafer mit Teststrukturen aus dem Reinraum-Praktikum. Nach der Lithographie und dem Ätzen der Metallkontakte wird die Qualität der Strukturierung im Mikroskop geprüft.

Prof. Dirk C. Meyer und Prof. Johannes Heitmann bilden zusammen mit der Leiterin des MKEM Dr. Barbara Abendroth das wissenschaftliche Leitungsgremium. Der Reinraum verfügt über 300 m² Reinraumfläche in den Klassen 5–7 (ISO EN DIN 14644). Alle relevanten Halbleiter-Fertigungsprozesse zur Herstellung von Teststrukturen stehen hier für die Materialentwicklung und Materialphysik zur Verfügung.

Neben den Forschungsarbeiten ist die studentische Ausbildung ein wichtiger Schwerpunkt des ZRL. Alle Studenten der Vertiefungsrichtung Festkörperphysik der Angewandten Naturwissenschaft, sowie die Studenten der Elektronik und Sensormaterialien und Photovoltaik und Halbleitertechnik absolvieren ein Praktikum in diesem Labor. Ebenso wie die beteiligten Institute betreut das MKEM zahlreiche Graduationsarbeiten, während derer Studenten weitere praktische Erfahrungen im Reinraum sammeln.

Umbau und Wiedereröffnung des Zentralen Reinraumlabor

Die Infrastruktur des seit dem Jahr 2008 bestehenden Zentralen Reinraumlabor wurde im Jahr 2014 durch einen umfangreichen Ausbau der Abluft- und Sicherheitstechnik deutlich erweitert. Die



Abbildung 2: Die Gäste der Wiedereröffnungsfeier des Zentralen Reinraumlabor erfreuen sich an den im Foyer des Gellertbaus ausgestellten Postern, wissenschaftlichen Diskussionen und dem Imbiss.

technischen Möglichkeiten, die mit dem Zentralen Reinraumlabor an der TU Bergakademie Freiberg somit geschaffen wurden, erschließen nun ein breiteres Spektrum zur Herstellung und Bearbeitung von Halbleitermaterialien für Forschung und Lehre.

Am 5. März 2015 wurde das so neu ausgestattete Zentrale Reinraumlabor mit einer Festveranstaltung durch den Prorektor für Forschung Prof. Merkel eröffnet. Im Anschluss an sein Grußwort, kamen namhafte Vertreter aus Forschung und Industrie zu Wort und würdigten das Engagement der TU Bergakademie Freiberg auf dem Gebiet der Halbleitermaterialforschung.

So betonte Prof. Lothar Frey, Direktor des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie Erlangen, die Wichtigkeit reproduzierbarer Bedingungen und die mit hohen Standards hergestellten Teststrukturen als wesentlichen Bestandteil einer anwendungsnahen Halbleiter-Materialforschung.

Dr. Stefan Eichler, CTO von Freiberg Compound Materials zeigte sich über die sehr fundierte und anwendungsnahe Ausbildung der Freiburger Absolventen erfreut, die für ihn einen klaren Standortvorteil für die regionale Industrie darstellt.

Prof. Thomas Mikolajick, Direktor der Namlab gGmbH an der TU Dresden und Sprecher des Cool Silicon Clusters ordnete die Freiburger Aktivitäten in

einen sächsischen, deutschen und auch europäischen Kontext ein.

Besonders erfreulich war, dass zahlreiche Kollegen aus verschiedenen Instituten der TU Bergakademie Freiberg und viele Kooperationspartner aus der Region, wie z. B. vom Fraunhofer THM, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), Namlab, Fraunhofer CNT, xFAB und von der TU Dresden sowie Vertreter der Freiburger Industrie, die Zeit fanden an der Wiedereröffnung teilzunehmen. Am Ende der Veranstaltung bestand Gelegenheit für die etwa 60 Gäste den Reinraum zu besichtigen und über den ausgestellten Postern zu bisherigen Arbeiten mit den Freiburger Forschern ins Gespräch zu kommen.

Wissenschaftliche Arbeiten des MKEM

Das MKEM untersucht den Einfluss der atomaren Nah- und Fernordnung auf das resistive Schalten im Stoffsystem $\text{SrTiO}_3\text{-TiO}_2$. Titandioxid und Strontiumtitanat sind jeweils Modellsysteme für binäre bzw. ternäre Übergangsmetalloxide. Die Nahordnung kann dabei durch Stöchiometrievariationen eingestellt (z. B. in ternären amorphen SrO-TiO_2 -Schichten) oder durch Ionenimplantation mit kontrollierter Intensität in einer ganz bestimmten Tiefe der Schicht gestört werden. Letzteres wird vor allem am binären TiO_2 untersucht.

Resistiv schaltende Speicherzellen bestehen aus einer Metall-Isolator-Metall (MIM) Kondensator-Struktur und werden im Zentralen Reinraumlabor der TU Bergakademie Freiberg auf orientierten Silizium-Substraten hergestellt. Die Prozessierung beginnt mit der thermischen Oxidation der Wafer und der Abscheidung der TiN-Bodenelektrode durch reaktives Magnetronspütern. Das elektrisch isolierende Speicheroxid wird anschließend mittels Atomlagenabscheidung hergestellt. Durch dieses Verfahren können Schichten mit atomlagen genauer Kontrolle der Schichtdicke im Bereich weniger Nanometer und, im Falle ternärer Oxide, auch der Kationenzusammensetzung hergestellt werden. Die Deckelekt-

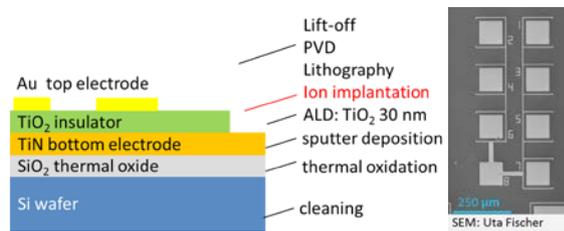


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Schichtaufbaus und der Prozessierungsschritte für MIM-Strukturen. Rechts ist eine Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahme von Gold-Elektroden auf einer ALD-TiO₂-Schicht gezeigt. Die Kontaktflächen sind jeweils 0,1 × 0,1 mm² groß.

rode besteht aus Gold und wird durch thermisches Verdampfen und *Lift-off*-Lithographie aufgebracht und strukturiert. Für elektrische Messungen werden 0,1 × 0,1 mm² große Kontaktflächen verwendet. Abbildung 3 zeigt schematisch den Aufbau und die dazu notwendigen Prozessschritte sowie eine Rasterelektronenmikroskopieaufnahme der Gold-Deckelektroden auf einem TiO₂-Speicheroxid.

Amorphe TiO₂-Isolatorschichten zeigen ein stabiles und gut reproduzierbares Schalten zwischen zwei Zuständen jeweils hoher (ON) und niedriger (OFF) Leitfähigkeit. Das Widerstandsverhältnis R_{OFF}/R_{ON} beträgt etwa 500. Abbildung 4 zeigt die Strom-Spannungs- und Widerstands-Spannungs-Kennlinien für eine 15 nm dicke amorphe TiO₂-Isolatorschicht, gemessen an verschiedenen Kontakt-Pads. In Abbildung 5 ist das wiederholte Auslesen des

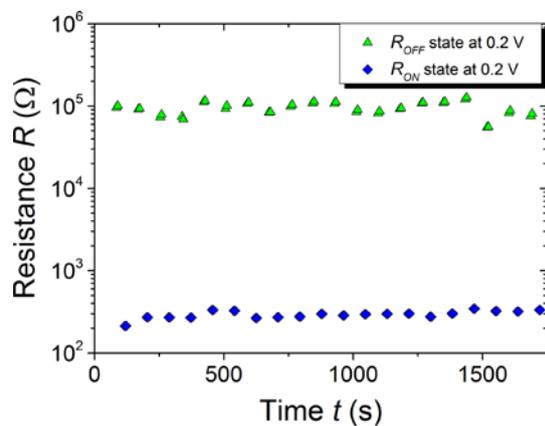


Abbildung 5: Zyklusstabilität der ON- und OFF-Widerstände über 21 Schaltzyklen.

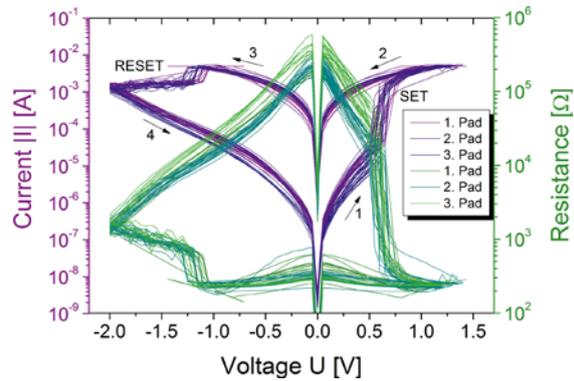


Abbildung 4: Strom-Spannungs- und Widerstands-Spannungs-Kennlinie einer amorphen TiO₂-Schicht.

Widerstandes über 21 Schaltzyklen gezeigt. Durch Tempern bei 450 °C kristallisiert die TiO₂-Schicht in der Anatas-Phase. MIM-Strukturen mit kristallinem TiO₂ zeigen ebenfalls ein Schalten des Widerstandes, allerdings ist dieses flüchtig, d. h. leitfähige Pfade bleiben nicht erhalten und die Speicherzelle wechselt im spannungsfreien Zustand schnell in den OFF-Zustand.

Die Implantation von Edelgasionen mit 30 keV führt durch nukleare Stöße in erster Linie zur Erzeugung von Punktdefekten und Punktdefektclustern im Oxid. Diese Änderungen der Nahordnung finden sowohl in kristallinen als auch in amorphen Oxidschichten statt. Ein Maß der Strukturmodifikation durch Ionenimplantation kann mit der Anzahl der Platzwechsel der Schichtatome durch die nuklearen Stöße angegeben werden. Die Anzahl der dpa

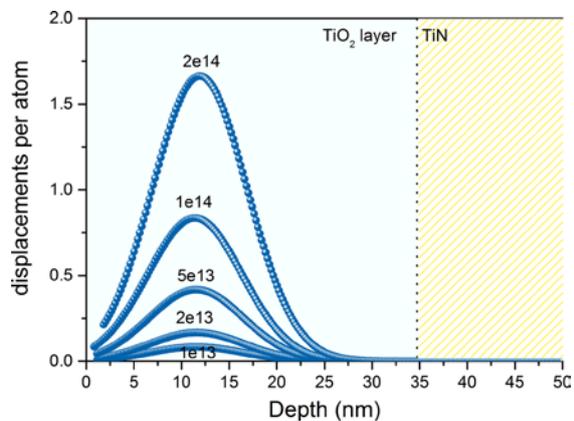


Abbildung 6: Berechnete Anzahl atomarer Platzwechsel in einer TiO₂-Schicht, für 30 keV Kr⁺-Ionen mit SRIM berechnet.

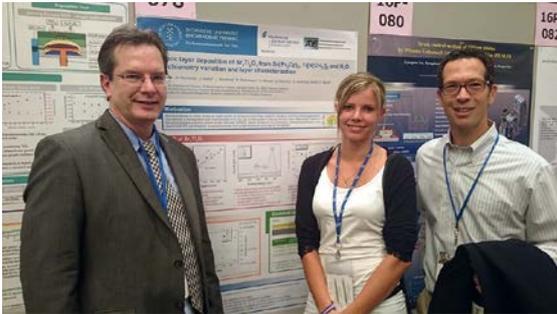


Abbildung 7: Solveig Rentrop zusammen mit Bob Kane (links) und Adam Bertuch (rechts), Mitarbeiter bei Cambridge Nanotech, neben ihrem Poster bei der Internationalen ALD-Konferenz in Kyoto im Juni 2014.

(engl.: *displacements per atom*) wurde mit dem Programm SRIM (*Stopping and Range of Ions in Matter*, www.srim.org) für Kr^+ -Implantation in TiO_2 für verschiedene Ionen-Fluenzen berechnet (siehe Abbildung 6). Dieses Aufbrechen und neu Zusammenfügen atomarer Bindungen führt z. B. zur Variation des Sauerstoffgehalts, zur Modifikation der Verknüpfungen der Strukturpolyeder im TiO_2 und damit verbunden zu lokalen Änderungen der Valenz der Ti-Kationen. Daraus resultieren sowohl die Erzeugung als auch Annihilation elektronischer Defekte und damit eine Modifikation der Mechanismen elektronischer Leitfähigkeit im Oxid. Die Auswirkungen der Ionenimplantation auf die Struktur und die elektronischen Transporteigenschaften sind Gegenstand der aktuellen Arbeiten.

Im Vergleich zu TiO_2 weist SrTiO_3 sowohl eine höhere direkte Bandlücke als auch eine höhere

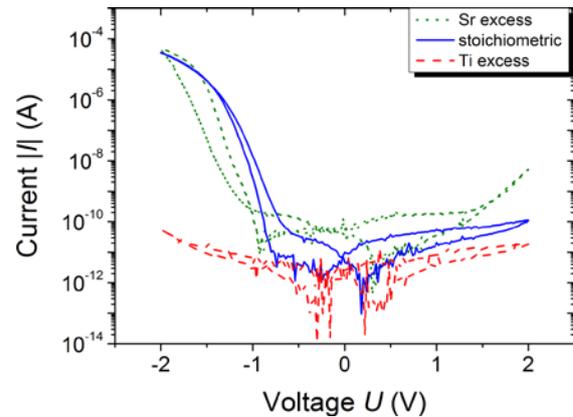


Abbildung 8: Strom-Spannungs-Kennlinien von $\text{Sr}_x\text{Ti}_y\text{O}_z$ -ALD-Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung.

Dielektrizitätskonstante auf. Das Gleichgewichtsphasendiagramm des Systems SrO-TiO_2 sagt für TiO_2 -reiche Zusammensetzungen eine Entmischung in SrTiO_3 und TiO_2 voraus. Jedoch ist es mit der Atomlagenabscheidung möglich, amorphe Schichten mit beliebiger Stöchiometrie zwischen TiO_2 und SrTiO_3 herzustellen. Der Einfluss der Zusammensetzung auf die optischen Eigenschaften wie Brechungsindex und optische Bandlücke sowie elektronische Eigenschaften wurde in der Zeitschrift *Thin Solid Films* veröffentlicht und auf der Internationalen ALD-Konferenz in Kyoto im Juni 2014 mit einem Poster vorgestellt (siehe Abbildung 7). Als Beispiel ist der Einfluss der Kationen-Zusammensetzung auf den Leckstrom der MIM-Strukturen in Abbildung 8 gezeigt. Die Strom-Spannungs-Kennlinien zeigen ein typisches Schottky-Dioden-Verhalten, wobei der Leckstrom mit zunehmendem Ti-Überschuss abnimmt.

Projekte

BMBF-Verbundprojekt CryPhysConcept

Das Verbundprojekt „CryPhysConcept“ zielt auf die Entwicklung eines Zukunftskonzepts für elektrochemische Energiespeicher sowie dessen Umsetzung und Heranführung an den Markt. Dabei sollen unter Leitung von Prof. Dirk C. Meyer moderne Methoden der kristallphysikalischen Struktur- und Eigenschaftsvorhersage, der Präparation sowie der Analyse skalenübergreifend im Zentrum der Arbeiten stehen. Diese werden von der Arbeitsgruppe „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ koordiniert und maßgeblich umgesetzt. Projektmanager ist Dr. Tilmann Leisegang. Weitere Verbundpartner sind die Arbeitsgruppe „Biomining und Extreme Biomimetik“, das Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM Freiberg, das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden, das Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik e. V. Meinsberg und die Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e. V. Dresden-Rossendorf.

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist es, einen Beitrag zur verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energieträgern zu leisten sowie eine Erweiterung und Verbesserung des grundlegenden Verständnisses zur thermischen, elektrischen und stofflichen Speicherung von Energie anzustreben.

Elektrochemische Energiespeicher sind, neben ihrer Bedeutung für die Elektromobilität, insbesondere für den Ausbau dezentraler stationärer Anwendungen im Zusammenhang mit regenerativer Stromerzeugung unerlässlich. Dies betrifft zusätzlich zur Gewährleistung der Netzstabilität besonders den Ausbau regional autarker Energieversorgung.

