



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



# JAHRESBERICHT 2021/22

## ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG







Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

für den vorliegenden Jahresbericht 2021/22 des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung steht mein herzlicher Dank für die durch alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter geleistete Arbeit an erster Stelle. Dabei waren wir nicht allein, sondern haben Unterstützung von verschiedenen Seiten erfahren. Dies betrifft auch die nach der Übergabe des Gebäudes an die Nutzer im Februar 2021 fortgewährte Unterstützung zur Entwicklung des Gesamtzusammenhanges von baulicher Seite. Ich glaube, dass das während der Antrags- und Bauphase entstandene partnerschaftliche Zusammenwirken bereits einen wesentlichen Kern des Zentrumsgedankens repräsentiert.

Das Gebäude ist voll nutzungsfähig und die Gedanken können fliegen. Es ist ein öffentliches Haus und sehr gern können Sie Einblick in die Labore durch die Fenster der Türen nehmen oder auch den regen Austausch in den wunderbaren Teeküchen erfahren. Nicht nur der Innenhof, sondern auch die Installation „Solaris“ zur Kunst am Bau sowie die begonnene Wechselausstellung „Kunst trifft Wissenschaft“ laden zusätzlich zu einem wahrnehmbaren Gesamtzusammenhang ein. Am ZeHS konnte erfolgreich eine Ringvorlesung, die auch zur Vernetzung der Mitglieder maßgeblich beiträgt, etabliert werden. Für das Sommersemester wird es außerdem ein ZeHS-Promovierenden-Kolloquium geben, das Herr Dr. Matthias Zschornak moderiert. Hinzu möchte ich eine ZeHS-Schüleruniversität etablieren. Alle genannten Angebote werden u. a. im Heft „proWissen“ kommuniziert. Es existieren sehr viele weitere Ideen und Initiativen. So soll das Demonstrationslabor, um dessen Organisation sich Frau Jun.-Prof. Fuhrmann in besonderer Weise kümmert, Schulklassen ansprechen und damit auch studentischen Nachwuchs begeistern. Gern habe ich der Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ unter Verantwortung

von Herrn Prof. Carsten Drebenstedt im Atrium des ZeHS eine temporäre Heimstatt gegeben. Es war überraschend, wie schnell zu diesen Entwicklungsflächen der passende Impuls kam.

Zurückliegend haben ZeHS-Mitglieder in der neubegründeten Reihe „Schriften zum ZeHS“ über Ihre fachlichen Intentionen und Themen unter dem Dach der Forschungsprogrammatische berichtet. Sie erreichen alle wichtigen Informationen wie auch entsprechende Dateien über unsere Homepage unter <https://tu-freiberg.de/zehs>. Ich habe versucht, auch über das Hausmagazin „Acamonta“ laufend zum Fortgang zu berichten.

Möge es so weitergehen und der Zusammenhalt fortgesetzte Festigung erfahren. Auf dieser Grundlage und auch unter Hinzugewinnung neuer Partnerschaften können die hohen Erwartungen der Verantwortlichen des Bundes und des Freistaates Sachsen, welche in den Freiburger Zentrumsgedanken vertrauten, erfüllt werden.

Das ZeHS wird maßgeblich durch die Aktivitäten der einzelnen Institute getragen. Diesbezügliche Synergien erkennbar zu machen gelingt in zunehmendem Maße bei gemeinsamer Freude an der Arbeit. Ein universitätsinterner Wettbewerb für zukünftige Spitzenforschungsthemen gibt uns die Gelegenheit, weitere Gemeinschaftsprojekte aktiv zu entwickeln.

Mit besten Grüßen und herzlichem Glückauf

Prof. Dr. Dirk C. Meyer  
Wissenschaftlicher Sprecher des ZeHS

# INHALTSVERZEICHNIS

---

---

<b>Das ZeHS</b>	<b>4</b>
Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung	6
Von der Beantragung bis zur Eröffnung	10
Architektur	14
Kunst am Bau	16
Vorstand des ZeHS	19
<b>Arbeitsgruppen</b>	<b>20</b>
Dr.-Ing. Martin Abendroth	22
Prof. Dr. Sebastian Aland	24
Prof. Dr. Christos G. Aneziris	26
Prof. Dr.-Ing. Thomas A. Bier	28
Prof. Dr.-Ing. Horst Biermann	30
Prof. Dr.-Ing. Andreas S. Bräuer	32
Freiberger Hochdruckforschungszentrum	34
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann	36
Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner	38
Prof. Dr. Michael Höck	40
Prof. Dr. Yvonne Joseph	42
Dipl.-Ing. Christian Koch	44
Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger	46
Prof. Dr. Sven Kureti	48
Prof. Dr. Andreas Leineweber	50
Prof. Dr. Florian Mertens	52
Prof. Dr. Dirk C. Meyer	54
Prof. Dr. Serguei Molodtsov	56
Prof. Dr. Felix A. Plamper	58
Prof. Dr. Oliver Rheinbach	60
Jun.-Prof. Dr. Björn Sprungk	62
Dr. Matthias Zschornak	64

---

---

<b>Analytikgeräte</b>	<b>66</b>
Forschungsgrößgeräte des ZeHS	68
Syntheseinfrastruktur am ZeHS	69
Analytikgeräte am ZeHS	70
Höchsttemperaturprüfmaschine	71
<i>Small Punch Test</i>	72
Ultraschall-Mikroskop	73
Hochtemperatur-AFM/STM	74
Röntgenkleinwinkel- und Röntgenweitwinkelstreuanlage	75
Gaschromatographen mit gekoppelter Massenspektrometrie	76
HT-Katalysator-Teststand mit Raman-Analytik	77
Reaktionsteststand mit Thermowaage, FT-IR und GC/MS	78
Einwurf- und Lösungskalorimeter	79
Hochtemperatur-Photoelektronenspektrometer	80
Hochtemperatur-Röntgendiffraktometer für PDF-Analysen	81
Laser-Flash-Anlage	82
Mikro-Raman-Spektrometer	83
Rasterelektronenmikroskop mit <i>Focused Ion Beam</i>	84
Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse	85

---

<b>Ringvorlesung</b>	<b>86</b>
Liste der Vorträge	88
Poröse Keramiken und chemische Wechselwirkungen für sauberen Stahl – Erwartungen und Grenzen	89
Stahl design – Ein breites Spektrum	90
Konzepte für eine nachhaltige Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoffwirtschaft	91
Wege zur nachhaltigen Ressourcennutzung in der Bau- bzw. Zementindustrie	92
Photoelektronenspektroskopie – Ein vielseitiges Werkzeug zur Untersuchung der elektronischen Struktur	93
Bioinspirierte anisotrope poröse Strukturen – Von Knochenersatzmaterialien zu Katalysatorträgern	94
Statische und dynamische Methoden der Hochdruck-Hochtemperatur-Synthese	95
Neue <i>High-Tec</i> -Materialien durch Hochdruck-Hochtemperatur-Synthesen	96
Kontinuumsmechanische Simulationen für die Entwicklung und Anwendung von Hochtemperaturwerkstoffen	97
Glas: Energie, Ressourcen und Umwelt	98