Getrieben vom Energiekonzept der Bundesregierung sowie durch gesellschaftliche Herausforderungen verzeichnet der Batteriemarkt stetig hohe Zuwachsraten, die in den nächsten Jahren bei über 10 % p. a. bezogen auf den Umsatz liegen werden (ca. 60 Mrd. USD in 2015). Gleichzeitig stiegen die Förderausgaben der Bundesregierung für die Energieforschung um fast 15 % – im Bereich der elekt-



rochemischen Energiespeicher um fast 65 % – auf insgesamt 809 Mio. EUR in 2013.

Neben Beiträgen zur Fortentwicklung etablierter Technologien zielt das Vorhaben zentral auf die Bereitstellung von Modellen, die voraussichtlich vollkommen neue Systeme darstellen werden. Bezüglich der Leistungsparameter und dem erforderlichen Lastmanagement sollen diese ideal auf die Anwendungsfälle autarker Energieversorgungssysteme in Zusammenhang mit regenerativer Stromerzeugung unter Berücksichtigung strategischer Ressourcen-, Umwelt- und Kostenfragen angepasst sein.

Hierfür kommen moderne Methoden der Kristallographie, der Kristallchemie und der kristallphysikalischen Struktur- und Eigenschaftsvorhersage zum Einsatz. Die Klasse der oxidischen Kristalle steht besonders im Fokus des Projekts, da sie eine breite Palette von gekoppelten (Energiewandlungs-) Phänomenen aufweisen, welche bisher überwiegend Verwendung in elektronischen Bauteilen finden. Außerordentlich interessante Stoffe mit noch ungeahnten Potentialen stellen auch Biomaterialien dar. Diese natürlichen Komposite sind wichtige Substanzen in der belebten Natur und hervorragend an Prozesse angepasst, die mit den elektrochemischen Prozessen vergleichbar sind. Im Rahmen des Projekts werden folglich auch diese Materialien und biomimetische Prinzipien hinsichtlich neuartiger elektrochemischer Speicherkonzepte untersucht.

Im zurückliegenden Jahr stand die praktische Ausarbeitung der theoretisch erarbeiteten Konzepte aus dem Vorjahr im Vordergrund. Dies betraf einerseits

die Etablierung einer Kristallographie-basierten Methode zur Identifizierung neuer Festelektrolyt- und Interkalationsmaterialien und andererseits die Präparation von Materialien für die verschiedenen Batteriekonzepte auf Basis multivalenter Ionenspezies und Chitin. Herauszuheben sind diesbezüglich vier Auszeichnungen für die aktuellen Arbeiten – ein Posterpreis, ein *1st Award for the best presentation* und zwei Stipendien: (1) für die Durchführung eines Besuchs der Bar-Ilan Universität Israel (Gruppe von Prof. D. Aurbach) zur Kooperationsförderung zwischen der TU Bergakademie Freiberg und israelischen Forschungseinrichtungen, (2) ein Besuch der Staatlichen Universität Moskau (Gruppe von Prof. L. V. Yashina) für die Vertiefung der Zusammenarbeit im Bereich der Batteriematerialien.

Die internationale Vernetzung wurde zum einen durch einen zweiwöchigen Aufenthalt an der Staatsuniversität Samara (Gruppe von Prof. V. A. Blatov), zum anderen durch den Beitritt der TU Bergakademie Freiberg zum Ioffe-Röntgen-Institut (IRI) weiter ausgebaut. Das IRI zielt auf die langfristige Kooperation zwischen deutschen und russischen Wissenschaftlern sowie auf die Materialforschung mit Synchrotronstrahlung und Neutronen, insbesondere auf Energiematerialien. In diesem Zusammenhang konnte auf deutscher Seite eine Förderung in Höhe von 2 Mio. Euro für das vom Institut für Experimentelle Physik der Bergakademie koordinierte Verbundprojekt „Synchrotron- und Neutronenbasierte Untersuchungen zur Energiespeicherung“ (SyNeSt-hESia) erhalten werden.

Eine nationale Vernetzung erfolgte durch das Engagement im Rahmen der Initiative *Energy Saxony* u. a. zur Gründung eines Arbeitskreises mit Schwerpunkt „Speicher- und Netzdienstleistungen“. Hierbei decken sich die Ziele des Projekts mit denen der Initiative, wobei sich regionale Kompetenzträger auf dem Gebiet der Energiespeicherung aus Wissenschaft und Industrie vernetzen, um neuartige Speicherkonzepte voranzutreiben und vereint die Aktivitäten nach außen zu repräsentieren.

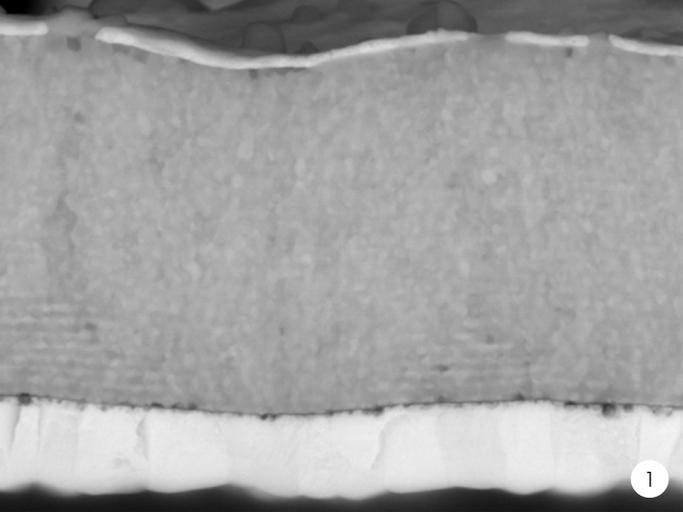
Nach 24 Monaten Projektlaufzeit ist es gelungen, eine breite Wissensbasis zu elektrochemischen Ener-

giespeichermaterialien und Energiespeichertechnologien zu erarbeiten. Der erlangte umfangreiche Kenntnisstand ist bisher in sechs Patente eingegangen – darunter sind zwei internationale Anmeldungen –, in 22 wissenschaftlichen Artikeln zur Veröffentlichung eingereicht – davon sind 21 Artikel bisher erschienen – und in 32 Konferenzbeiträgen vorgestellt – darunter sind 10 internationale Beiträge – sowie in vier studentischen Projektarbeiten und zwei Bachelorarbeiten dokumentiert. Im Juni 2014 erschien das Buch „Review on Electrochemical Storage Materials and Technology“ im AIP Publishing Verlag – Herausgeber sind Dirk C. Meyer und Tilmann Leisegang. Der Artikel „Supercapacitors specialities – Materials review“ von Vasile V. N. Obreja zählte mehrere Monate zu den „*Most read this month*“. Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit erfolgte ein Radiointerview sowie die Veröffentlichung weiterer vier Artikel im Projektzusammenhang in unterschiedlichen Medien.

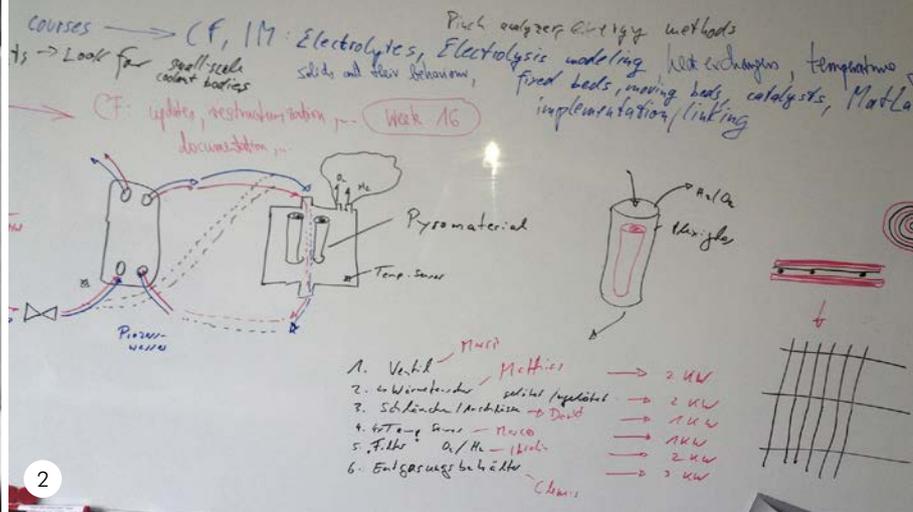
Es steht aktuell ein Algorithmus zur Materialbewertung, insbesondere der negativen Masse von elektrochemischen Zellen, unter Einbeziehung der Rohstoffverfügbarkeit, des Recyclings und elektrochemischer Eigenschaften, zur Verfügung. Ferner ist ein Kristallographie-basierter Ansatz ausgearbeitet worden, der zur Identifikation neuer Ionenleiter und Interkalationsmaterialien eingesetzt wird.

In experimenteller Hinsicht wurden verschiedene Labormuster realisiert. Es konnte damit u. a. gezeigt werden, wie das gut verfügbare und aus Meeresschwämmen gewonnene Chitin für die Erhöhung der Kapazität eines Elektrolytkondensators um 10 % erfolgreich eingesetzt werden kann. Auch der *Proof-of-Principle* für eine *All-solid-state-all-in-one*-Einkristallbatterie auf Basis eines einzigen Materials, dem SrTiO_3 , wurde erfolgreich demonstriert. Die aktuellen Arbeiten zielen auf die Realisierung einer Festkörperbatterie auf Basis multivalenter Ionenspezies.

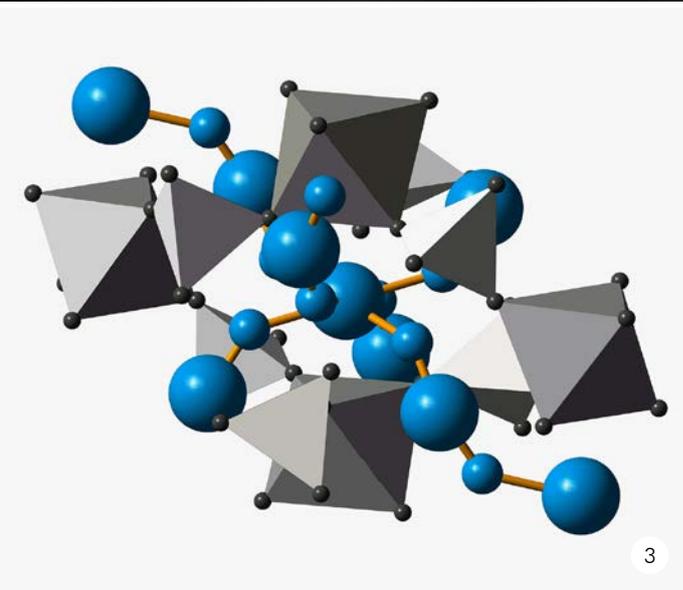
Die Bereitstellung der finanziellen Mittel erfolgte durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie durch den Projektträger Jülich (PTJ).



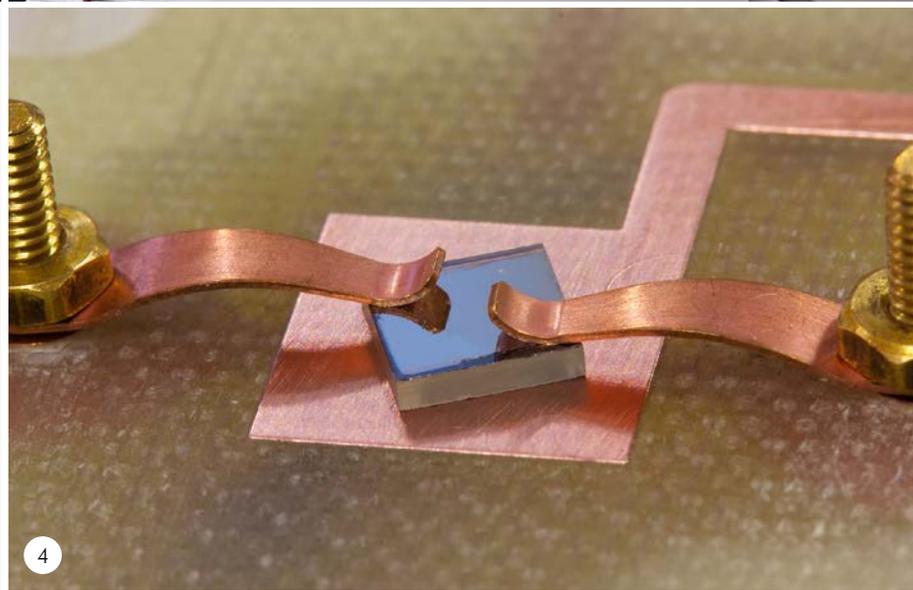
1



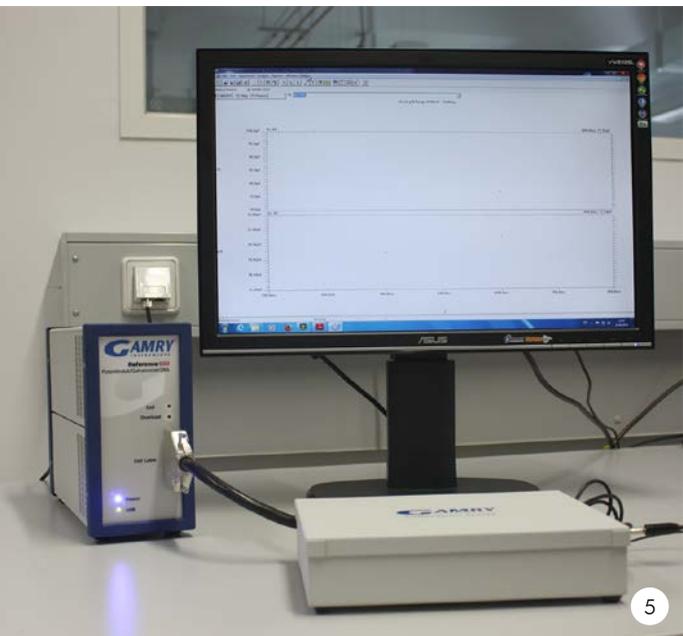
2



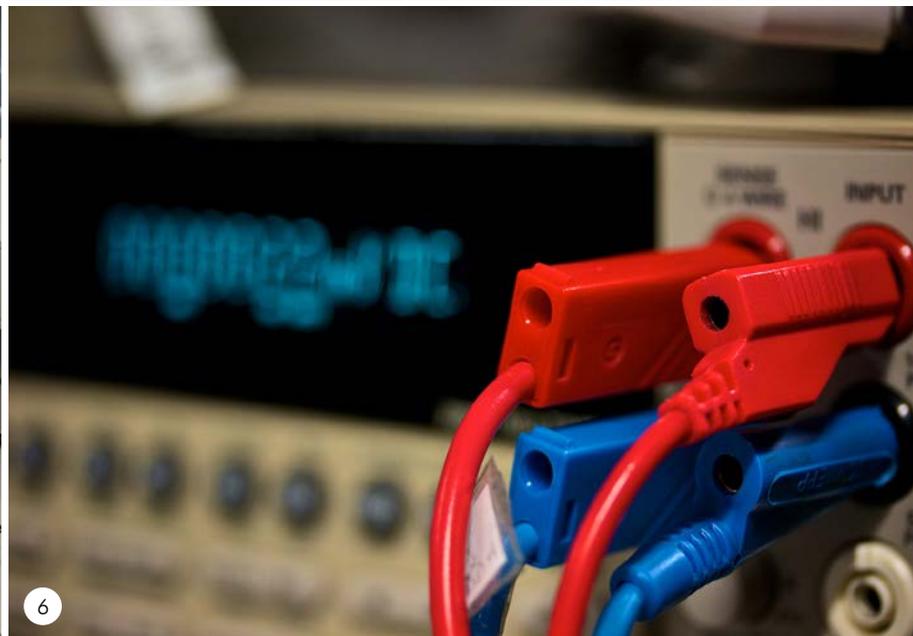
3



4



5



6

- 1 Kontaktierter Aluminium-Ionen-Leiter
- 2 Konzeption eines neuen Batteriekonzepts
- 3 Kristallstruktur des Natriumbetaaluminats
- 4 Muster einer All-solid-state-all-in-one-Batterie
- 5 Messplatz für die Impedanzspektroskopie
- 6 Elektronisches Steuergerät
- 7 Labormuster eines Elektrolytkondensators



7

BMBF-Verbundprojekt

SyNeSteSia – Synchrotron- und Neutronen-basierte Untersuchungen zur Energiespeicherung

SyNeSteSia (engl. „Synchrotron and Neutron Studies for Energy Storage“) ist ein gemeinsames deutsch-russisches Forschungsvorhaben im Bereich der Energiespeichertechnologien, das von der TU Bergakademie Freiberg unter der Leitung von Prof. Dirk C. Meyer koordiniert wird. Das Projektmanagement und damit den Hauptteil der laufenden Arbeiten leistet Frau Dr. Anastasia Vyalikh. Das Verbundprojekt wird im Rahmen der ersten Kooperationsinitiative des Ioffe-Röntgen-Instituts auf dem Gebiet „Erforschung kondensierter Materie an Großgeräten mit Neutronen- und Synchrotronstrahlung“ gefördert, die vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Ministerium für Bildung und Wissenschaft der Russischen Föderation koordiniert wird. Partner des Ioffe-Röntgen-Instituts sind auf deutscher Seite das Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin und das Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim. Auf russischer Seite sind die *Lomonosov Moscow State University*, das *Joint Institute for Nuclear Research* in Dubna und das *Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry* in Novosibirsk beteiligt. Das Gesamtbudget beträgt jeweils eine Million Euro für den Zeitraum der Jahre 2014 bis 2017.

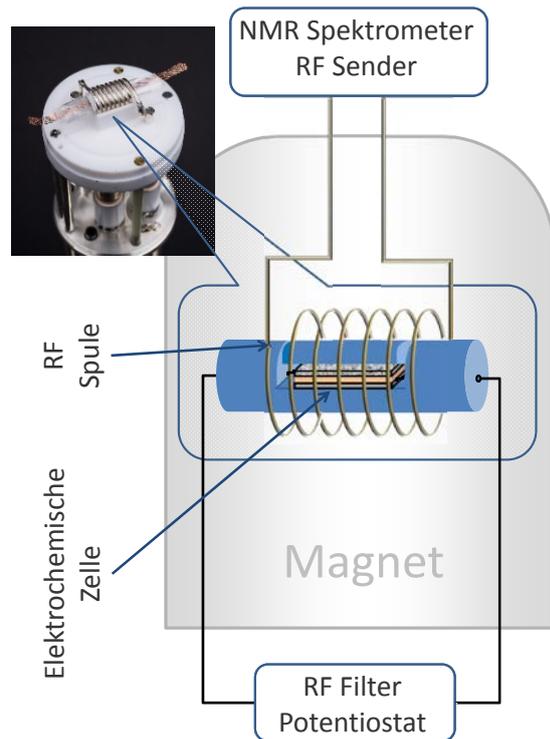


Abbildung 2: Aufbau für *In-situ*-NMR-Experimente. Innerhalb einer RF-Spule im NMR-Probenkopf befindet sich eine mit einem externen Potentiostaten verbundene elektrochemische Zelle. Der Ausschnitt zeigt einen speziell angefertigten NMR-Probenkopf für *In-situ*-Messungen mit Plastik-Bag-Zelle. Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Dr. O. Pecher und Prof. C. P. Grey (University of Cambridge, UK) sowie NMR Service GmbH (Erfurt).

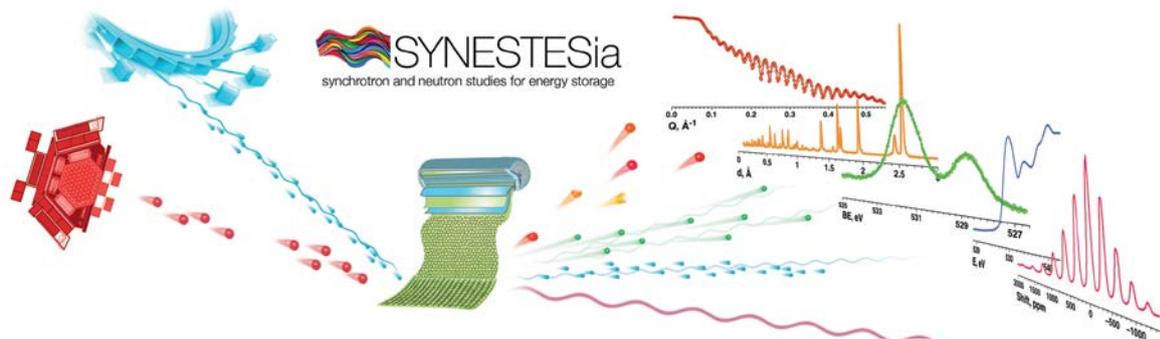


Abbildung 1: Graphische Darstellung des Projekts SyNeSteSia.

Im wissenschaftlichen Fokus liegt die Entwicklung neuartiger Charakterisierungsmethoden, die auf dem Einsatz von Großgeräten wie Neutronenquellen und Elektronenspeicherringen basieren (siehe Abbildung 1). Vorrangiges Ziel ist die Aufklärung chemischer Prozesse und von Strukturveränderungen im Bereich der elektrochemischen Grenzflächen *in operando*, um letztlich Beiträge für eine nachhaltige und umweltverträgliche Energieversorgung zu erbringen. Dafür werden elektrochemische Zellen entwickelt, welche die Bestimmung der Strukturen an der Phasengrenzfläche sowie der Bildung metastabiler und reaktiver Phasen während des elektrochemischen Prozesses ermöglichen. Diese Zellen

werden dann u. a. für die Charakterisierung mittels Nuklearer-Magnetresonanz-(NMR)-Spektroskopie (siehe Abbildung 2) und Röntgenanalytik (am IEP) sowie weiterer Methoden an den beschleunigerbasierten Photonen- (u. a. BESSY II) (siehe Abbildung 3) und Neutronenquellen (JINR) eingesetzt, um die ablaufenden Prozesse in Brennstoffzellen und Batterien zu untersuchen. Der Einsatz der komplementären Methoden wird ein tieferes Verständnis der relevanten Prozesse an elektrochemischen Grenzflächen ermöglichen, da neuartige Informationen über die Struktur im Bereich der Grenzfläche, die Ionenmobilität und den elektronischen Zustand zu erwarten sind.

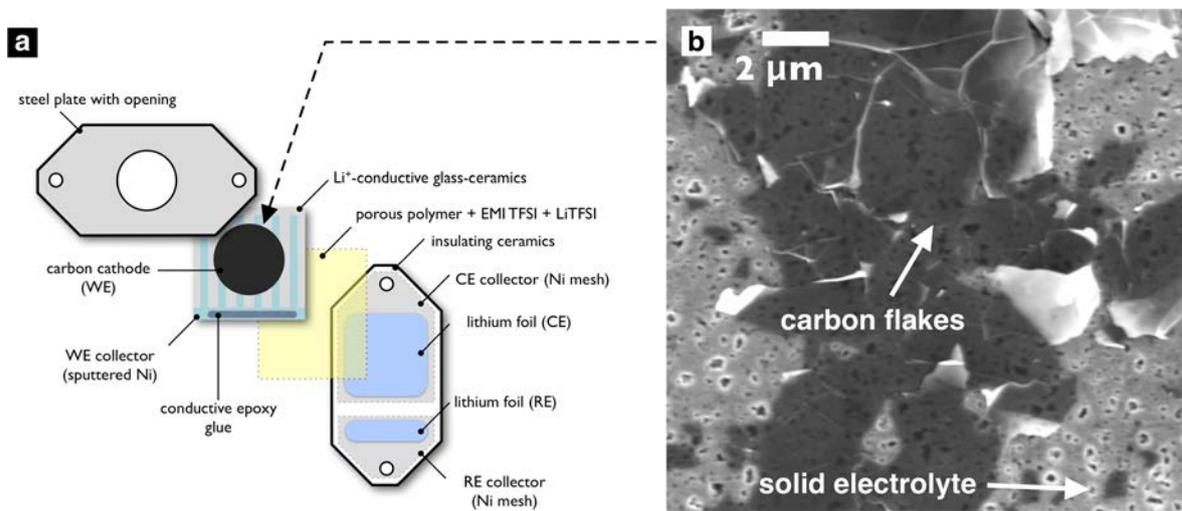


Abbildung 3: Elektrochemische Zelle für XPS-Untersuchung *in operando*: (a) Zellendesign, (b) REM-Aufnahme der Mikrostruktur der Kohlenstoff-Kathode. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von: D. M. Itkis *et al.*, „Reactivity of Carbon in Lithium–Oxygen Battery Positive Electrodes“, *Nano Letters* 13 (2013) 4697–4701. Copyright © 2013 American Chemical Society.

BMU-Verbundprojekt

BaSta – Batterie Stationär in Sachsen

Natrium und Schwefel sind als mögliche Aktivmaterialien kostengünstig und in großen Mengen verfügbar. Das Prinzip, Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Na-S-Akkumulators ist für stationäre Hochtemperatur-Akkumulatoren nachgewiesen und wird seit Jahren erfolgreich eingesetzt.

Für langfristige, groß angelegte Energiespeicheranwendungen im Bereich von 100 MW besitzt die Natrium-Schwefel-Batterie-Technologie momentan den größten Marktanteil und ist damit von globalem Interesse. Die Ford Motor Company entwickelte die erste Natrium-Schwefel-Batterie in den 1960er Jahren. Dies war aufgrund der zuvor entdeckten Verbindung $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$ (β -Aluminiumoxid) möglich, welche eine hohe Leitfähigkeit für Natriumionen bei der Betriebstemperatur von 300 °C aufweist. Diese wurde von Ford für Elektrofahrzeuge in den 1990er Jahren verwendet. NGK Insulators Ltd. aus Japan entwickelte auf β -Aluminiumoxid basierende keramische Elektrolyten und verbesserte so das Natrium-Schwefel-Konzept. Gemeinsam mit der Tokyo Electric Power Company (TEPCO) konnte so der Anwendungsbereich dieser Energiespeichertechnologie erweitert werden. Im Jahr 2003 startete NGK die Produktion im kommerziellen Maßstab.

Eine Steigerung der Effizienz sowie eine deutlich höhere Sicherheit wird von Niedrigtemperatur-Na-S-Akkumulatoren erwartet, die ohne Heizung bei Raumtemperatur betrieben werden können. Das Verbundprojekt BaSta, das durch das Fraunhofer IWS in Dresden koordiniert wird, beschäftigt sich daher mit der Entwicklung einer Niedrigtemperatur-Natrium-Schwefel-Batterie und der dazugehörigen Fertigungstechnologien für stationäre Anwendungen. Auf Freiberger Seite koordinieren Dr. Tilmann Leisegang und Dr. Barbara Abendroth die Arbeiten.

Gemeinsam mit dem Institut für Werkstoffwissenschaft (Prof. David Rafaja) ist die Arbeitsgruppe um



Prof. Dirk Meyer für die Multiskalen-Betrachtung der verschiedenen im Projekt entwickelten Material- und Akkumulatorkonzepte verantwortlich. Dies betrifft die Aufklärung von kristallographischen Strukturen und Phasen, von festkörperphysikalischen und -chemischen Prozessen, sowie die Identifikation von Defekten, deren Bildungsmechanismen und Auswirkungen auf die Eigenschaften des Akkumulators.

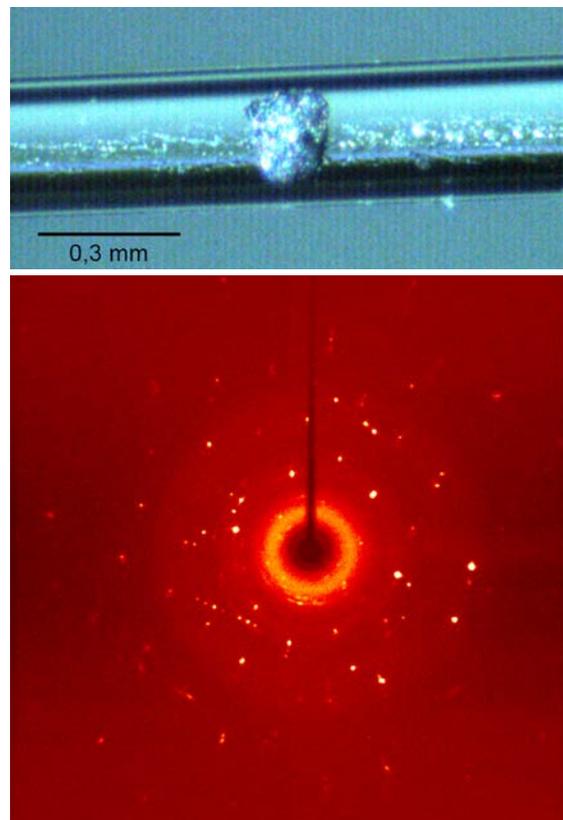


Abbildung 1: Anoden-Legierung unter Ar-Atmosphäre in einer Glaskapillare eingebettet (oben). Röntgenbeugungsaufnahme mit Hinweis auf ausgedehnte kristalline Bereiche (unten).

Insbesondere standen im Jahr 2014 die kristallographische Struktur (Abbildung 1) und Morphologie von Festelektrolyten und deren Auswirkungen auf die ionische Leitfähigkeit, die Degradation der kristallographischen Struktur während des Betriebs von Testakkumulatoren (Abbildungen 2, 3) sowie die Betrachtung der Phasenstabilität von vielversprechenden Anodenmaterialien durch quantenmechanische Rechnungen im Mittelpunkt der Arbeiten.



Abbildung 2: Batteriezelle mit Al-beschichtetem Kapton-Fenster für *In-operandi*-XRD-Messungen: Kathode (links), Anode (rechts).

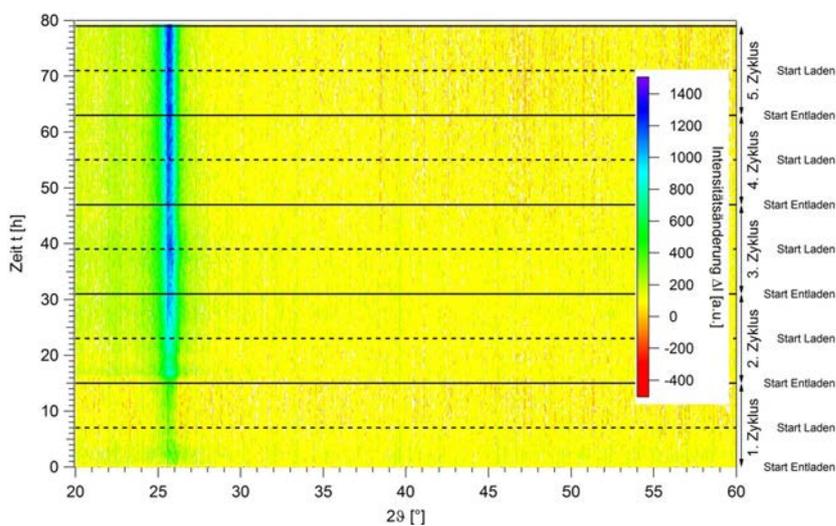


Abbildung 3: *In-operandi*-XRD-Phasenänderung eines Niedertemperatur-Na-S-Akkumulators innerhalb der ersten fünf Lade-/Entladezyklen.

Chemical Crystallography Beamline am DESY-Synchrotron Petra III

Ab dem Jahr 2016 wird das Institut für Experimentelle Physik der TU Bergakademie Freiberg unter Leitung von Prof. Dirk C. Meyer Verantwortung am Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY in Hamburg übernehmen. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts „Erforschung kondensierter Materie an Großgeräten“ ist es gelungen, eine Beteiligung an der *Chemical Crystallography Beamline* zu erreichen. Die Messstation ist eine der neuen Experimentierstationen der Erweiterung des Speicherrings Petra III, deren Rohbau im Jahr 2014 fertiggestellt und deren infrastruktureller Innenausbau begonnen wurde.