---

<b>Lehre</b>	<b>100</b>
ZeHS-Promovierendenkolloquium	102
Demonstrationslabor zu Festelektrolyt- und Halbleiter-Gassensoren	104
Demonstrationsversuch zur Silberlocken-Züchtung	106
Schüleruniversität	107

---

<b>Presse</b>	<b>108</b>
Pressemitteilungen	110
Impressum	112
Ein gemeinsames Zentrum in Freiberg	114

---



# DAS ZEHS

---





zeHs



**ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE  
HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG**

---

# ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG

---

## Erfolgreicher Wettbewerb auf Bundesebene

Im Zeitraum der Jahre 2012 bis 2015 beteiligte sich die TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) mit einem Antrag für ein „Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung“ (ZeHS) am Wettbewerb um eine Förderempfehlung für Forschungsbauten an Hochschulen gemäß Art. 91b GG. Nach der erfolgreichen Verteidigung vor dem Wissenschaftsrat und der Bestätigung durch die gemeinsame Wissenschaftskonferenz des Bundes und der Länder stehen der Universität nun in den Jahren 2015 bis 2020 ca. 41,5 Mio. Euro für die Baukosten und die Beschaffung ausgewählter Großgeräte zur Verfügung.

Im Rahmen des bundesweiten Wettbewerbs soll für exzellente und national bedeutsame Forschungsprogramme an Hochschulen die bauliche Infrastruktur mit einem Gesamtvolumen in Höhe von knapp 367 Mio. Euro bis 2020 gefördert werden, um so die Voraussetzungen der Hochschulen im nationalen und internationalen Vergleich weiter zu verbessern. Die Förderung der Vorhaben unterliegt strengen Kriterien. Wichtigste Voraussetzungen sind, dass sich diese durch herausragende wissenschaftliche Qualität auszeichnen und die Forschungsprogrammatische von überregionaler und nationaler Bedeutung ist.

Zum mehrstufigen Antragsverfahren gehörten die Vorlage einer Antragsskizze wie auch eines umfangreichen Vollantrags beim Wissenschaftsrat, wobei der TU Bergakademie Freiberg in allen Schritten vollste Unterstützung durch das Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) zu Teil wurde. Eine wichtige Rolle für die Auswahlentscheidung spielte die am 4. März 2015 von Professor Dirk C. Meyer als Sprecher des ZeHS und federführendem Verfasser der Antragsdokumente erfolgreich absolvierte Verteidigung des Vorhabens vor Vertretern des Wissenschaftsrats in Bonn. Am 24. April 2015 veröffentlichte der Wissenschaftsrat seine Förderempfehlung zugunsten des



ZeHS, in deren Rahmen er der Forschungsprogrammatische sehr hohe nationale Bedeutung beimaß, da diese einen technologisch und wirtschaftlich sehr relevanten Beitrag zum Thema der Energiewende ermöglicht. Schließlich bestätigte die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz aus Bund und Ländern diese Empfehlung am 19. Juni 2015. Eine wichtige Basis für die Forschungsprogrammatische bilden u. a. an der TU BAF bearbeitete Sonderforschungsbereiche der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie durch den Freistaat Sachsen finanzierte Verbundforschungsvorhaben. In erster Linie sind dies die DFG-Sonderforschungsbereiche 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ (Sprecher Prof. Christos Aneziris) und 799 „TRIP-Matrix-Composite“ (Sprecher Prof. Horst Biermann), das Innovationskompetenzzentrum „Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse – VIRTUHCON“ (Sprecher Prof. Bernd Meyer) sowie der Spitzentechnologiecluster ADDE des Freistaats Sachsen (Sprecher Prof. David Rafaja).

## Bündelung vorhandener Kompetenzen

Mit der Etablierung des ZeHS folgt die TU BAF ihrem Hochschulentwicklungsplan 2020, Forschung und Lehre über die gesamte Wertschöpfungskette weiter zu vernetzen. Dabei wird eine lückenlose Verknüpfung, ausgehend von der Theorie über den Laborversuch, die Techniks- und Pilotversuchsanlage bis hin zur Großversuchstechnik in einer für die industrielle Nutzung erforderlichen



skalenmäßigen Auslegung, angestrebt. Der Forschungsbau ermöglicht die strukturelle Bündelung der an der TU BAF in den Bereichen Hochtemperatur-(HT)-Prozesse und -Materialien in einzigartiger Weise vorhandenen Kompetenzen. Die HT-Stoffwandlung umfasst dabei alle Prozesse, die bei Temperaturen oberhalb von etwa 500 °C ablaufen. Der Fokus des ZeHS liegt auf der Entwicklung innovativer, ressourcen- und energieeffizienter Technologien im Bereich der Grundstoffindustrie, wobei Prozess- und Materialanforderungen in der chemischen Industrie, der Metallurgie sowie der Keramik-, Glas- und Baustoffindustrie zusammenhängend betrachtet werden und die Ergebnisse auch auf andere Branchen übertragbar sind.

## Maßgebliche Beiträge zur Energiewende

In seiner Empfehlung zur Förderung des Vorhabens unterstreicht der Wissenschaftsrat die erhebliche strategische Bedeutung der Steigerung von Ressourcen- und Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Energiewende. Hier kommen der flexibleren Nutzung erneuerbarer Ressourcen und der Schaffung geschlossener Stoff- und Energiekreisläufe sowie der Ausrichtung von Industrieprozessen auf zeitlich fluktuierende Angebote an Überschussenergie – insbesondere aus Solar- und Windkraft – unter Einbeziehung der Energiespeicherung besondere Bedeutung zu. Dabei stehen die Anforderungen an Prozesse und Materialien im unmittelbaren Zusammenhang. Die Entwicklungs- und Prozessketten erstrecken sich von den Grundlagen bis zu den Anwendungen in industrieskalierten Pilotanlagen. Das ZeHS soll im Ergebnis den Verbleib der ressourcen- und energieintensiven Grundstoffindustrie in Deutschland unterstützen; strategisch werden auch Neuan siedlungen angestrebt.

## Strukturelle Kennzeichen

Das ZeHS ist im Rahmen der interdisziplinären Arbeitsgegenstände der Forschungsprogrammatische für alle Professuren der TU BAF offen, womit deren Mitarbeiter die mit dem Forschungsbau geschaffene Infrastruktur und die Zentrallabore kooperativ in Anspruch nehmen können.