Das Helmholtz-Zentrum DESY ist eines der führenden Beschleunigerzentren weltweit. Das Synchrotron Petra III ist seit 2009 in Betrieb und derzeit die brillianteste Speicherring-Röntgenstrahlungsquelle der Welt (siehe Abbildung 1). Die 14 Messplätze mit bis zu 30 Instrumenten bieten schon heute Forschern aus vielen Bereichen einzigartige Experimentiermöglichkeiten mit hoch-intensivem, sehr kurzwe-

ligem Röntgenlicht. Weitere werden ab 2016 zur Verfügung stehen und eine davon ist die *Chemical Crystallography Beamline*. Das Strahlrohr wird mit einem Undulator zur Monochromatisierung und zwei Diffraktometern in Kappa- (siehe Abbildung 2) und Eulergeometrie optimale Voraussetzungen für Röntgenbeugungsexperimente bereitstellen und seinen Platz in der Halle Ost haben.

Neben chemischer Kristallographie stehen vor allem Schwerpunkte der Materialwissenschaften sowie der Geo-, Bio- und Umweltwissenschaften im Fokus der geplanten Forschung. Typische Anwendungen umfassen dabei sowohl diffuse Streuung, Elektrendichteanalysen und Phasentransformationen, als auch fehlgeordnete und modulierte Strukturen, auch unter dem Einfluss von externen Feldern, hohen Drücken und hohen bzw. tiefen Temperaturen. Dahingehend werden die Instrumentierung des Messplatzes und die Planung der Experimente bereits vor Ort am DESY von dem Freiburger Doktoranden Carsten Richter in enger Zusammenarbeit



Abbildung 1: Die *Chemical Crystallography Beamline* wird ab 2016 als Messstation des 2009 in Betrieb gegangenen Synchrotrons PETRA III für die Forschung mit Photonen zur Verfügung stehen. Sie befindet sich in der Erweiterung Halle Ost und wird derzeit infrastrukturell ausgestattet. LINAC II, PIA und DESY II dienen der Ringquelle PETRA als Vorbeschleuniger (Foto mit freundlicher Genehmigung von DESY, Copyright © DESY 2014).

mit dem Wissenschaftler Dr. Dmitri Novikov vorgenommen. Ein Kooperationsvertrag ermöglicht es nun auch Freiburger Studenten unkompliziert die Einrichtungen des DESY für Messungen und Praktika zu nutzen. Diese Möglichkeit wurde bereits in ersten themenbezogenen Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten wahrgenommen.

Das konkrete Forschungsthema der Freiburger soll einen wichtigen Beitrag zu einer vergleichsweise neuen Methode der Strukturuntersuchung liefern. Aus der energieabhängigen Streuung von Röntgenstrahlung, bekannt als *Diffraction Anomalous Fine Structure* (DAFS) bzw. *Anomalous Anisotropic X-ray Scattering* (AAS), lassen sich, ähnlich wie aus der Absorption (XAFS), Parameter der unmittelbaren lokalen Umgebung der resonant angeregten Streuer gewinnen. Dabei kommt die präzise Einstellung der Photonenenergie als vielleicht bedeutendste Stärke des Synchrotrons im Vergleich zu konventionellen Röntgenquellen zum Tragen. Die Abhängigkeit des Streuvermögens von Polarisation und Energie der elastisch gestreuten Röntgenphotonen hat ihre Ursache in der lokalen Dichte der unbesetzten Elektronenzustände. Deren Untersuchung liefert Informationen über die lokale Struktur des resonant angeregten Atoms. Aus Kombination dieses spektroskopischen Zugangs zu Nahordnungsinformationen einer Substanz mit dem Impulsübertrag der Streuung gewinnt man eine einzigartige Aussagekraft für ausgewählte periodische Teilstrukturen oder Elektronenzustände bestimmter Symmetrie. Daraus leitet sich eine erhöhte Sensitivität auf anderweitig schwer zugängliche Abweichungen von der Idealstruktur und Gitterdefekte wie Leerstellen und Fehlbesetzung, welche für die Funktion vieler moderner Materialien ausschlaggebend sind, ab.



Abbildung 2: Das neue Kappa-Diffraktometer der *Chemical Crystallography Beamline* wurde bereits in der ehemaligen DORIS-Halle getestet.

Deutsch-Russisches Labor: Lenkungsausschuss tagt an der Bergakademie

Kooperationen in der Wissenschaft werden zwischen Russland und Deutschland seit Jahren auf höchster politischer Ebene gefördert. Ein gutes Beispiel für eine erfolgreiche Kooperation ist das Deutsch-Russische Labor am Elektronenspeicherring BESSY II am Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB), das im Jahr 2011 bereits sein 10-jähriges Bestehen feierte.

Neben u. a. dem HZB, der FU Berlin und der Sankt Petersburger Staatlichen Universität, ist das Institut für Experimentelle Physik an der TU Bergakademie Freiberg einer von acht Kooperationspartnern. Die in dieser Form einzigartige Kooperation arbeitet eng auf dem Gebiet der Instrument- und Methodenentwicklung an der Synchrotronstrahlungsquelle zusammen.

Die Infrastruktur dieses Labors, die die Partner in mehreren Stufen aufgebaut haben, soll im Rahmen von gemeinsamen Forschungsprojekten von deutschen und russischen Arbeitsgruppen für Experimente genutzt werden. Im Zentrum des Deutsch-Russischen Labors steht ein Strahlrohr für weiche Röntgenstrahlung, mit der die atomare Struktur von Materie erforscht werden kann. „Versuche mit

Synchrotronstrahlung spielen in der Grundlagenforschung eine sehr große Rolle“, sagt einer der leitenden Wissenschaftler, Prof. Serguei Molodtsov. Seit Mitte des Jahres 2013 existiert auch ein Undulator-Messplatz, mit dem das Deutsch-Russische Labor zu einem der weltweit führenden Messplätze für winkel-, spin- und orts aufgelöste Photoelektronenspektroskopie zählt. Dort können Untersuchungen von magnetischen Materialien in Dimensionen des Nanometerbereichs vorgenommen werden. „Wir freuen uns sehr, ein gleichberechtigter Partner in diesem Vorhaben zu sein und somit die Verankerung der Bergakademie an Großforschungseinrichtungen weiter zu stärken“, sagt Institutsdirektor Prof. Dirk C. Meyer. „Die Beiträge der TU Bergakademie Freiberg werden für die Entwicklung des Deutsch-Russischen Labors bedeutend sein, vor allem auch für die künftige Nutzung des Europäischen Freielektronen-Lasers, der zurzeit in Hamburg aufgebaut wird“, hebt der Vorsitzende des Lenkungsausschusses, Prof. Eckart Rühl (FU Berlin) hervor.

Der Lenkungsausschuss tagte am 10.10.2014 im Universitätshauptgebäude der Bergakademie. Er berät und entscheidet über die weitere Entwicklung des Deutsch-Russischen Labors. Es werden Anträge auf Strahlzeit der Projekte der Vertragspartner bewertet und neue Messzeiten vergeben. Zudem werden bestehende und neu beantragte Projekte auf ihre wissenschaftliche Exzellenz und Qualität geprüft.

Abgerundet wurde die Sitzung des Lenkungsausschusses mit dem Besuch des neueröffneten Lomonossow-Hauses.



ESF-Nachwuchsforschergruppe PyroConvert

Die ESF-Nachwuchsforschergruppe PyroConvert ist ein interdisziplinäres Team zehn junger Nachwuchsforscher aus den ingenieurs-, natur- und wirtschaftswissenschaftlichen Bereichen, die unter der Leitung von Prof. Dirk C. Meyer fach- und institutsübergreifend zusammenarbeiten. So ist ein Teil am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Prof. Bernd Meyer), der andere am Institut für Experimentelle Physik (Prof. Dirk C. Meyer) angesiedelt. Moderator und Mentor der Nachwuchsforschergruppe ist Dr. Tilmann Leisegang. Innerhalb von PyroConvert werden Konzepte für die Nutzung von Niedertemperaturabwärme für Energie- und Stoffwandlungsprozesse erarbeitet. Durch die interdisziplinäre Arbeitsweise sowie die Verknüpfung von Wissenschaft, angewandter Forschung und Entwicklung qualifizieren sich die jungen Nachwuchswissenschaftler so insbesondere für die modernen Disziplinen Elektrochemie, Energie- und Stoffwandlung bzw. Energiespeicherung und Materialanalytik.

Nach Schätzungen verschiedener Energieagenturen und Institutionen gehen heute weltweit mehr als 50 % des für die technische Nutzung gewandelten Energieaufkommens in Form von Abwärme verloren. Diese Abwärme – insbesondere in Form von in herkömmlichen Anlagen nicht mehr arbeitsfähiger Niedertemperaturabwärme – nutzbar zu machen ist Ziel der Nachwuchsforschergruppe. Einen Kern des Vorhabens bildet die wissenschaftliche Untersuchung, Entwicklung und technische Erprobung innovativer Ansätze auf Grundlage der Umwandlung von Niedertemperaturabwärme (ungenutzter thermischer Energie) in Wasserstoff (variabel einsetzbare chemische Energie) durch Anwendung neuartiger pyroelektrischer Funktionsmaterialien. Diese pyroelektrischen Materialien reagieren auf Temperaturänderungen mit der Bereitstellung von elektrischen Ladungen auf der Oberfläche bzw. dem Ausbilden starker elektrischer Felder und Spannungen bis in den Megavolt-Bereich und sind daher prädestiniert für Anwendungen, die eine Umwandlung thermischer Energie in andere Energieformen, wie elektrische oder chemische fordern.



PYROCONVERT

Pyroelektrische Funktionsmaterialien
für Energie- und Stoffwandlung

Im Bereich der Materialsynthese und diesbezüglicher Anwendungen sind das Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien, das Kurt-Schwabe-Institut Meinsberg und die GMBU Dresden-Rossendorf am Projekt beteiligt.

Nach insgesamt fast 30 Monaten Projektlaufzeit ist es der Nachwuchsforschergruppe gelungen, eine breite Wissensbasis zu pyroelektrischen Funktionsmaterialien und Anwendungen zu erarbeiten. Der erlangte umfangreiche Kenntnisstand ist bisher in drei Patenten dokumentiert – darunter sind zwei internationale Anmeldungen –, in sieben wissenschaftlichen Artikeln zur Veröffentlichung eingereicht – davon sind vier Artikel bisher erschienen – und in 23 Konferenzbeiträgen vorgestellt – darunter sind vier internationale Beiträge – sowie in neun studentischen Projektarbeiten, fünf Bachelorarbeiten, fünf Masterarbeiten und einer Dissertation systematisiert. In der Material- bzw. Stoffdatenbank (PyroMat) werden gegenwärtig mehr als 1.600 Materialsysteme sowie mehr als 4.400 pyroelektrische Koeffizienten aus insgesamt 1.300 Publikationen sorgfältig zusammengefasst, systematisiert und dokumentiert. Das Know-how ist auf einer Internetseite (www.pyroconvert.tu-freiberg.de) entsprechend nach außen sichtbar. Diese Plattform soll zukünftig in das in Gründung befindliche „Freiberg-Zentrum für pyroelektrische Anwendungen (FZPA)“ überführt werden, welches die Kompetenzen zu pyroelektrischen Materialien entlang der gesamten Innovationskette in der Region Freiberg bündelt. Dank der interdisziplinären Aufstellung der Gruppe konnten Kompetenzen von der Datenerfassung, Systematisierung, Konzeptentwicklung, Materialpräparation, Modellierung/Simulation, Charakterisierung und Anwendung bis hin zu verschiedenen Testständen

und Demonstratoren aufgebaut bzw. erweitert werden. Das Ziel, einen Demonstrator zur pyroelektrischen Wasserstoffherzeugung zu konstruieren, wurde konsequent umgesetzt. Der „PyroGen“ ist so konzipiert, dass er einerseits signifikante Mengen des Wasserstoffes über einen großen Zeitraum automatisiert erzeugt und andererseits über spezifische Sensoren und Analysegeräte mit hoher Zeitaufösung verfügt. Damit ermöglicht er verschiedenste Prozessführungen bei gleichzeitig umfangreichen Pro-

zessanalysen. Somit fungiert der Demonstrator als Brücke für den Technologietransfer, welcher nach Bestimmung der wesentlichen Betriebsparameter eingeleitet wird.

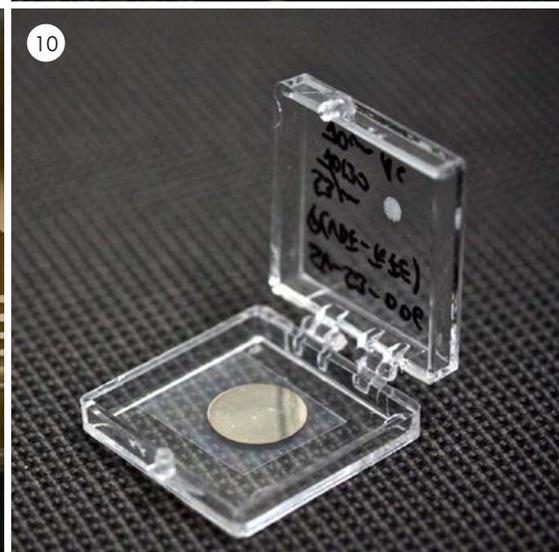
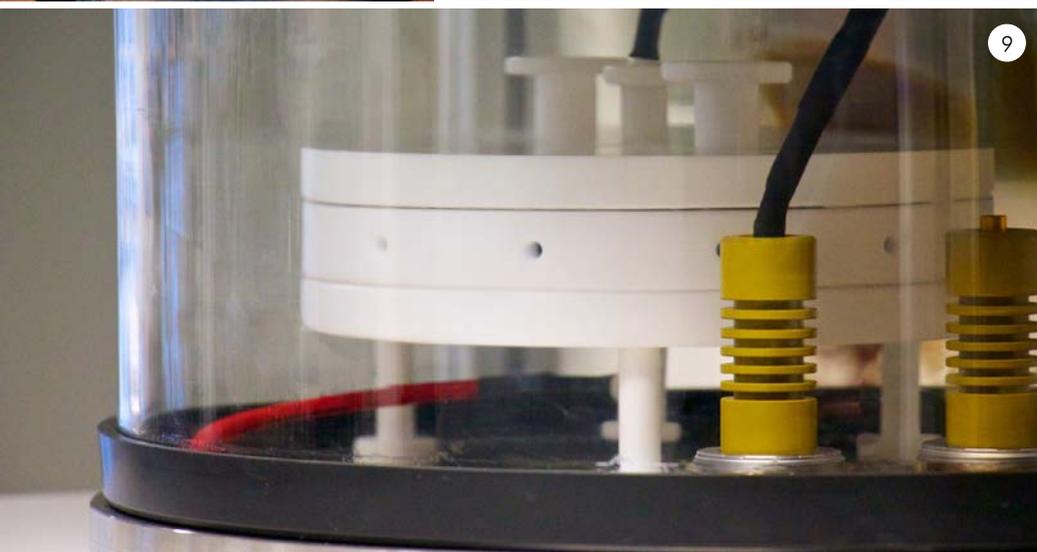
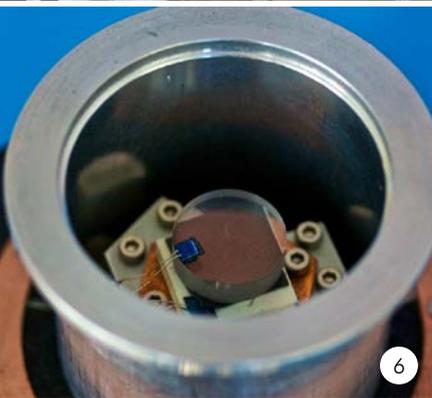
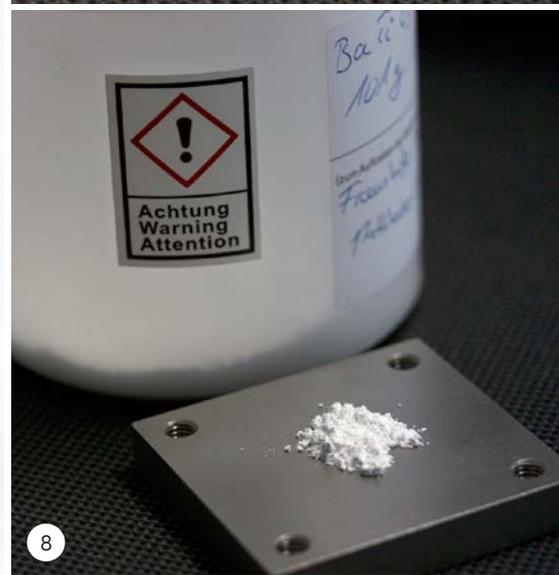
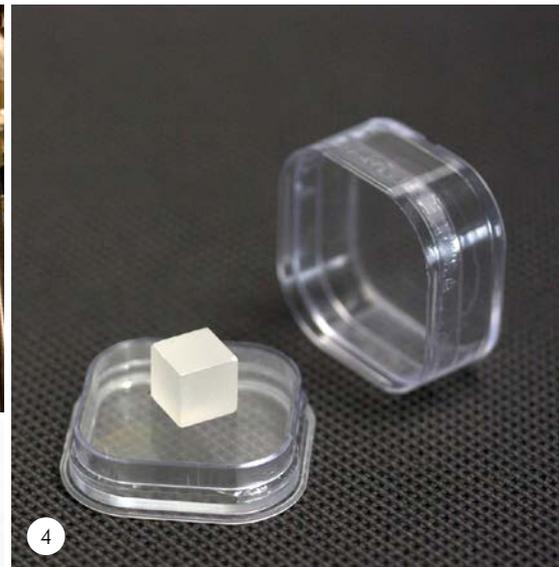
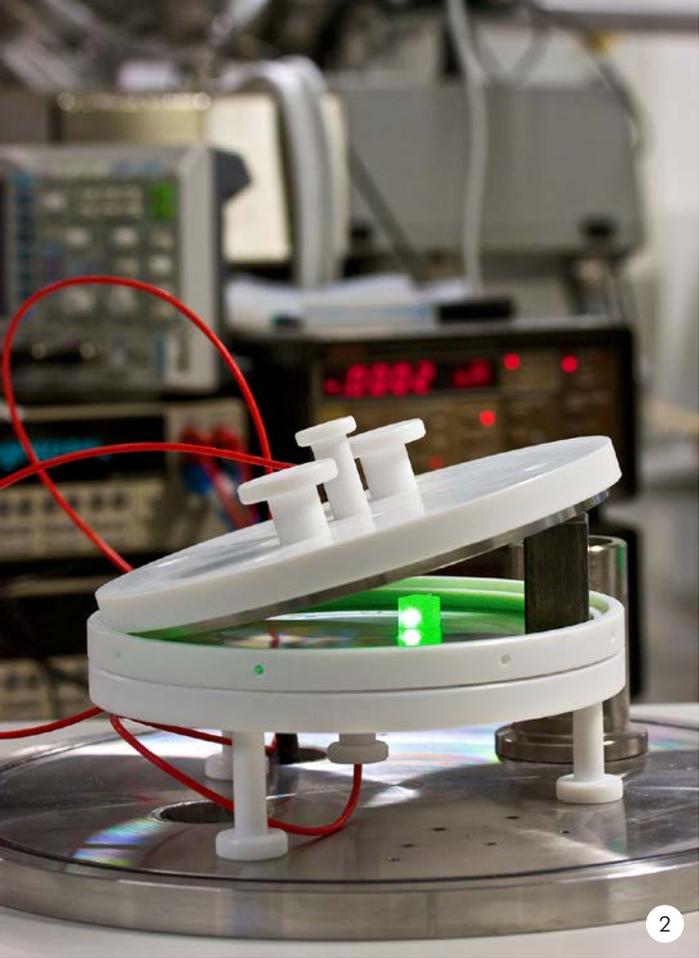
Die Bereitstellung der finanziellen Mittel für die Erforschung von Innovationen im Themengebiet der Pyroelektrika erfolgte durch das Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) sowie durch die Sächsische Aufbaubank (SAB).



Abbildung: Mitarbeiter, Unterstützer, Werkstattmitarbeiter und studentische Hilfskräfte der Nachwuchsforschergruppe PyroConvert am fertig gestellten Demonstrator für die pyroelektrische Wasserstoffherzeugung.

Bilder auf der nächsten Seite:

- 1 Hochspannungsgenerator
- 2 Apparatur zur Polung von Pyroelektrika
- 3 Detail einer Vakuum-Messkammer
- 4 Pyroelektrischer LiNbO_3 -Einkristall
- 5 Teststand für die Untersuchung der Pyroelektrokatalyse
- 6 Kammer für die pyroelektrische Röntgenstrahl-Erzeugung
- 7 Demonstrator für die pyroelektrische Wasserstoffherzeugung
- 8 Pyroelektrisches BaTiO_3 -Pulver
- 9 Anordnung zur Polung von Pyroelektrika
- 10 Pyroelektrisches Polymer PVDF



Freiberger Biohydrometallurgisches Zentrum für strategische Elemente – BHMZ

Das von der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung finanzierte und von der TU Bergakademie als „Krüger-Forschungskolleg“ gegründete Projekt fokussiert die Gewinnung strategisch wichtiger Elemente durch die Nutzung biohydrometallurgischer Verfahren. In naher Zukunft könnten diese konventionelle pyrohydrometallurgische Gewinnungs- und Anreicherungsverfahren ersetzen und damit den technischen Aufwand sowie den damit verbundenen Energieverbrauch reduzieren. Eine interdisziplinäre Jungwissenschaftlergruppe – integriert in 13 beteiligte Professuren – forscht an der gesamten Prozesskette der (biohydrometallurgischen) Gewinnung sowie der weiteren Aufbereitung. Dabei werden die Metalle oder metallenthaltenden Materialien verschiedener Quellen (Lagerstätte, Halde, Recycling-Material) zunächst in wässrige Lösung gebracht, also gelaugt, und anschließend aus der wässrigen Lösung durch spezielle Verfahren wie Solvent-Extraktion, Fällung oder andere Verfahren nach Möglichkeit selektiv gewonnen und schließlich durch Elektrolyse oder thermisch raffiniert.

Im konkreten Fall wird ein biohydrometallurgisches Verfahren auf die extrem schwer löslichen Metallsulfide ausgerichtet, die durch Mikroorganismen zu den entsprechenden gut löslichen Sulfaten oxidiert werden. Dabei bietet die Biolaugung die Möglichkeit eine Laugung direkt am Ort des Abbaus – also direkt im Berg – durchzuführen. Die Umsetzbarkeit der sogenannten *In-situ*-Laugung wird im Projektverlauf geprüft.

Der derzeitige Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf den Elementen Indium und Germanium, welche von der EU als kritische Rohstoffe mit einer ansteigenden Nachfrageprognose angesehen werden. Beide Elemente kommen in unmittelbarer Umgebung von Freiberg in heimischen Lagerstätten des Erzgebirges vor, wobei eine Importunabhängigkeit der heimischen Hightech-Industrie von diesen beiden Elementen begünstigt wird.

Die aktuelle Forschung kann dazu beitragen, die umweltverträgliche Gewinnung von strategischen



Abbildung 1: Exkursion der BHMZ-Mitglieder zum Röhrgeschacht Wettelrode (Sangerhausen).

Metallen zu intensivieren und hierdurch eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung zu fördern.

Für die Mitglieder und Doktoranden des BHMZ werden spezielle Kurse und Exkursionen angeboten, in denen Kenntnisse in den Teilgebiete entlang der Prozesskette erworben werden können, die nicht dem eigenen Fachgebiet entsprechen. Dies begünstigt zudem einen regen Austausch junger Wissenschaftler. 2014 und 2015 wurden während der Exkursionen die Geschichte des Bergbaus und der herkömmlichen sowie aktuellen Erzaufbereitung analysiert. So wurden beispielsweise das neu eröffnete Fluss- und Schwerspatwerk Niederschlag bei Oberwiesenthal, die Nickelhütte Ave, die Zinnkammern in Pöhla, das Museum Uranbergbau in Schlema, Bergbauanlagen im Mannsfelder Land, das Weltkulturerbe Rammelsberg, der Röhrigschacht Wettelrode sowie die Aurubis AG in Hamburg, einer der weltgrößten Kupferproduzenten und -wiederverwerter, besucht.



Abbildung 2: Betrachtung von Sinter aus Kupfervitriol.



Abbildung 3: Aufbereitungsanlage Erzbergwerk Rammelsberg (Inbetriebnahme 1936).



Abbildung 4: Auf den Spuren der Geschichte: Zerkleinern, flotieren, entwässern – Aufbereitungsanlage Erzbergwerk Rammelsberg.

Mining-RoX – Intelligente Roboter im Bergwerk

Das Projekt „Mining-RoX“ beschäftigt sich mit dem Einsatz intelligenter Serviceroboter im Bergbau. Durch die Forschungsarbeiten sollen in den nächsten zwei Jahren mobile Roboter befähigt werden, exakte 3D-Kartierungen von Bergwerken zu erstellen sowie Umgebungsbedingungen wie Luft- und Wasserqualität autonom zu erfassen. Sie bieten ein zuverlässiges Monitoring, das die Arbeitssicherheit verbessert und die Kosten reduziert.

Das Projekt, welches durch das Institut für Informatik (Prof. B. Jung) koordiniert wird, ist Teil einer landesweiten Forschungsinitiative „Robots in saXony (RoX)“. So soll hierdurch das Thema Robotik im Freistaat gestärkt werden. Als Partner aus der Wissenschaftsregion ist die Hochschule Mittweida in das Projekt integriert. Das Institut für Experimentelle Physik (Prof. D. C. Meyer) beteiligt sich speziell am Aufbau und der Erprobung einer Röntgenanalyseeinheit für Spektroskopie und Diffraktometrie. Die Konstruktions- und experimentellen Arbeiten werden von Dipl.-Ing. Marco Herrmann durchgeführt.

Im Mining-RoX-Projekt sollen mobile Roboter bei der exakten 3D-Vermessung von Bergwerken helfen. Die so gewonnenen Daten können dann beispielsweise in realitätsnahe 3D-Simulationen zur Bewetterung einfließen, die ihrerseits zur Entwicklung von flexiblen Bewetterungssteuerungen beitragen. Bei der Grubenbewetterung wird darauf geachtet, dass zu jedem Zeitpunkt ausreichend Frischluft vorhanden ist und die Luftzirkulation stimmt. Da die Bewetterungskosten oft mindestens 25 Prozent der gesamten Abbaukosten ausmachen, lassen sich mit den Daten aus der Simulation in Zukunft Kosten sparen – auch wenn der Bewetterungsaufwand aufgrund der immer tieferen und damit auch wärmeren und luftfärmeren Abbauhazone noch steigen wird.



Die Roboter sollen im Bergwerk auch die Umgebungsbedingungen überwachen und so zur Sicherheit des Bergbaupersonals in der Grube beitragen. Roboter sind prinzipiell für die Kontrolle einsturzgefährdeter Stollen geeignet, da der Verlust eines Roboters keine ethisch-moralische Dimension erlangt. Der Einsatz mobiler Roboter birgt so das Potential für einen qualitativen Sprung in der sensorgestützten Bergbautechnik in den Bereichen Erkundung, Abbauplanung, Betriebsoptimierung, Arbeitsschutz und Umweltmonitoring.

Als Entwicklungs- und Erprobungsumgebung für das Mining-RoX-Projekt dient das Forschungs- und Lehrbergwerk „Reiche Zeche“ der TU Bergakademie Freiberg.

Bilder auf der nächsten Seite:

- 1 Greifarm von Roboter „Julius“
- 2 „Julius“ beim Verlassen der Physik-Werkstatt
- 3 „Julius“ mit mobiler Röntgenfluoreszenzeinheit
- 4 Roboter „Alexander“
- 5 Projektteam
- 6 „Alexander“ nach erster Testfahrt
- 7 „Alexander“ im Bergwerk



4



1



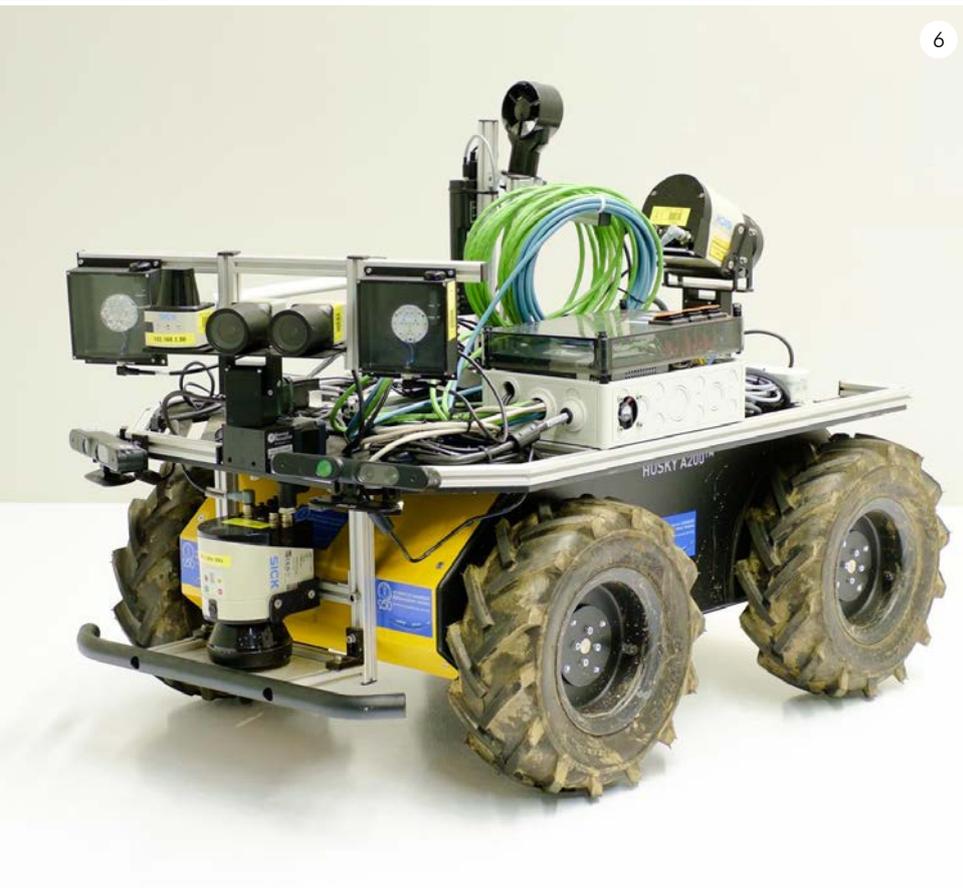
2



3



5



6



7

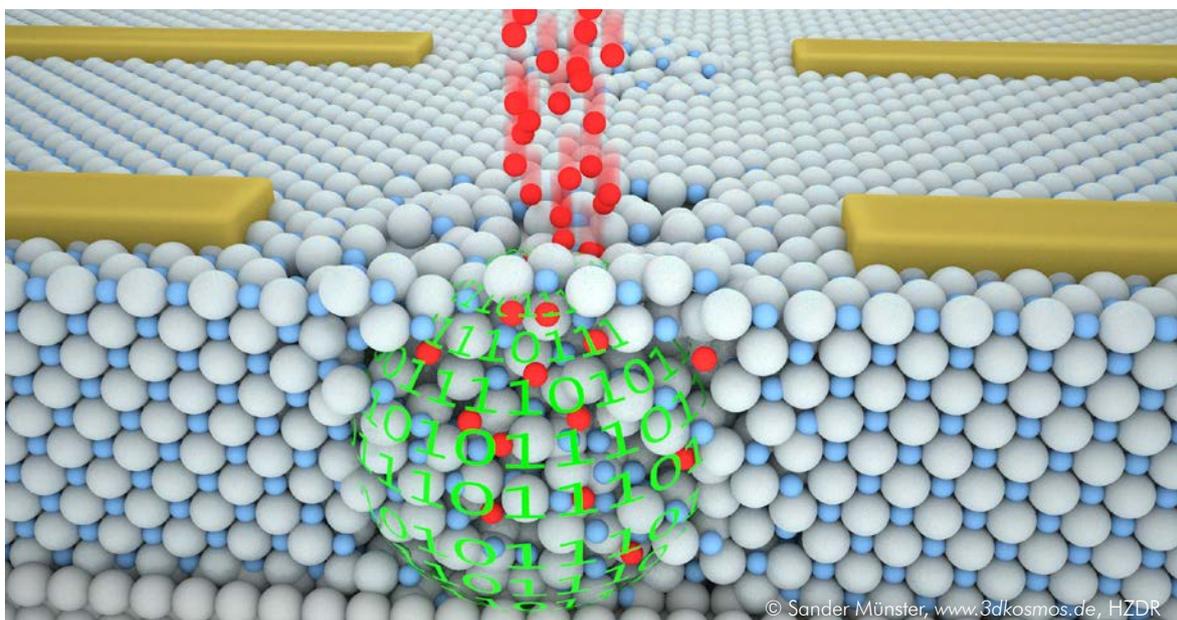
Start der zweiten Projektphase des Virtuellen Instituts MEMRIOX

Im Virtuellen Institut „*Memristive Effects in Ion Beam Modified Oxides*“ (VI MEMRIOX, Förderkennzeichen VH-VI-442) arbeitet das Institut für Experimentelle Physik gemeinsam mit den Projektpartnern des HZDR, der Friedrich-Schiller-Universität Jena, der Technischen Universität Chemnitz und dem Forschungszentrum Jülich an der Erforschung und Entwicklung zukünftiger nichtflüchtiger Datenspeicher auf Basis des Widerstandsschaltens in Metalloxiden. Von Seiten der Bergakademie wird das Vorhaben von Prof. Dirk C. Meyer geleitet; die Koordination der Arbeiten obliegt Dr. Barbara Abendroth.