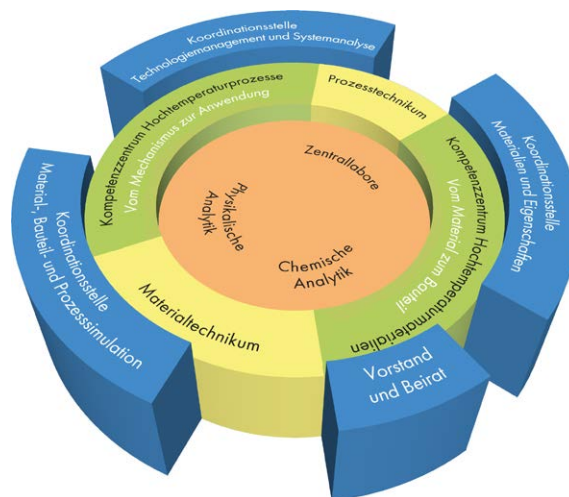


Abbildung 1: Teilbereiche des ZeHS

Die Professuren verbleiben an ihren Instituten, um die Verflechtung mit den Fakultäten zu erhalten. Die Forschungsinfrastruktur der TU BAF wird durch das Prozess- und Materialtechnikum des ZeHS abgerundet (siehe Abbildung 1). Zur Umsetzung der Forschungsprogrammatische des ZeHS wurde eine gleichnamige Zentrale Einrichtung gegründet. Eingeschlossen ist die Unterstützung von Aufgaben in Lehre und Weiterbildung. Das Rektorat verabschiedete nach Anhörung des Senats eine entsprechende Ordnung, welche Einzelheiten zur Struktur und zur Arbeit des Zentrums regelt.

## Kompetenzzentren „Hochtemperaturprozesse“ und „Hochtemperaturmaterialien“

Die Forschungsschwerpunkte des ZeHS werden durch die zwei komplementären Kompetenzzentren „HT-Prozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“ sowie „HT-Materialien – Vom Material zum Bauteil“ vertreten. Diese beiden Kompetenzzentren sollen die wissenschaftlichen Entwicklungslinien des ZeHS geschlossen bearbeiten. Sie umfassen jeweils mehrere Arbeitsgruppen; spezifische Quervernetzungen sind vorgesehen. Die angestrebte Gliederung des Forschungsbaus in ein gemeinsames Büro- und Laborgebäude sowie die Hallen für das Prozess- und Materialtechnikum schaffen die

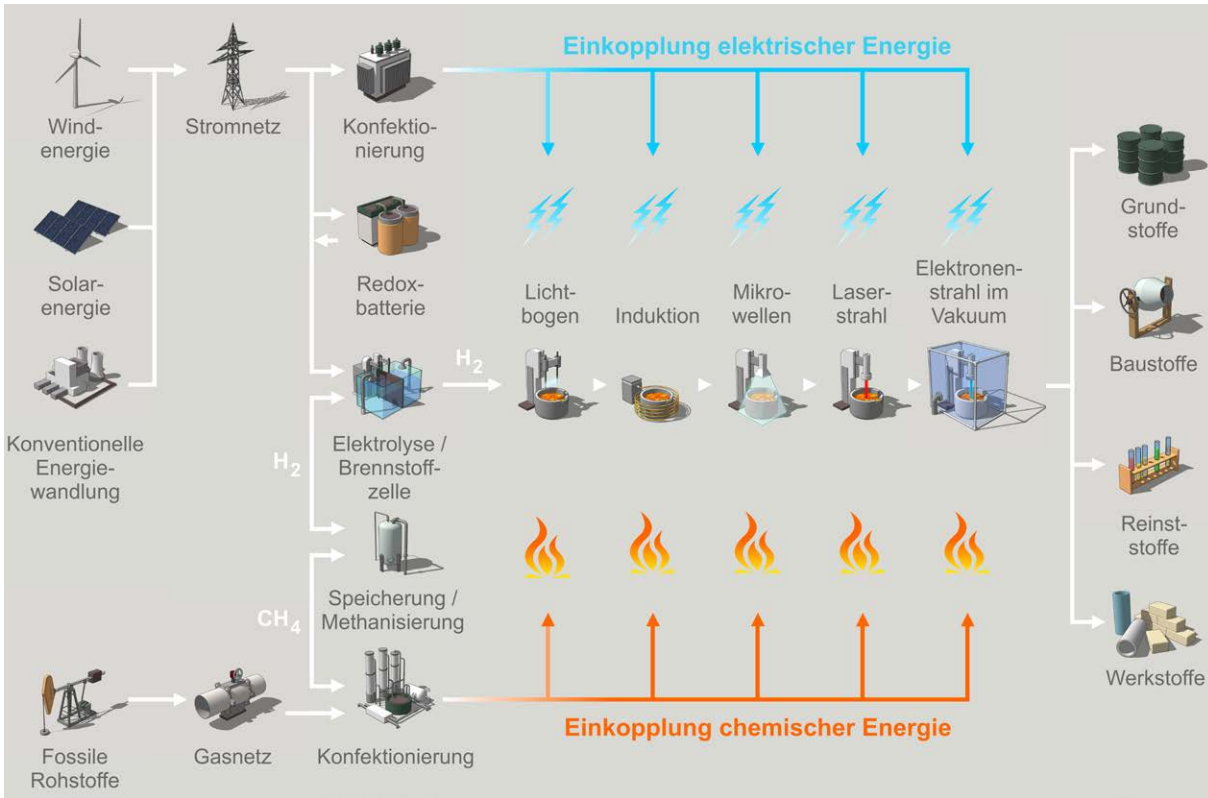


Abbildung 2: Stoff- und Energiekreisläufe mit HT-Prozessen, die am ZeHS betrachtet werden sollen

infrastrukturellen Voraussetzungen für die Bearbeitung der übergreifenden wissenschaftlichen Fragestellung.

Im Kompetenzzentrum „HT-Prozesse“ werden die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des ZeHS zu Technologien für effiziente HT-Prozess-Anlagen gebündelt, die für die Erzeugung der meisten industriellen Grundstoffe (z. B. Metalle, Keramik, Glas und Basischemikalien) von essentieller Bedeutung sind (siehe Abbildung 2). Allgemein soll die HT-Prozesstechnik dahingehend weiterentwickelt werden, dass deren Ressourceneffizienz bei gleichzeitiger Erhöhung der Energiedichte entscheidend gesteigert werden kann. Mittel- bis langfristig soll die vorhandene Expertise zu chemischen Reaktoren und Öfen der Thermoprozesstechnik zusammengeführt werden, mit dem Ziel ein umfassendes Stoff-, Prozess-, Material- und Modellierungswissen der beteiligten Fachdisziplinen für eine neue Generation von HT-Prozessen bereitzustellen.

Das Kompetenzzentrum „HT-Materialien“ bündelt die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des ZeHS für synthetische feuerfeste Materialien. Diese bilden die Voraussetzung für den Aufbau der Prozessumgebung bei allen maßgeblichen HT-Prozessen. Die Forschungsprogrammatische des Kompetenzzentrums HT-Materialien folgt umfassend dem ausgesprochen breiten Anforderungsspektrum bezüglich der Eigenschaften der HT-Materialien für eine deutliche Verschiebung ihrer Belastungsgrenzen und neue Anwendungsfelder. Die Kategorie der HT-Materialien ist, außer durch eine hohe Schmelztemperatur, zugleich durch große, auch das dynamische Verhalten betreffende, mechanische Festigkeitsanforderungen im gesamten Temperaturbereich des Einsatzes charakterisiert. Es ist vorgesehen, alle Einzelbereiche von der Ressourcenverfügbarkeit über technologische Fragen, etwa zur Fügetechnik, bis hin zum Recycling, geschlossen abzubilden.