Ziel des Projektes ist, durch die gezielte lokale Modifikation der atomaren Ordnung im Oxid und an den Grenzflächen zu den Elektroden, das resistive Schalten zu beeinflussen. So soll die Erzeugung von leitfähigen, schaltbaren Pfaden kontrolliert durch Ionenimplantation erreicht werden, anstatt einen zufälligen elektrischen Durchbruch in der Zelle zu erzeugen. Somit kann das Widerstandsschalten idealerweise ohne initiale Elektroformierung eingestellt werden und damit längere Speicherzeiten und höhere Zyklenstabilitäten erreicht werden.



Im Juli 2014 stand die Zwischenevaluierung des Virtuellen Institutes und damit verbunden die Prüfung der zweiten Förderperiode an. Dem Gutachtergremium der Helmholtz-Gemeinschaft wurde ein umfangreicher Bericht über die gemeinsamen Arbeiten vorgelegt. Das VI MEMRIOX präsentierte sich sehr erfolgreich am 4. Juli 2014 mit Vertretern aller Partnerinstitute in der Zentrale der Helmholtz-Gemeinschaft in Berlin. Hier standen insbesondere die Doktoranden im Rampenlicht; sie durften die Highlights ihrer Forschungsarbeiten vorstellen. Die bisherigen Arbeiten im VI MEMRIOX wurden mit Bestnoten bewertet und damit der Startschuss für die zweite Periode gegeben. Ganz besonders positiv werteten die Gutachter den regen Austausch der Doktoranden; es wurden über 160 Labortage der insgesamt sechs Doktoranden an einer VI Partner-einrichtung gezählt.



VIP-Vorhaben Pyro-Funk

Pyroelektrizität ist die Eigenschaft bestimmter Materialien, auf eine Temperaturänderung mit einer Änderung der Oberflächenladung zu reagieren. Diese Eigenschaft, die bisher vorwiegend in der Sensorik Anwendung findet, wird im Rahmen einer VIP-Förderung des BMBF in einer neuartigen technischen Lösung angewandt. Die bei Temperaturänderung auftretenden elektrischen Felder werden dabei nicht als Messgröße, sondern als Prozessgröße genutzt.

Dazu wird innerhalb des VIP-Vorhabens Pyro-Funk – pyroelektrisch funktionalisierte Schichten zur aktiven Schaltung von Oberflächeneigenschaften – zusammen mit dem Institut für Werkstoffwissenschaft der TU Dresden eine neuartige Oberflächenbeschichtung auf der Basis pyroelektrischer Materialien entwickelt. In ihrem grundsätzlichen Aufbau ist diese Beschichtung gleichermaßen geeignet, desinfizierend zu wirken und Oberflächen eisfrei zu halten. Die Entwicklungsarbeiten im Projekt konzentrieren sich momentan auf die Ausrüstung vereisungsgefährdeter Oberflächen (Autoscheiben, Sichtgläser), und stehen auf Freiburger Seite unter Leitung von Prof. Dirk C. Meyer. Die Koordination der Arbeiten obliegt Dr. Hartmut Stöcker, der durch Erik Mehner unterstützt wird.

In Freiberg werden dazu u. a. Beschichtungen auf Basis von LiNbO_3 , LiTaO_3 und BaTiO_3 hergestellt und charakterisiert. Um für viele anwendungsnahe Materialien Aussagen treffen zu können, wurden Edelstahl und Silizium als zwei typische Substratmaterialien ausgewählt. Um schon bei niedrigen Herstellungstemperaturen kristalline Schichten zu erhalten, wurde das Substrat zuerst mit einem *Dip-Coating*-Verfahren beschichtet und anschließend mit einem *Air-Brush*-Verfahren ein bereits kristallines pyroelektrisches Pulver aufgebracht. Bisher wurden so insgesamt über 60 Proben hergestellt.

Die Morphologie dieser Proben wurde umfangreich mit Rasterelektronenmikroskopie untersucht und ist für enteisende Beschichtungen gut geeignet. Allerdings gibt es einige Sole, die zur Rissbildung neigen. Mit einem verbesserten Trocknungsverfahren soll diese noch vermindert werden. Die Benetzung der Substrate ist mit ca. 99 % optimal und kann durch die Viskosität des Sols im *Dip-Coating*-Verfahren auf nahezu jede gegebene Oberflächenrauigkeit des Substrats eingestellt werden.

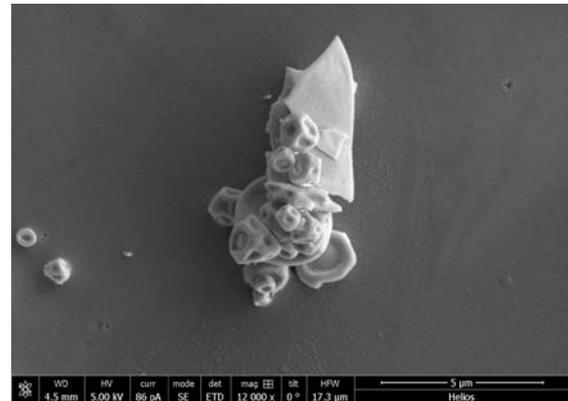


Abbildung 1: REM-Aufnahme einer Lithiumtantalat-Schicht mit Lithiumtantalat-Pulver-Partikeln.

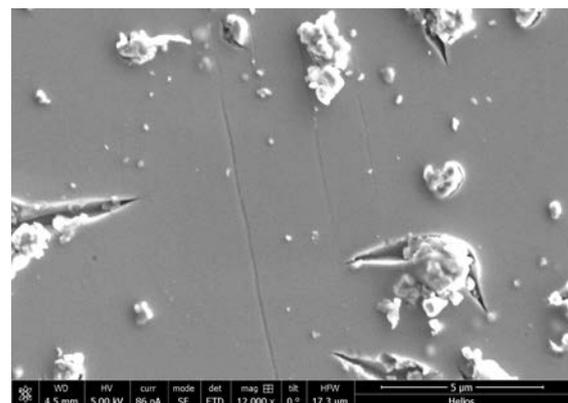


Abbildung 2: REM-Aufnahme einer Schicht aus Bariumtitanat-Sol mit Bariumtitanat-Pulver-Partikeln.

Publikationen und Lehre

Publikationen

Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie

- C. Funke, E. Schmid, G. Gärtner, S. Reißerweber, W. Fütterer, A. Poklad, L. Raabe, O. Pätzold, M. Stelter: **Impurities, inclusions, and dislocations in multicrystalline silicon grown from well-mixed and poorly mixed melts**, *Journal of Crystal Growth* 401 (2014) 732–736
- J. Hanzig, M. Zschornak, M. Nentwich, F. Hanzig, S. Gemming, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Strontium titanate: An all-in-one rechargeable energy storage material**, *Journal of Power Sources* 267 (2014) 700–705
- T. You, N. Du, S. Slesazeck, T. Mikolajick, G. Li, D. Bürger, I. Skorupa, H. Stöcker, B. Abendroth, A. Beyer, K. Volz, O. G. Schmidt, H. Schmidt: **Bipolar electric-field enhanced trapping and detrapping of mobile donors in BiFeO₃ memristors**, *ACS Applied Materials & Interfaces* 6 (2014) 19758–19765
- C. Richter, D. V. Novikov, E. Kh. Mukhamedzhanov, M. M. Borisov, K. A. Akimova, E. N. Ovchinnikova, A. P. Oreshko, J. Strempler, M. Zschornak, E. Mehner, D. C. Meyer, V. E. Dmitrienko: **Mechanisms of the paraelectric to ferroelectric phase transition in RbH₂PO₄ probed by purely resonant x-ray diffraction**, *Physical Review B* 89 (2014) 094110
- M. Nentwich, M. Zschornak, C. Richter, D. C. Meyer: **Evaluation of structure models of Ho₂PdSi₃ using DAFS, *inter alia* at a satellite reflection**, *Journal of Physics: Conference Series* 519 (2014) 012011
- H. Stöcker, M. Zschornak, C. Richter, J. Hanzig, F. Hanzig, A. Hinze, K. Potzger, S. Gemming, D. C. Meyer: **Surface-near modifications of SrTiO₃ local symmetry due to nitrogen implantation investigated by grazing incidence XANES**, *Scripta Materialia* 86 (2014) 1–4
- S. Wolf, J. Rensberg, H. Stöcker, B. Abendroth, W. Wesch, C. Ronning: **Utilizing dynamic annealing during ion implantation: synthesis of silver nanoparticles in crystalline lithium niobate**, *Nanotechnology* 25 (2014) 135611
- M. Zschornak, C. Richter, M. Nentwich, H. Stöcker, S. Gemming, D. C. Meyer: **Probing a crystal's short-range structure and local orbitals by Resonant X-ray Diffraction methods**, *Crystal Research and Technology* 49 (2014) 43–54
- S. Rentrop, T. Moebus, B. Abendroth, R. Strohmeyer, A. Schmid, T. Weling, J. Hanzig, F. Hanzig, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Atomic layer deposition of strontium titanate films from Sr(iPr₃Cp)₂, Ti[N(CH₃)₂]₄ and H₂O**, *Thin Solid Films* 550 (2014) 53–58
- D. C. Meyer, T. Leisegang: **Preface: 1st International Freiberg Conference on Electrochemical Storage Materials, 3rd – 4th June 2013 in Freiberg, Germany**, *AIP Conference Proceedings* 1597 (2014) 1–2
- R. Schmid, C. Pillot: **Introduction to energy storage with market analysis and outlook**, *AIP Conference Proceedings* 1597 (2014) 3–13

- C. Cherkouk, T. Nestler: **Cathodes – Technological review**, AIP Conference Proceedings 1597 (2014) 134–145
- T. Nestler, R. Schmid, W. Münchgesang, V. Bazhenov, J. Schilm, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Separators – Technology review: Ceramic based separators for secondary batteries**, AIP Conference Proceedings 1597 (2014) 155–184
- F. Meutzner, M. Ureña de Vivanco: **Electrolytes – Technology review**, AIP Conference Proceedings 1597 (2014) 185–195
- W. Münchgesang, P. Meisner, G. Yushin: **Supercapacitors specialities – Technology review**, AIP Conference Proceedings 1597 (2014) 196–203

Biomineralogie und Extreme Biomimetik

- H. Ehrlich: **Biological materials of marine origin: Vertebrates**, Series: Biologically-Inspired Systems, Vol. 4, Springer Science + Business Media B. V., ISBN 978-94-007-5729-5
- H. Ehrlich: **Phenomenon of the multiphase biomineralization in the nature**, Kristallographie in der Praxis: Freiburger Forschungsforum, 65. Berg- und Hüttenmännischer Tag 2014. Technische Universität Bergakademie Freiberg, S. 17–20
- S. Sun, F. Dong, H. Ehrlich, X. Zhao, M. Liu, Q. Dai, Q. Li, D. An, H. Dong: **Metabolic influence of psychrophilic diatoms on travertines at the Huanglong natural scenic district of China**, International Journal of Environmental Research and Public Health 11 (2014) 13084–13096
- M. Wysokowski, M. Motylenko, J. Walter, G. Lota, J. Wojciechowski, H. Stöcker, R. Galli, A. L. Stelling, C. Himcinschi, E. Niederschlag, E. Langer, V. V. Bazhenov, T. Szatkowski, J. Zdarta, I. Pertenko, Z. Kljajic, T. Leisegang, S. L. Molodtsov, D. C. Meyer, T. Jesionowski, H. Ehrlich: **Synthesis of nanostructured chitin-hematite composites under extreme biomimetic conditions**, RSC Advances 4 (2014) 61743–61752
- G. Milczarek, M. Motylenko, A. Modrzejewska-Sikorska, Ł. Klapiszewski, M. Wysokowski, V. V. Bazhenov, A. Piasecki, E. Konowal, H. Ehrlich, T. Jesionowski: **Deposition of silver nanoparticles on organically-modified silica in the presence of lignosulfonate**, RSC Advances 4 (2014) 52476–52484
- A. Anitha, S. Sowmya, P.T. Sudheesh Kumar, S. Deepthi, K.P. Chennazhi, H. Ehrlich, M. Tsurkan, R. Jayakumar: **Chitin and chitosan in selected biomedical applications**, Progress in Polymer Science 39 (2014) 1644–1667
- H. Ehrlich: **Special issue “Biomineralization”**, Acta Biomaterialia 10 (2014) 3813–3814
- M. Wysokowski, M. Zaton, V. V. Bazhenov, T. Behm, A. Ehrlich, A. L. Stelling, M. Hog, H. Ehrlich: **Identification of chitin in 200-million-year-old gastropod egg capsules**, Paleobiology 40 (2014) 529–540

- M. Wysokowski, Ł. Klapiszewski, D. Moszynski, P. Bartczak, T. Szatkowski, I. Majchrzak, K. Siwinska-Stefanska, V. V. Bazhenov, T. Jesionowski: **Modification of chitin with Kraft lignin and development of new biosorbents for removal of cadmium(II) and nickel(II) ions**, *Marine Drugs* 12 (2014) 2245–2268
- Ł. Klapiszewski, J. Zdarta, T. Szatkowski, M. Wysokowski, M. Nowacka, K. Szwarc-Rzepka, P. Bartczak, K. Siwinska-Stefanska, H. Ehrlich, T. Jesionowski: **Silica/lignosulfonate hybrid materials: Preparation and characterization**, *Central European Journal of Chemistry* 12 (2014) 719–735
- T. Pohl, S. W. Al-Muqdad, M. H. Ali, N. Al-Mudaffar Fawzi, H. Ehrlich, B. Merkel: **Discovery of a living coral reef in the coastal waters of Iraq**, *Nature Scientific Reports* 4 (2014) 4250

Strukturforschung mit XFELs und Synchrotronstrahlung

- F. Lehner, S. Molodtsov: **First RACIRI summer school on advanced materials design at X-ray and neutron sources**, *Synchrotron Radiation News* 27 (2014) 44–45
- N. Hartmann, W. Helml, A. Galler, M. R. Bionta, J. Grünert, S. Molodtsov, K. R. Ferguson, S. Schorb, M. L. Swiggers, S. Carron, C. Bostedt, J.-C. Castagna, J. Bozek, J. M. Glowia, D. J. Kane, A. R. Fry, W. E. White, C. P. Hauri, T. Feuer, R. N. Coffee: **Sub-femtosecond precision measurement of relative X-ray arrival time for free-electron lasers**, *Nature Photonics* 8 (2014) 706–709
- M. Izquierdo, M. Karolak, C. Trabant, K. Holldack, A. Föhlisch, K. Kummer, D. Prabhakaran, A. T. Boothroyd, M. Spiwek, A. Belozero, A. Poteryaev, A. Lichtenstein, S. Molodtsov: **Laser-induced charge-disproportionated metallic state in LaCoO₃**, *Physical Review B* 90 (2014) 235128

Photovoltaik

- T. Orellana, E. M. Tejado, C. Funke, S. Riepe, J. Y. Pastor, H.-J. Möller: **Influence of high aluminium content on the mechanical properties of directionally solidified multicrystalline silicon**, *Journal of Materials Science* 49 (2014) 4905–4918
- R. Buchwald, S. Würzner, K. Fröhlich, M. Fuchs, S. Retsch, T. Lehmann, H.-J. Möller: **Analysis of the topography and the sub-surface damage of Cz- and mc-silicon wafers sawn with diamond wire**, *Proceedings of 40th IEEE Photovoltaic Specialist Conference* (2014) 2951–2956

Konferenzbeiträge

Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie

- D. Karsch, D. Eger, E. Mehner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Wet chemical synthesis and characterisation of SrTiO₃-Ruddlesden-Popper-films for photoelectrochemical water splitting**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Vortrag MS02-T1
- E. Mehner, J. Hanzig, S. Jachalke, F. Hanzig, M. Zschornak, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Pyroelectricity in strontium titanate single crystals?**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Vortrag MS06-T5
- D. Eger, D. Karsch, E. Mehner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Optimization of crystal and morphological parameters of wet chemical synthesized LiNbO₃ films**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Vortrag MS12-T5
- H. Stöcker, M. Zschornak, C. Richter, D. C. Meyer: **Surface-near modifications of SrTiO₃ local symmetry due to nitrogen implantation investigated by grazing incidence XANES**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Vortrag MS17-T1
- C. Richter, D. Novikov, E. N. Ovchinnikova, K. Akimokva, A. Oreshko, V. Dmitrienko, M. M. Borisov, M. Zschornak, E. Mehner, D. C. Meyer, J. Stempf: **Mechanisms behind the para- to ferroelectric phase transition in RbH₂PO₄ probed by means of purely resonant X-ray diffraction**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Vortrag MS17-T4
- S. Jachalke, E. Mehner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Automated set-up for measurement and evaluation of pyroelectric properties**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P01
- W. Münchgesang, F. Meutzner, T. Schucknecht, M. Kohl, H. Althues, B. Abendroth, T. Leisegang, D. Rafaja, D. C. Meyer: **The low-temperature sodium-sulphur secondary battery – materials and structure**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P02
- J. Hanzig, M. Zschornak, M. Nentwich, F. Hanzig, E. Mehner, C. Röder, B. Abendroth, T. Leisegang, H. Stöcker, S. Gemming, D. C. Meyer: **Defect separation in strontium titanate single crystals – a concept for electrochemical energy storage**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P03
- C. Cherkouk, M. Zschornak, J. Hanzig, M. Nentwich, F. Meutzner, M. Ureña de Vivanco, T. Leisegang, D. C. Meyer: **FEM-simulation of energy conversion and storage concepts based on oxide crystals**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P04

- F. Meutzner, T. Nestler, J. Hanzig, M. Zschornak, M. Nentwich, R. Schmid, M. Ureña de Vivanco, C. Cherkouk, B. Störr, W. Münchgesang, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Categorization of electrodes and separators in electrochemical energy storage devices – evaluating new concepts**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P05
- M. Ureña de Vivanco, M. Sonntag, C. Forman, M. Gootz, E. Mehner, S. Jachalke, H. Stöcker, R. Strohmeyer, D. Scheithauer, I. Muritala, B. Störr, M. Zschornak, J. Hanzig, M. Herrmann, M. Koitsch, R. Pardemann, T. Leisegang, B. Meyer, D. C. Meyer: **Crystals as the heart of thermal-into-chemical-energy conversion devices**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P06
- B. Störr, R. Schmid, H. Stöcker, E. Mehner, S. Jachalke, J. Hanzig, M. Sonntag, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Comprehensive collection of pyroelectric properties of organic and inorganic materials – database and categorization**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P07
- R. Strohmeyer, B. Abendroth, H. Stöcker, E. Mehner, M. Franke, D. C. Meyer: **Magnetron sputter deposition and crystallization of $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ thin films**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P09
- T. Nestler, W. Förster, S. Braun, W. Münchgesang, F. Meutzner, J. Hanzig, M. Zschornak, M. Nentwich, R. Schmid, M. Ureña de Vivanco, C. Cherkouk, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Material concepts for designing an aluminum-ion thin-film battery**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS02-P11
- B. Abendroth, S. Rentrop, T. Moebus, J. Dietel, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Crystalline phase formation during the atomic layer deposition of TiO_2** , 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS05-P41
- M. Nentwich, M. Zschornak, C. Richter, D. C. Meyer: **Structure Determination of Ho_2PdSi_3** , 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS07-P11
- T. Köhler, E. Mehner, J. Hanzig, G. Gärtner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Crystallographic orientation of hydrogen defects in lithium niobate and lithium tantalate**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS17-P01
- T. Weigel, M. Herrmann, M. Zschornak, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Impact of temperature and barometric pressure fluctuations on X-ray beam intensities**, 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, Berlin, 17.–20. März 2014, Poster MS17-P03
- D. Karsch, D. Eger, E. Mehner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Wetchemical synthesis of SrTiO_3 -Ruddlesden-Popper-phases for photoelectrochemical watersplitting**, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden, 30.03.–04.04.2014, Vortrag DS 1.14
- D. Eger, D. Karsch, E. Mehner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Optimization of crystal and morphological parameters of wetchemical synthesized LiNbO_3 films**, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden, 30.03.–04.04.2014, Vortrag DS 6.6

- S. Rentrop, B. Abendroth, H. Stöcker, R. Strohmeyer, J. Rensberg, J. Walter, D. C. Meyer: **Atomic layer deposition of $\text{Sr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_y$: Stoichiometry variation and layer characterization**, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden, 30.03.–04.04.2014, Vortrag DS 49.6
- T. Leisegang, J. Hanzig, E. Mehner, M. Zschornak, F. Meutzner, T. Nestler, B. Störr, C. Cherkouk, U. Wunderwald, D. C. Meyer: **Crystals: Structure, properties and heart of energy conversion devices**, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden, 30.03.–04.04.2014, Hauptvortrag KR 13.1
- B. Abendroth, S. Rentrop, T. Moebus, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Crystalline phase formation during the atomic layer deposition of TiO_2** , Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden, 30.03.–04.04.2014, Poster DS 43.18
- T. Köhler, E. Mehner, J. Hanzig, G. Gärtner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Crystallographic orientation of hydrogen defects in lithium niobate and lithium tantalate**, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden, 30.03.–04.04.2014, Poster KR 8.3
- S. Jachalke, E. Mehner, J. Hanzig, F. Hanzig, M. Zschornak, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Pyroelectricity in the model perovskite SrTiO_3 ?**, E-MRS Spring Meeting, Lille, Frankreich, 26.–30. Mai 2014, Vortrag W.2 4
- W. Förster, S. Braun, A. Leson, T. Nestler, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Coating-development for Al^{3+} -conducting thin film batteries by PLD**, E-MRS Spring Meeting, Lille, Frankreich, 26.–30. Mai 2014, Poster C/P2 27
- C. Cherkouk, M. Zschornak, J. Hanzig, M. Nentwich, F. Meutzner, M. Urena, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Concept for energy conversion and storage based on catalytic active oxide crystals**, E-MRS Spring Meeting, Lille, Frankreich, 26.–30. Mai 2014, Vortrag CC.7 6
- H. Stöcker, D. C. Meyer: **Pyroelectricity – crystal physics at work**, 65. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiberg, 11.–13. Juni 2014, Vortrag
- B. Abendroth, J. Heitmann, Y. Joseph, E. Weber, D. C. Meyer: **Material concepts for electronic data storage**, 65. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiberg, 11.–13. Juni 2014, Vortrag
- J. Hanzig, E. Mehner, T. Leisegang, D. C. Meyer: **Defect separation in SrTiO_3 single crystals: concepts for energy conversion and storage**, 65. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiberg, 11.–13. Juni 2014, Vortrag
- M. Zschornak, D. C. Meyer: **Modern methods of structure determination using synchrotron radiation**, 65. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiberg, 11.–13. Juni 2014, Vortrag
- S. Rentrop: **Atomic Layer deposition of $\text{Sr}_x\text{Ti}_y\text{O}_z$ from $\text{Sr}(\text{iPr}_3\text{Cp})_2$, $\text{Ti}[\text{N}(\text{CH}_3)_2]_4$ and H_2O : stoichiometry variation and layer characterization**, 14th International Conference on Atomic Layer Deposition, Kyoto, Japan, 15.–18. Juni 2014, Poster 16P078

- E. Mehner, J. Hanzig, S. Jachalke, F. Hanzig, M. Zschornak, H. Stöcker, D. Meyer: **Electric field induced pyroelectricity in strontium titanate**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Vortrag MS01.O03
- J. Hanzig, M. Zschornak, E. Mehner, F. Hanzig, S. Jachalke, M. Nentwich, H. Stöcker, T. Leisegang, C. Röder, D. Meyer: **Defect separation in strontium titanate: Formation of a polar phase**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Poster MS15.P02.A132
- S. Jachalke, E. Mehner, H. Stöcker, T. Leisegang, D. Meyer: **Evaluation of structural phase transition by pyroelectric measurements**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Poster MS01.P13.A13
- T. Leisegang, B. Störr, E. Mehner, S. Jachalke, C. Cherkouk, M. Zschornak, H. Stöcker, M. Urena, U. Wunderwald, D. Meyer: **Pyroelectric crystals: structure, properties and applications**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Poster MS23.P04.A230
- F. Meutzner, T. Nestler, J. Hanzig, M. Zschornak, M. Ureña de Vivanco, W. Münchgesang, R. Schmid, C. Cherkouk, T. Leisegang, D. Meyer: **Categorization of electrochemical storage materials en route to new concepts**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Poster MS23.P06.A232
- M. Nentwich, M. Zschornak, C. Richter, D. Meyer: **Structure determination of Ho₂PdSi₃**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Poster MS14.P01.A127
- T. Nestler, W. Förster, S. Braun, W. Münchgesang, F. Meutzner, M. Zschornak, C. Cherkouk, T. Leisegang, D. Meyer: **Energy storage in crystalline materials based on multivalent ions**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Poster MS23.P07.A233
- C. Richter, D. Novikov, E. Mukhamedzhanov, M. Borisov, E. Ovchinnikova, A. Oreshko, K. Akimova, V. Dmitrienko, J. Stempfer, M. Zschornak, E. Mehner, D. Meyer: **Defect induced forbidden X-ray reflections in RbH₂PO₄**, 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography, Montréal, Kanada, 5.–12. August 2014, Poster MS103.P08.B603
- V. Garbe, B. Abendroth, H. Stöcker, A. Gavrilov, D. C. Elias, S. Mehari, D. Ritter, D. C. Meyer: **Oxygen and Hydrogen Profiles and Electrical Properties of Unintentionally Doped n-GaN Grown by HVPE**, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2014), Breslau, Polen, 24.–29. August 2014, Poster WeBP64
- C. Cherkouk, M. Zschornak, J. Hanzig, M. Nentwich, F. Meutzner, M. Ureña de Vivanco, T. Leisegang, D. C. Meyer: **COMSOL Multiphysics® simulation of energy conversion and storage concepts based on oxide crystals**, COMSOL Conference, Cambridge, Großbritannien, 17.–19. September 2014, Poster

- F. Meutzner *et al.*: **Application of crystallography in electrochemistry – en route to new concepts for energy storage**, 1st Meeting of the Young Crystallographers, Bremen, 28.–30. September 2014, Poster
- T. Leisegang *et al.*: **Solving site occupancy issues with X-ray Absorption Spectroscopy**, 1st Meeting of the Young Crystallographers, Bremen, 28.–30. September 2014, Vortrag

Biomaterialogie und Extreme Biomimetik

- M. Wysokowski, I. Petrenko, T. Szatkowski, S. Kaiser, V. V. Bazhenov, V. Z. Kutsova, T. Jesionowski, H. Ehrlich: **Extreme biomimetic strategies on duty for biomaterials science**, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomaterialien, 06.–08.11.2014, Dresden, Poster
- T. Szatkowski, M. Wysokowski, I. Petrenko, V. V. Bazhenov, T. Jesionowski, H. Ehrlich: **Extreme biomimetics: Development of 3D spongin-based biocomposites via hydrothermal route**, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomaterialien, 06.–08.11.2014, Dresden, Poster
- H. Ehrlich: **Poriferan chitin as new source for extreme biomimetics**, XX Conference of Polish Chitin Society – New Aspects in chemistry and applications of chitin and its derivatives, 24.–26.09.2014, Łódź, Polen, Keynote Lecture
- M. Wysokowski, T. Szatkowski, I. Petrenko, V. V. Bazhenov, S. Kaiser, T. Jesionowski, H. Ehrlich: **Extreme biomimetic approach for development of chitin based hybrid materials**, XX Conference of Polish Chitin Society – New Aspects in chemistry and applications of chitin and its derivatives, 24.–26.09.2014, Łódź, Polen, Vortrag – 1st AWARD for The Best Presentation
- H. Ehrlich: **The world of biosilica: Diversity, insights and biological materials science**, BaltSilica 2014, 01.–03.06.2014, Poznan, Polen, Keynote Lecture
- G. Milczarek, A. Modrzejewska-Sikorska, L. Klapiszewski, M. Wysokowski, H. Ehrlich, T. Jesionowski: **Lignosulfonate-mediated synthesis of silica/nanosilver composites**, BaltSilica 2014, 01.–03.06.2014, Poznan, Polen, Poster
- M. Wysokowski, T. Szatkowski, V. V. Bazhenov, M. Motylenko, I. Petrenko, T. Jesionowski, H. Ehrlich: **Extreme biomimetic approach for synthesis of advanced organic-inorganic chitin-based composites**, Euro Bio-Inspired Materials Conference 2014, Potsdam, Vortrag
- T. Szatkowski, V. V. Bazhenov, M. Wysokowski, M. Motylenko, T. Jesionowski, H. Ehrlich: **Novel nanostructured hematite-spongin biocomposites obtained using fibrous skeleton of *hippospongia communis* marine sponge via hydrothermal route**, Euro Bio-Inspired Materials Conference 2014, Potsdam, Vortrag

Graduierungen und studentische Arbeiten

Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie

- Johannes Helmich: **Wasserreinigung – Ein biologisches Konzept zur Gewinnung elektrischer Energie**, Forschungsbezogenes Projektseminar, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Alexander Kühne: **Metamiktisierung – Speicherung von Strahlungsenergie in kristallinen Festkörpern**, Forschungsbezogenes Projektseminar, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- David Renz: **Energiespeicher Wasserstoff – Katalysatoren und Konzepte für Wasserspaltung**, Forschungsbezogenes Projektseminar, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Valentin Garbe: **Oxygen and Hydrogen Profiles and Electrical Properties of Unintentionally Doped n-GaN Grown by HVPE**, Problemorientierte Projektarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Thomas Köhler: **Kristallographische Orientierung des Wasserstoffdefektes in Lithiumniobat und Lithiumtantalat**, Problemorientierte Projektarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Tina Weigel: **Einfluss von Umgebungsbedingungen auf die Röntgenstrahlintensität**, Problemorientierte Projektarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Max Stöber: **Charakterisierung von ionenimplantierten Strontiumtitanatschichten zur Sauerstoffreduktion**, Bachelorarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Rocco Liebschner: **Beeinflussung des Kristallisationsverhaltens von Polyamid-11 zur Bildung der pyroelektrischen α -Phase**, Bachelorarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Judith Dietel: **Herstellung von Al-dotierten TiO_2 -Schichten für die Anwendung in resistiven Speichern und Untersuchung der Mikrostruktur und der elektrischen Eigenschaften**, Masterarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Markus Beutel: **Entwicklung und Charakterisierung der Koextrusionsdrucktechnologie zur Feinlinienmetallisierung kristalliner Siliziumsolarzellen**, Doktorarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Juliane Walter: **Wirkung nanoskaliger Partikel auf die Entwicklung des Gefüges bei der gerichteten Erstarrung von multikristallinem Silizium**, Doktorarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014