## Koordinationsstellen

Die beiden Kompetenzzentren bilden zusammen mit drei Koordinationsstellen die fachliche Gliederung des ZeHS (siehe Abbildung 1). Die Koordinationsstellen „Materialien und Eigenschaften“, „Material-, Bauteil- und Prozesssimulation“ und „Technologiemanagement und Systemanalyse“ koordinieren einerseits die methodischen Kompetenzen sowie die Geräteinfrastruktur innerhalb des ZeHS, insbesondere für die geplanten Zentrallabore „Physikalische und Chemische Analytik“. Außerdem begleiten sie Verbundforschungsvorhaben mittels betriebswirtschaftlicher Methoden. Sie fungieren andererseits als Schnittstellen für die Integration der an den Instituten der TU BAF vorhandenen Kompetenzen in der Materialanalytik, Synthese, Modellierung, Simulation wie auch in den Wirtschaftswissenschaften und fördern fakultätsübergreifend den interdisziplinären Austausch.

Die Koordinationsstelle „Technologiemanagement und Systemanalyse“ hat neben der Planung, Durchführung und Kontrolle der Entwicklung ressourcen- und energieeffizienter HT-Prozesse Aufgaben im Innovationsmanagement und Wissenstransfer. Darüber hinaus sind die Koordinationsstellen logistische Ansprechpartner für Kontakte mit dem ZeHS und externen wissenschaftlichen Einrichtungen sowie für den Wissenstransfer in industrielle Anwendungen.

## Prozess- und Materialtechnika

Darüber hinaus sollen zwei Hallen für ein Prozess- und ein Materialtechnikum als kooperativ genutzte Infrastrukturen gebaut werden. Durch die Großgeräte im Prozess- und Materialtechnikum kann die Forschungsinfrastruktur der TU BAF zu geschlossenen Prozessketten integriert werden. Das Prozesstechnikum gliedert sich dabei in ein Synthese- und ein Ofentechnikum sowie ein Korrosions- und Nitrierlabor mit jeweils verschiedenen Geräten und Versuchsständen. Im Materialtechnikum soll das Kernstück einer pulvermetallurgischen Fertigungslinie für HT-Materialien bzw. refraktäre Verbundwerkstoffe abgebildet werden.

## Ausbau der Studienangebote

Die TU BAF plant im Zusammenhang mit der Forschungsprogrammatik des ZeHS die Einrichtung interdisziplinärer Bachelor- und (internationaler) Masterstudiengänge. Damit soll die internationale Verankerung des ZeHS im Bereich der Lehre sowie die Entwicklung profilierten wissenschaftlichen Nachwuchses gewährleistet werden.



## VON DER BEANTRAGUNG BIS ZUR ERÖFFNUNG

Mit der Förderempfehlung des Wissenschaftsrates für einen in Freiberg zu errichtenden Forschungsbau nach erfolgreicher Teilnahme am bundesweiten Wettbewerb gemäß Art. 91b Grundgesetz begann im Mai 2015 die Realisierung eines den Wissenschaftskorridor der TU Bergakademie Freiberg besonders prägenden Bauvorhabens: die des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS). Seitdem wurden viele Etappen durchlaufen. Der nachstehende Überblick benennt wichtige Zeitmarken der Umsetzung dieses Großvorhabens:

- 28. Juni 2013 – Vorlage der Bedarfsanmeldung
- 13. September 2013 – Einreichung der Antragsskizze
- 05. November 2013 – Verteidigung der Antragsskizze
- 09. Januar 2014 – Einreichung des Vollartrags
- 21. Februar 2014 – Verteidigung des Vollartrags
- 16. Januar 2015 – Einreichung der erweiterten Version des Vollartrags
- 04. März 2015 – Verteidigung der erweiterten Version des Vollartrags
- 24. April 2015 – Förderempfehlung des Wissenschaftsrats
- 27. Mai 2015 – Planungsauftrag des Sächsischen Staatsministeriums der Finanzen (SMF) an das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK)
- 18. Juni 2015 – Anerkennung der Bedarfsanmeldung durch den Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) und das SMF
- 19. Juni 2015 – Förderbeschluss der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz
- 25. Juni 2015 – Auftakt der Bauberatungen im SMWK und SIB
- 12. Mai 2017 – Symbolischer „Baggerbiss“ zum Baubeginn
- 22. März 2019 – Richtfest
- 22. Februar 2021 – Übergabe des Baus an die TU Bergakademie Freiberg (TU BAF)
- 01. April 2021 – Aufnahme der Arbeit durch das neu gebildete Direktorium
- 4. Mai 2021 – Eröffnung durch die Nutzer
- 4. Mai 2021 – Verleihung der Goldenen Ehrennadel der TU Bergakademie Freiberg an Prof. Dirk C. Meyer

Am 22. Februar 2021 ist das ZeHS nach nur vierjähriger Bauzeit offiziell an die TU BAF übergeben worden. Unter der Regie des SIB war es plankonform unter Beteiligung aller erforderlichen Gewerke errichtet worden. Erste Teilbereiche konnten schon ab dem Frühjahr des Jahres 2020 sukzessive an die TU BAF übergeben und von den Nutzern in Betrieb genommen werden. Die reinen Baukosten beliefen sich auf 34,2 Mio. Euro. Über 80 Prozent der Aufträge wurden von sächsischen Planungs- und Bauunternehmen ausgeführt. Parallel zum Baugeschehen erfolgte die Installation der im Zuge des Antragsverfahrens mitverteidigten Forschungsgroßgeräte im Gesamtwert von 9,75 Mio. Euro. Damit erhält der Forschungsstandort Freiberg – im bundesweiten Vergleich und erfolgreich im internationalen Wettbewerb stehend – einen maßgeblichen Aufwuchs.

Im Zusammenhang mit der Übergabe des Zentrums hielt Sachsens Wissenschaftsminister Sebastian Gemkow fest: „Mit der Konzentration der an der TU Bergakademie Freiberg vorhandenen Kompetenzen wird am ZeHS interdisziplinäres Forschen auf höchstem Niveau ermöglicht. Im

Fokus der wissenschaftlichen Arbeit stehen Ressourcen- und Energieeffizienz zur Schaffung nachhaltiger Industrieprozesse. Nicht ohne Grund hat der Wissenschaftsrat diesen technologischen Zielstellungen des ZeHS eine ‚sehr hohe gesellschaftliche und wirtschaftliche Relevanz‘ bescheinigt, gehören sie doch zu den drängenden Aufgaben der Zukunft. Gleichzeitig steht die Forschung am ZeHS in der Tradition der Kern-Forschungsbereiche der ältesten montanwissenschaftlichen Hochschule der Welt.“

Dem Wissenschaftlichen Sprecher, Herrn Professor Dirk C. Meyer, war es ein besonderes Anliegen, hervorzuheben, dass „das Zusammenwirken aller Beteiligten, darunter auch das Sächsische Staatministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus sowie das Baudezernat der TU BAF, unter Moderation des SIB in einer ausgesprochen konstruktiven Weise erfolgte, womit die Intentionen der Nutzeranforderungen sowie des gesamten Wettbewerbs hervorragend umgesetzt und die vorgesehene Bauzeit eingehalten werden konnten.“