Photovoltaik

- Thomas Kaden: **Temperatur- und injektionsabhängige Photospannungsmessungen zur Defektcharakterisierung in kristallinem Silizium**, Doktorarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014
- Robert Zierer: **Wechselwirkungen von interstitiellem Eisen mit Defekten im multikristallinen Silizium**, Doktorarbeit, Institut für Experimentelle Physik, 2014

Angebotene Lehrmodule

- **Bioineralogy (Englisch)**, Prof. Dr. habil. Hermann Ehrlich,
Sommersemester, 3 SWS Vorlesung, 2 SWS Praktikum.
- **Energiewandlung und Speicherung**, zur Hälfte durch Dr. Holger Neuhaus,
Wintersemester, 4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung.
- **Halbleitermaterialien**, Dr. habil. Lars Rebohle,
Wintersemester und Sommersemester, 2 × 2 SWS Vorlesung, 2 × 1 SWS Übung, 2 × 1 SWS Praktikum.
- **Material Properties – Semiconductors (Englisch)**, Dr. Hartmut Stöcker,
Wintersemester, 2 SWS Vorlesung.
- **Modultechnik**, Prof. Dr. Ingo Schwirtlich,
Wintersemester und Sommersemester, 2 × 2 SWS Vorlesung.
- **Physik der Halbleiter**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Matthias Zschornak,
Wintersemester, 2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung.
- **Physik für Ingenieure**, Praktikumsplanung durch Dr. Hartmut Bergelt,
Wintersemester (Teil I): 2 SWS Vorlesung, 2 SWS Praktikum,
Sommersemester (Teil II): 2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung.
- **Physik für Naturwissenschaftler I**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer,
Wintersemester, 4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung.
- **Physik für Naturwissenschaftler II**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer,
Sommersemester, 2 SWS Vorlesung, 4 SWS Praktikum.
- **Physik und Charakterisierung von Industriesolarzellen**, Dr. Holger Neuhaus,
Sommersemester, 2 SWS Vorlesung.
- **Solarzellen: Technologie und industrielle Produktion**, Prof. Dr. Ralf Lüdemann,
Wintersemester, 2 SWS Vorlesung.
- **Struktur der Materie I: Festkörper**, Dr. Claudia Funke,
Wintersemester, 4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung.
- **Struktur der Materie II: Elektronische Eigenschaften**, Dr. Claudia Funke,
Sommersemester, 4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung.
- **Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit kristallinen Materialien**, Dr. Tilmann Leisegang,
Wintersemester, 2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung, 2 SWS Praktikum.

Physikalisches Grundpraktikum

Dieses Praktikum zu den Vorlesungen „Physik für Naturwissenschaftler“ und „Physik für Ingenieure“ absolvieren ca. 700 Studierende pro Jahr. Für neun naturwissenschaftliche Studiengänge (z. B. Naturwissenschaften, Chemie, Geologie/Mineralogie usw.) werden jeweils 12 Termine während des ersten Sommersemesters und für 17 ingenieurwissenschaftliche Studiengänge (z. B. Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen, Verfahrenstechnik usw.) werden jeweils sieben Termine während des ersten Wintersemesters dafür genutzt. Die Versuche dauern 3,5 Stunden und werden nach den besonderen Anforderungen der Studiengänge aus 20 verschiedenen Experimenten, die jeweils zweifach in den Räumen des IEP angeordnet sind, ausgewählt.

Das Praktikum zeichnet sich durch eine moderne Geräteausstattung aus, die auch Schülern zum Kennenlernen der Uni zur Verfügung steht. Das Praktikumsteam betreut spezielle Experimente für die „Schüleruniversität“, für das Schülerlabor „Science meets School“ und für das Herder-Gymnasium in Pirna, mit dem eine langjährige Partnerschaft besteht. Die Arbeitsunterlagen für die Versuche können die Studierenden und Schüler online abrufen.

Im Praktikum können Erfahrungen und Fertigkeiten zum Planen, Durchführen und Auswerten grundlegender Experimente aus den Gebieten Mechanik, Elektrizitätslehre, Wärmelehre, Atomphysik und Optik erworben werden. Dies beinhaltet die Bedienung von Messgeräten, die Anfertigung von Versuchsprotokollen sowie die Nutzung von Computern zur grafischen Darstellung und Auswertung von Messreihen. Dabei werden grundlegende wissenschaftliche Arbeitsweisen trainiert.



Kennenlernen des Lehr- und Forschungsangebots des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY und des *European XFEL* in Hamburg

Auf einen erfolgreichen Antrag des seinerzeitigen Prorektors für Bildung Prof. Dr. Dirk C. Meyer (heute Prorektor für Strukturentwicklung) der TU Bergakademie Freiberg hin stehen seit dem Jahr 2012 jährlich Mittel für verschiedene Lehr- und Praktikumsangebote zur Verfügung. Die Programme werden über die Dritte Säule des Hochschulpaktes im Rahmen des Projektes MESIOR durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und bieten u. a. durch die Anbindung an das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) der Helmholtz-Gemeinschaft und den Röntgen-Freie-Elektronen-Laser (XFEL) die Möglichkeit, aktuelle Forschung an Großgeräten schon innerhalb der akademischen Ausbildung aktiv mitzerleben und selbst durchzuführen.

Auch im Jahr 2015 wurde Studierenden der Bergakademie wieder die Möglichkeit geboten, im Verlauf ihres Studiums neue moderne Forschungsmethoden am DESY in Hamburg kennenzulernen. Insgesamt 25 Studierende verschiedener Fachrichtungen, haben diese Möglichkeit wahrgenommen (siehe Abbildung 1). Die neu entstandenen Lehrprogramme umfassen regelmäßige Exkursionen zum DESY, bei denen erfahrene Wissenschaftler vor Ort die Studenten durch alle Bereiche des Forschungszentrums führen und anhand konkreter Experimente die wissenschaftlichen Fragestellungen erläutern.

Das Helmholtz-Zentrum DESY ist gegenwärtig vor allem in der Wissenschaft mit Photonen eines der führenden Zentren weltweit. Mit den DESY-Großgeräten erkunden Forscher den Mikrokosmos in seiner ganzen Vielfalt – vom Wechselspiel kleinster Elementarteilchen über das Verhalten neuartiger Nanowerkstoffe bis hin zu jenen lebenswichtigen Prozessen, die zwischen Biomolekülen ablaufen. Die dafür erforderlichen Beschleuniger, wie auch die Nachweisinstrumente, die DESY entwickelt

und baut, sind einzigartige Werkzeuge für die Forschung: Sie erzeugen das stärkste Röntgenlicht der Welt. Insbesondere durch das im Jahr 2009 in Betrieb gegangene Synchrotron Petra III wird hier Forschern aus vielen Bereichen die derzeit brillianteste Röntgenstrahlung weltweit bereitgestellt.

Das diesjährige Programm der Freiburger begann mit der Besichtigung der Fortschritte des im Bau befindlichen *European XFEL*. Die Inbetriebnahme des ersten Teils der Anlage soll Ende 2016 erfolgen. Im Anschluss an die Baustellenbesichtigung begrüßte Professor Dr. Serguei Molodtsov, wissenschaftlicher Direktor des XFEL-Projektes, die Freiburger Exkursionsgruppe. In seinem Vortrag erklärte er prinzipielle Funktionsweisen der verschiedenen Beschleuniger und gab Einblicke in die zukünftige Forschung am XFEL. Der darauffolgende Tag umfasste neben einer allgemeinen Führung über das DESY-Gelände speziell auch die Demonstration von Experimenten am Linearbeschleuniger Flash (Dipl.-Nat. Torsten Golz),



Abbildung 1: Freiburger Studenten bei der Führung zum aktuell im Bau befindlichen Röntgen-Freie-Elektronen-Laser XFEL durch Herrn Dr. Frank Poppe während der diesjährigen DESY-Exkursion.

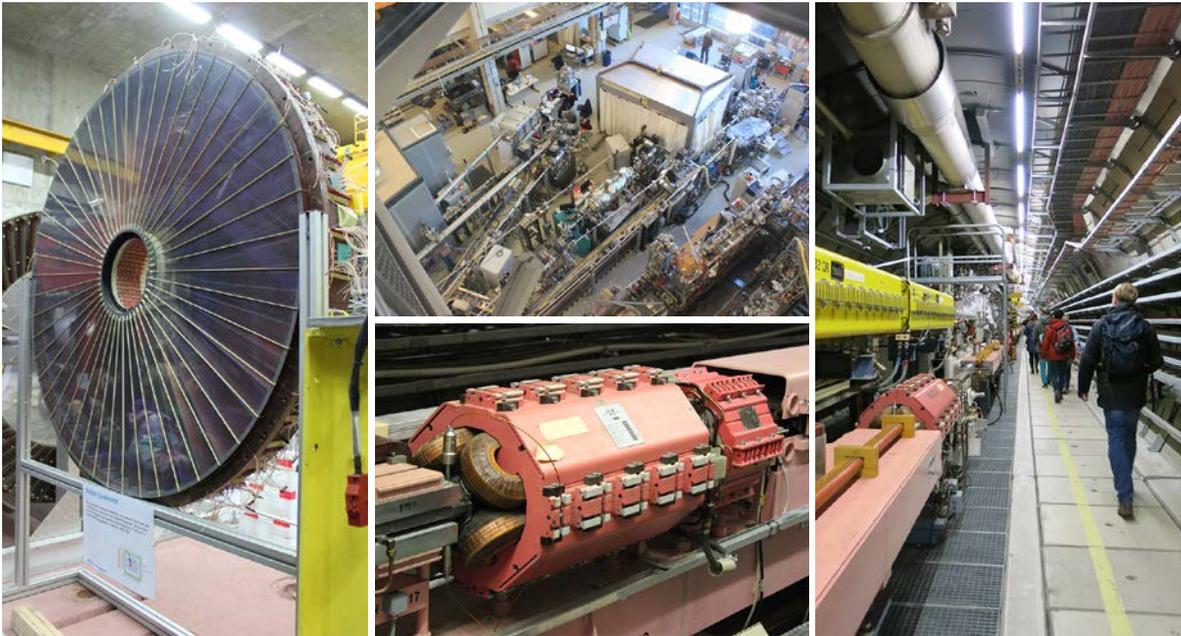


Abbildung 2: Verschiedene Ansichten der Beschleuniger und Nachweisinstrumente, die während des Programms gezeigt und vorgeführt wurden.

an den Speicherringen Petra III (Dr. Dmitri Novikov) und Doris III (Dipl.-Phys. Carsten Richter) (siehe Abbildung 2). Abgerundet wurde die Exkursion mit einer Führung durch die Hamburger Airbus-Werke, die den Studierenden einen detaillierten Überblick über die wissenschaftlich-technischen Herausforderungen bei der Fertigung von Flugzeugen, insbesondere des Modells A380, gab.

Die Initiative neuer Lehrprogramme im Rahmen des Projekts Dritte Säule des Hochschulpaktes umfasst eine an Petra III ab dem Jahr 2016 vorgesehene Messstation, welche die Umsetzung zukünftiger Lehrvermittlung am DESY stark fördern wird. Die für die Lehre im akademischen Bereich maßgeschneiderte „*Educational Beamline*“ wird derzeit durch den Wissenschaftler Dr. Dmitri Novikov geplant und kann in Zukunft auch größeren Gruppen von Studierenden die Möglichkeit der akademischen Ausbildung in modernen Röntgenmethoden bieten.

Im Aufbau befindet sich dafür u. a. auch ein eigenständiges Synchrotron-Praktikum der Bergakademie, das in das Curriculum verschiedener Masterstudiengänge integriert werden soll. Es beinhaltet eine Reihe von Versuchen, insbesondere die Röntgenbeugung für die Strukturaufklärung sowie

Röntgenabsorptionsspektroskopie zur Feinstrukturaufklärung (*X-Ray Absorption Fine Structure – XAFS*) und die resonante Röntgenstreuung (*Diffraction Anomalous Fine Structure – DAFS*). Bei diesen modernen Methoden der Röntgenspektroskopie werden aus der energieabhängigen Absorption und Streuung von Röntgenstrahlung an elementspezifischen Energien des Probenmaterials Parameter der unmittelbaren lokalen Umgebung der resonant angeregten Atome in einzigartiger Weise gewonnen.

Unterstützt wird diese Planung durch den Freiburger Doktoranden Carsten Richter, der am DESY im Rahmen einer Abordnung durch die Bergakademie u. a. an der Projektierung einer „*Chemical Crystallography Beamline*“ arbeitet. Ein Kooperationsvertrag ermöglicht es nun auch Freiburger Studenten unkompliziert die Einrichtungen des DESY für Messungen und Praktika zu nutzen. Diese Möglichkeit wurde bereits in ersten themenbezogenen Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten wahrgenommen.

Wir freuen uns, auch im nächsten Jahr auf eine rege Teilnahme, um mit interessierten Studierenden den Fortschritt der Messstationen sowie des Röntgenlaser weiter verfolgen zu können.

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr. Dirk C. Meyer
TU Bergakademie Freiberg
Direktor des Instituts für Experimentelle Physik
Leipziger Straße 23
09596 Freiberg

Kontakt

Telefon: 03731 39 2892
Fax: 03731 39 4314
Web: www.exphys.tu-freiberg.de

Redaktion

Dr. Hartmut Stöcker
Institut für Experimentelle Physik

Druck

Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg

Copyright

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Für die Nutzung von Texten, Grafiken, Fotos oder anderen Inhalten bitten wir um Kontaktaufnahme.

Titelbild

Elektroden auf einer epitaktischen GaN-Schicht, die zur elektrischen Charakterisierung und damit zur Aufklärung des Dotier- und Mobilitätsprofils dienen.
© Valentin Garbe.

Bildquellen

- 1 Medienzentrum
- 7 Hartmut Stöcker
- 8–14 Sven Jachalke, Hartmut Stöcker
- 15 Claudia Funke, Thomas Behm, Teresa Orellana Pérez
- 22 Robert Schmid, Sven Jachalke
- 23 Vasilii Bazhenov, Marcin Wysoskowski, Sabine Kaiser
- 24 Claudia Funke, Thomas Behm, Medienzentrum, Vasilii Bazhenov
- 25 Sabine Kaiser, Vasilii Bazhenov
- 26 Hermann Ehrlich, Vasilii Bazhenov
- 27 Medienzentrum
- 28–32 Serguei Molodtsov
- 33 Medienzentrum
- 35 Roman Gumeniuk
- 37 Ingo Schwirtlich
- 39 Tilmann Leisegang, Tina Weigel, Claudia Funke
- 40–43 Barbara Abendroth, Solveig Rentrop
- 47 Tina Nestler, Tilmann Leisegang, Falk Meutzner, Sven Jachalke, Hartmut Stöcker, Vasilii V. Bazhenov
- 48–49 Daniil Itkis, Anastasia Vyalikh
- 50 Tilmann Leisegang, Tina Weigel
- 51 Wolfram Münchgesang
- 52–53 DESY, Carsten Richter
- 54 Medienzentrum
- 56–57 Sven Jachalke, Hartmut Stöcker
- 58–59 Matthias Bauer
- 61 Marco Herrmann, Bernhard Jung
- 62 HZDR, Sander Münster
- 63 Claudia Funke, Thomas Behm
- 75 Hartmut Bergelt
- 76–77 Alena Raatz