Mit dem wissenschaftlichen Auftakt am 4. Mai 2021 wurden die Arbeiten im ZeHS offiziell gestartet – wozu teilweise langjährige Vorausplanungen wie auch weitere Forschungen gehörten und gehören. Im Rahmen einer feierlichen Veranstaltung würdigte der Rektor der Bergakademie, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, besonders die Verdienste des Wissenschaftlichen Sprechers des Zentrums, Prof. Dirk C. Meyer, für die Bergakademie, insbesondere sein unermüdliches Engagement für das ZeHS mit der Verleihung der Goldenen Ehrennadel der Universität. „Mit Prof. Dr. Dirk Meyer ehren wir einen begabten Leiter sowie international ausgezeichneten Wissenschaftler, der sich seit seiner Berufung an die TU Bergakademie Freiberg im Jahr 2009 für ihre Weiterentwicklung in Forschung und Lehre einsetzt“. Prof. Dirk C. Meyer war von 2010 bis 2016 als Prorektor tätig und engagierte sich in den Bereichen Bildung und Strukturentwicklung, wo er sich unter anderem maßgeblich an der Einwerbung des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Vorhabens MESIOR zu strukturellen Maßnahmen und zur Personalstärkung im Bildungsbereich sowie für den Antrag für das hier dargestellte Vorhaben erfolgreich einsetzte. Im mehrstufigen Antragsprozess für das ZeHS gelang es ihm, die Interessen von zirka 25 Professoren und damit die Forschungsprogrammatische der gesamten



**Abbildung 1: Richtfest am 22. März 2019**

TU BAF vor Kommissionen des Wissenschaftsrats erfolgreich zu vertreten und die Fördermittel für den Bau des ZeHS mit persönlichem Einsatz einzuwerben. Auch nach seiner Prorektorenzeit begleitete Prof. Dirk C. Meyer das Projekt während der gesamten, fünfjährigen Bauphase mit besonderer Intensität weiter. Vorbilder für die am ZeHS vorgesehene Zusammenarbeit waren für ihn die im Zentralen Reinraumlabor bereits gelebte Kooperation, klug konzipierte Infrastrukturen, wie die Kompetenzzentren der Sächsischen Landesexzellenzinitiative und das tägliche Erleben der stetigen Fortentwicklung der Universität. In besonderer Weise setzt er sich auch für die Vernetzung des ZeHS mit internationalen Großforschungseinrichtungen ein, wie dem Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) und dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR).

Die Forschungsschwerpunkte am ZeHS werden maßgeblich durch die beiden Kompetenzzentren „Hochtemperaturprozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“ und „Hochtemperaturmaterialien – Vom Material zum Bauteil“ bestimmt und sollen durch deren Leiter vorangebracht werden. Ergänzt wird deren Arbeit durch drei fachspezifische Koordinationsstellen in den Bereichen „Materialien und Eigenschaften“, „Material-, Bauteil- und Prozesssimulation“ sowie „Technologiemanagement und Systemanalyse“, die die methodischen Kompetenzen mit der Geräteinfrastruktur innerhalb des ZeHS repräsentieren (siehe Abbildung 1). In der damit gegebenen Matrix aus Methoden-, Stoff-, Prozess- und Systemkompetenz ist eine Qualität des Zusammenspiels sich gegenseitig ergänzender und durchdringender Wissenschaftsgebiete



**Abbildung 2:** Blick in das Treppenhaus im Kopfbau des ZeHS mit angrenzenden Teeküchen und Büros

möglich, wie sie nur in einem Forschungszentrum dieser Größe und strategischen Ausrichtung zu erreichen ist.

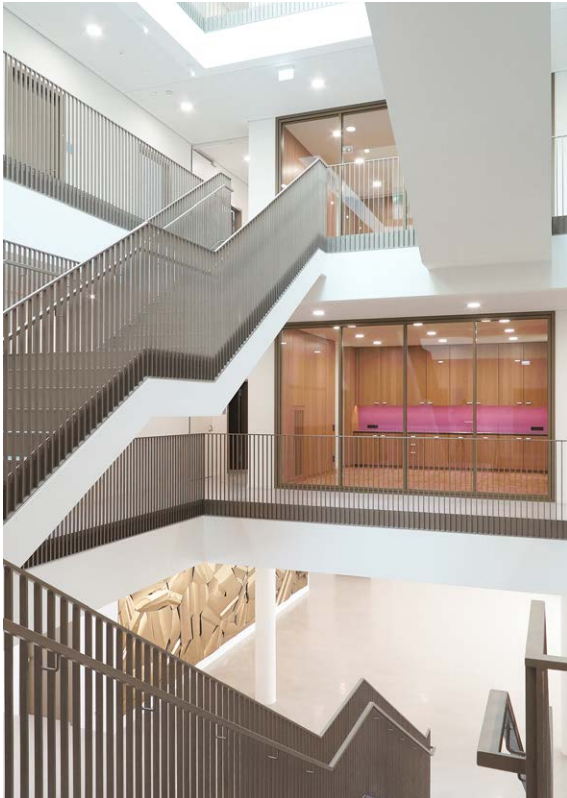
Im Wintersemester 2021/22 fand eine Ringvorlesung statt, in deren Rahmen Vorträge aus dem Forschungs- und Lehrgebietsfundus der Mitglieder des ZeHS präsentiert wurden. Die Veranstaltung sollte im 100 Plätze bietenden Vortragssaal im Erdgeschoss des ZeHS stattfinden, musste aber ab dem zweiten Vortrag online durchgeführt werden. Die Auftaktrunde umfasste ausschließlich Vorträge in deutscher Sprache und ermöglichte damit auch im Freiburger Umfeld einen direkten Zugang zur Arbeit dieser für die Region bedeutenden Einrichtung. Der Einladung eines internationalen Fachverlages folgend ist angedacht, die Beiträge dann auch in englischer Sprache in Buchform zu veröffentlichen. Dazu ist vorgesehen, eine Übersicht der während der gesamten Entwicklungszeit des ZeHS bisher geleisteten wissenschaftlichen Arbeiten unter dem Arbeitstitel „High-Temperature Processes and Materials Conversion – Future Prospect Demand“ in kompakter Form international zu kommunizieren.

Hinzugefügt sei an dieser Stelle, dass der moderne Forschungsbau gemäß Initiative des Wissenschaftlichen Sprechers und auf Zuwendungen maßgeblicher

Wissenschaftlerpersönlichkeiten gestützt eine Sammlung wertvoller wissenschaftlicher Nachlässe beherbergt, so u. a. die Sammlungen von Fr. A. Haake, Prof. T. Hahn und Prof. P. Paufler, die dem Gebäude einen besonderen Geist und damit verbundene Verwurzelung gewähren. Auch diesbezüglich sind wissenschaftliche Untersuchungen zum Erkenntnisgewinn in Arbeit.

Am Rande von Veranstaltungen sowie zu Gruppenbesuchen, etwa für ganze Schulklassen vorgesehene Praktika, kann der Zusammenhang zwischen baulicher Infrastruktur sowie Architektur, „Kunst am Bau“ und der Forschungsvision für eine breite Öffentlichkeit erfahrbar werden. Ein diesbezüglich guter Auftakt war sicherlich die Präsentation des Forschungsbaus im Rahmen des Tages der Architektur am 26. Juni 2021 unter Beteiligung der wesentlichen Mitwirkenden. In der „Freien Presse“ vom 29.06.2021 gab der verantwortliche Architekt des ausführenden Büros Heinle, Wischer und Partner Freie Architekten GbR aus Dresden, Jens Krauß, zum harmonischen Bauablauf u. a. an: „Fünf Jahre habe ich mit Professor Meyer und dem Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement eng zusammengearbeitet. Das war fast wie eine Ehe geworden, und zwar wie eine gute Ehe.“





**Abbildung 7:** Treppenhaus im Kopfbau des ZeHS

Die nachfolgenden Texte zu „Architektur“ und „Kunst am Bau“ sind in enger Anlehnung an, auch für Besucher offen am ZeHS ausliegende, Faltblatt-Informationen in Abstimmung mit den Urhebern verfasst. Weiteres findet sich unter [www.zehs-freiberg.de](http://www.zehs-freiberg.de).

### Danksagung

Zu dem hier beschriebenen Aufwuchs am ZeHS haben verschiedene Projektträger beigetragen. Besonderer Dank geht an Frau Kerstin Annassi, Projektträger Jülich, für die profunde Unterstützung einschlägiger Verbundprojekte. Der Gesamtzusammenhang des ZeHS wird durch eine kooperative Unterstützung des Bundes und des Freistaates Sachsen ermöglicht.

---

## ARCHITEKTUR

---

### Ein Ort wissenschaftlicher Zusammenarbeit

Die Innovationskette der Forschungsprogrammatisierung des ZeHS bildet sich im Neubau auch architektonisch ab. Die Büros, die Labore und die Versuchshalle sind in separaten Gebäudeteilen untergebracht (siehe Abbildungen 4 bis 6). Sie folgen der städtebaulichen Leitidee des „Wissenschaftskorridors“ und fügen sich durch ihre abgestufte Geschossigkeit in den Maßstab des Campus ein. Die einzelnen Kettenglieder sind in ihrer Abfolge räumlich – und übergeordnet auch gedanklich – miteinander verbunden.

Aus den Denkkzellen im Kopfbau gibt es Sichtbeziehungen auf alle tiefer liegenden Teile des Hauses bis in die Versuchshalle hinein und umgekehrt. Die effiziente, flexible Unterteilung des Raumprogrammes in Labor, Versuchshalle und Büro ermöglicht durch kurze Wege und Aufweitungen an hoch frequentierten Bereichen die Nutzung des ZeHS als Forschungs- und Austauschort für alle Fakultäten.

### Energie aus Freiburger Tradition

In die Gestaltung des Hauses sind viele Assoziationen aus dem Bergbau und dem Montanwesen eingeflossen. Wie ein aufgespaltenes Mineral, dessen äußere steinerne Hülle den inneren kristallinen Kern schützt, liegt der Neubau topographisch geschichtet am Wissenschaftskorridor. Der Neubau übersetzt das Karge und Schroffe der bergbaulichen Hütten und Halden in ein gestalterisches Gesamtkonzept und verortet sich damit auf dem Campus der Bergakademie und im Herzen der Bergstadt Freiberg.

### Wurzeln und Herausforderungen

Der Neubau mutet von außen durch seine steinerne Fassade aussagestark und kräftig an, gleichwohl geht die Fassade durch die ablesbare Schichtung der Geschosse sensibel mit den topographischen Verhältnissen um und lässt durch die regelmäßig, präzise gesetzten Fenster eine behütete Nutzung vermuten. Im Inneren entfaltet sich Wärme und zurückhaltender Glanz. Der räumliche Kontrast zwischen dem großzügigen Atrium und den engen, stollenartigen Gängen knüpft erneut an die Bergbautraditionen des Ortes an. Alle diese Räume umkreisen den Kern des Hauses – einen Innenhof – der gefasst wird mit Farben, die von sehr hellen über leicht rosafarbene bis zu sehr dunklen Violett-Tönen an Amethyste erinnern (siehe Titelbild). So wird der abgeschlossene Hof räumlich zur verbindenden Mitte des Hauses, um die sich das gesamte Wirken des Zentrums bewegt.

Die Materialien und Farben der Innenausbauten folgen diesen Themen ebenso: In den Büros, wo die „hohe Theorie“, die übergeordnete Planung der Dinge, passiert, kommen helle, glatte Oberflächen zum Einsatz. Die feine, praktische Arbeit in den Laborflügeln wird visuell in das Thema „Stollen“ übertragen und findet seine Entsprechung in bronzefarbenen, erdigen Tönen für Türen, Treppengeländer, Fenster oder Profile der Innenraumverglasungen. Die Teeküchen mit den Eichenverkleidungen interpretieren die „Schutzhütten“ in den Bergbaustollen. Die robuste Versuchshalle, in der die groben, gewichtigen Arbeiten stattfinden, ist gestalterisch durch rohe Materialien, wie Beton, Estrich oder verzinktes Metallblech, bestimmt.



**Abbildung 1:** Kopfbau des ZeHS



**Abbildung 3:** Technikumshalle des ZeHS



**Abbildung 2:** Laborgang im ZeHS



**Abbildung 4:** Teeküche und Begegnungsraum im ZeHS



---

## KUNST AM BAU

---

Der Entwurf „Solaris“ wurde im Rahmen des vom Sächsischen Staatsministerium der Finanzen ausgelobten Wettbewerbs Kunst am Bau für das ZeHS ausgewählt. Mit diesem Instrument fördert der Freistaat auf Grundlage seines baukulturellen Anspruchs die zeitgenössische, bildende Kunst, indem er bei Großen Baumaßnahmen Aufträge an bildende Künstler vergibt. Hierfür wird bei geeigneten Bauwerken ein Teil der Kosten bereitgestellt. Die ausgewählten Kunstwerke sollen dauerhaft fest im Inneren oder außerhalb der Gebäude mit diesem verbunden sein.

Im Verfahren wurde der Freistaat Sachsen durch den Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Chemnitz (SIB) vertreten; die Wettbewerbsbetreuung übernahm das Architekturbüro Eßmann | Gärtner | Nieper | Architekten GbR. Am 6. November 2019 wählte die Jury, der neben Künstlerinnen und Künstlern auch Vertreterinnen und Vertreter des Staatsministeriums für Wissenschaft, Kultur und Tourismus, des SIB, der TU Bergakademie Freiberg und des den Bau verantwortenden Architekturbüros Heinle, Wischer und Partner Freie Architekten angehörten, das nunmehr installierte Werk „Solaris“ aus. Für die Entscheidung spielten insbesondere die künstlerische, gestalterische Idee, die konzeptionelle Schlüssigkeit wie auch die technische und finanzielle Realisierbarkeit innerhalb des Kostenrahmens eine wichtige Rolle.

### Solaris

Nachfolgend kommt der Künstler Axel Anklam zu Wort:

Licht und Bewegung sind fundamentale Bestandteile unserer Erde und damit Gegenstand der Wissenschaft. Das Licht zum bildnerischen Medium zu machen – dieser Gedanke war Ausgangspunkt des künstlerischen Entwurfs Solaris für den Neubau des ZeHS an der TU Bergakademie Freiberg.

Was sehen wir? Goldene Lichtreflexe bedecken die Wände des Foyers. Von einer großflächigen goldschimmernden und partiell hellstrahlenden Wand wird der Besucher des Forschungsbaus empfangen. An deren goldverspiegelter Oberfläche einer vielfach gebrochenen Reliefstruktur wird ein Lichtstrahl reflektiert. An der Brechung des Lichtstrahls entstehen unzählige Reflexionen. Woher kommt das Licht?

Folgt der Blick des Betrachters dem Lichtschein, wird er schnell gewahr, dass dieses Licht im Lichtschacht des Treppenhauses eingefangen und über mehrere Spiegel durch das Treppenhaus ins Foyer geleitet wird (siehe Abbildung 7). In der Tat ist es das Sonnenlicht, welches gebündelt ins Innere übertragen wird. Der so gerichtete Lichtstrahl teilt sich prismenartig auf der fragmentarisch gebrochenen Metalltextur (siehe Abbildung 8).

Ausgehend vom Erbe des Ortes Freiberg mit seiner Erzbergbaugeschichte, der Gewinnung von Edelmetallen und deren Verhüttung, hat die Weiterentwicklung der Technologie folgerichtig zur Idee des Forschungsneubaus der TU Bergakademie Freiberg geführt. In den Laboren kumuliert das Wissen um die chemische und physikalische Analytik der Werkstoffe in der Hochtemperatur-Stoffwandlung. Hier versuchen Wissenschaftler, heutige Fragestellungen der Energieumwandlung aus dem Blickwinkel des Umweltschutzes und der Verantwortung für den Planeten mit neuen Ideen und Techniken zu beantworten.

Die Arbeit Solaris kann als Abbild des Prozesses dieser Grundlagenforschung angesehen werden. Im Versuchslabor werden mit Hilfe von Solarenergie chemische Prozesse im Bereich der Hochtemperatur in Gang gesetzt. Die Kunst stellt hier eine Analogie dazu her: Sie benutzt das Licht als Sinnbild und Symbol für Erkenntnisgewinn. Dieses wird von Außen ins Innere geholt. Gleich einem Lichtmikroskop bringt die Kunst den Kern des Gebäudes zum Leuchten und folgt so den Grundgedanken der Alchemie: die Untersuchung der Umwandelbarkeit



**Abbildung 1:** Das Kunstwerk „Solaris“ von Axel Anklam im Atrium des ZeHS

(Transmutation) von Elementen, in diesem Fall von Metallen.

Wie alchemistisches Gold, durch das Licht energetisch aktiviert und gebrochen in der Oberfläche, zeigt das Edelstahlrelief eine abstrahierte Übersetzung der mikroskopischen Aufnahme seiner selbst: Ein kristallines Gefüge aus dem Blickwinkel der Metallographie. Übersetzt ist hier ausschnitthaft die Struktur eines austenitischen Gefüges der Edelstahllegierung Cr-Ni 17-12 in 5000-facher Vergrößerung. Trifft das Licht auf diese Reliefs, lassen die tausendfachen Reflexionen den Raum in einem auratischen Licht erstrahlen. Es entstehen neue Licht-Bezugspunkte, welche in ihrer Modulation den Raum neu definieren.

In Erinnerung an die Kunst des „ZERO“ ruft das sich kontinuierlich verändernde Licht zwischen sonnigem und wolkenbedecktem Himmel ein lebendig komplexes Gefüge von sich überlagernden, prismatischen Spiegelungen hervor. Das Licht gestaltet den Raum, so dass dieser mit den sich in der Wandoberfläche spiegelnden Menschen und der Umgebung zu einer nahezu immateriellen Konsistenz verschmilzt.

Fehlt das Licht von außen, ist der Betrachter gefordert. Je nach seinem Standpunkt wandeln sich die Reflexionen im Relief. Ein immer neues Gefüge baut sich auf. Diese

wechselnde Erscheinung sensibilisiert einerseits den Betrachter und motiviert ihn zur Selbstreflexion, andererseits lenkt es dessen Aufmerksamkeit auf das Phänomen und die Kraft der Sonne in einer modellhaften Situation. Der Neubau erfüllt somit auf ästhetische Weise die Erwartung an ihn als einen Raum der Erfahrung und des Denkens.

## Spiegel

Das Sonnenlicht wird mit Hilfe einer Folge von runden Spiegeln über den Luftraum des Treppenhauses in das Foyer geleitet. Hierbei bekommt Spiegel Nr. 1 die Funktion, das Sonnenlicht einzufangen und in entsprechendem Winkel an Spiegel Nr. 2 weiterzuleiten. Dafür wird am ersten Spiegel ein *Solar-Tracking*-System montiert, welches die Sonnenposition aufnimmt und diese über zwei Linearaktuatoren (Stellmotoren) auf die Spiegelposition überträgt. Die Spiegelflächen haben einen Durchmesser von 45 cm. Die Spiegel 2 bis 5 sind fest installiert und bleiben nach einmaligem Ausrichten in der jeweiligen Position.

## Relief

Das Relief, bestehend aus ca. 30 Teilstücken, wurde auf der großen Eingangswand (ca. 3 m × 10 m) im Foyer des ZeHS installiert. Die einzelnen Reliefs sind aus 0,8 mm dickem, hochpolierten, titanoxidbeschichteten Edelstahlblechen gefertigt. Das Aufkanten der Fläche erfolgte im kalten Zustand. Für jede einzelne Biegung galt es, ein passgenaues Werkzeug anzufertigen, um die komplex verlaufenden Feldlinien auf das Blech zu übertragen. Zur Anwendung kam eine teils technische (nämlich lasergeschnittene), teils rein handwerkliche Freiformtechnik, um die selbstverständlich erscheinenden Verläufe der Falten und Krümmungen zu erzeugen. Die Reliefs wurden rückseitig großflächig mit Haftblechen aus Aluminium verklebt, die zur Aufnahme von Schrauben dienen, nacheinander vor Ort an der Wand zusammengesetzt und mittels verdeckter Schrauben befestigt.

Jedes Teilstück hat ein Gewicht von maximal 13,5 kg und ist mit vier Haltepunkten in der Wand verankert. Die Oberfläche zeichnet sich durch eine hohe Härte und Witterungsbeständigkeit aus. Hier entsteht der atmosphärische Grundton eines warmen Metallglanzes, der abhängig vom Standpunkt und von der Bewegung des Betrachters in seiner Farbigkeit changiert. Der Umraum setzt sich als Spiegelbild in der Vielzahl der gebrochenen und leicht gekrümmten Flächen neu zusammen.

## Danksagung

Maßgeblich unterstützt bei der Arbeit an Solaris wurde Axel Anklam von seinem Freund und Kollegen Thomas Henninger, mit dem er ein gemeinsames Büro betreibt ([www.anklam-henninger.de](http://www.anklam-henninger.de)). Neben der Mitwirkung an den Entwürfen realisierte Thomas Henninger die Programmierung und Konstruktion der Spiegelmechanik. Die Bauleiterin von Seiten der Nutzer, Mandy Schön, dankt im gemeinsamen Austausch mit Prof. Dr. Dirk Meyer den Künstlern für den wunderbaren Ausdruck des Gebäudes, der Besucher einnimmt und in die Forschungszusammenhänge führt.

---

## VORSTAND DES ZEHS

---

Wissenschaftlicher Sprecher: **Prof. Dr. rer. nat. Dirk C. Meyer**

Direktor, Vorsitz des Vorstands: **Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer**

Stellvertretender Direktor: **Prof. Dr. rer. nat. Edwin Kroke**

Leiter des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturmaterialien – Vom Material zum Bauteil“:

**Prof. Dr.-Ing. Christos G. Aneziris**

Vertreter des Leiters des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturmaterialien – Vom Material zum Bauteil“:

**Prof. Dr.-Ing. Horst Biermann**

Leiterin des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturprozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“:

**Prof. Dr.-Ing. Olena Volkova**

Vertreter der Leiterin des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturprozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“:

**Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner**

Leiter der Koordinationsstelle „Technologiemanagement und Systemanalyse“: **Prof. Dr. rer. pol. Michael Höck**

Leiterin der Koordinationsstelle „Materialien und Eigenschaften“: **Dr. rer. nat. Barbara Abendroth**

Leiter der Koordinationsstelle „Material-, Bauteil- und Prozesssimulation“: **Dr.-Ing. Martin Abendroth**

Vertreter der Mitgliederversammlung: **Prof. Dr. rer. nat. Serguei Molodtsov**

Beauftragter für Nachwuchsförderung: **Prof. Dr.-Ing. Urs Peuker** (als Prorektor)

Beauftragte für Gleichstellung: **Prof. Dr. rer. nat. Yvonne Joseph**

Beauftragte für Arbeits- und Umweltschutz: **Dr. rer. nat. Sandra Schwarzer**



# ARBEITSGRUPPEN

---





**ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE  
HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG**



## Dr.-Ing. Martin Abendroth

**Institut für Mechanik und Fluidodynamik,  
Leiter der Koordinationsstelle für Material-,  
Bauteil und Prozesssimulation**

### Forschungsschwerpunkte

Die Koordinationsstelle für Material-, Bauteil- und Prozesssimulation unter der Leitung von Dr. Martin Abendroth hat die Aufgabe die Aktivitäten zur Simulation und Modellierung von Materialeigenschaften und des Materialverhaltens auf atomaren, mesoskopischen und makroskopischen Längenskalen zu bündeln und damit Voraussetzungen zur Entwicklung neuer Hochtemperatur- und Hochleistungswerkstoffe zu schaffen.

Die bearbeiteten Forschungsthemen umfassen dabei die Entwicklung von Materialmodellen für hochporöse Werkstoffe, für chemo-thermo-mechanisch gekoppelte Prozesse und adaptive mechanische Systeme. Ein weiterer experimenteller Schwerpunkt ist die Entwicklung miniaturisierter Prüfmethode, mit dem Ziel der Bestimmung des Verformungs- und Versagensverhaltens von Werkstoffen mit Hilfe von Kleinstproben im Millimeterbereich.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Akquise neuer Drittmittelprojekte und der Ausbau und die Pflege von Kontakten in die Industrie und zu internationalen Forschungsgruppen, die sich mit verwandten wissenschaftlichen Fragestellungen beschäftigen. Ebenso wichtig ist die stärkere Vernetzung innerhalb der TU Bergakademie Freiberg, so dass fakultätsübergreifende Großforschungsprojekte unterstützt werden können.

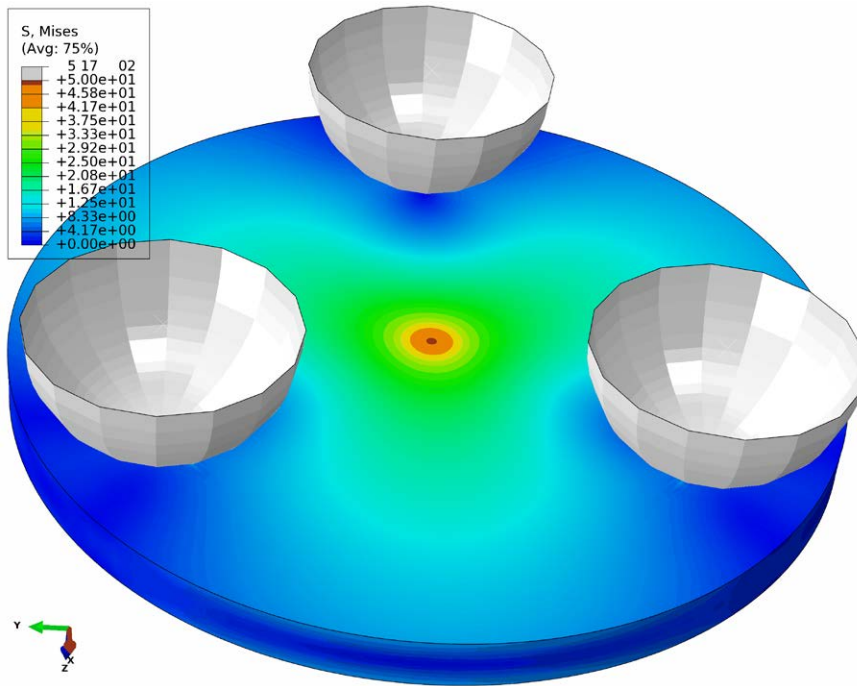
### Aktuelle Projekte

Im Sonderforschungsbereich SFB 920 werden zwei Teilprojekte bearbeitet. Das Teilprojekt B05 beschäftigt sich mit der Modellierung und der Bewertung des thermo-mechanischen Verhaltens von Filterwerkstoffen und Filterstrukturen für die Metallschmelzefiltration. Im Teilprojekt C03 werden die temperaturabhängigen bruch- und schädigungsmechanischen Eigenschaften der keramischen Filterwerkstoffe aus Kleinstproben bestimmt.

Im GRS/BMWi Projekt I 501578 wird das Kleinstprobenprüfverfahren *Small Punch Test* optimiert. Insbesondere soll die Streuung der Versuchsergebnisse im Hochtemperaturbereich durch die Minimierung des Reibungseinflusses reduziert werden. Hierbei kommen auch am Institut für Mechanik und Fluidodynamik entwickelte Simulationen und Materialmodelle zum Einsatz.

Zusammen mit Prof. Björn Kiefer vom Institut für Mechanik und Fluidodynamik konnte ein neues Forschungsvorhaben im Rahmen des Wasserstoff-Leitprojektes H<sub>2</sub>Giga eingeworben werden. Darin werden vier wissenschaftliche und technische MitarbeiterInnen in Zusammenarbeit mit der Firma Sunfire, dem DECHEMA-Forschungsinstitut, der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH sowie weiteren Industriepartnern die Entwicklung großskaliger Hochtemperaturelektrolyseure unterstützen, um eine leistungsfähige und kostengünstige Produktion von grünem Wasserstoff in Deutschland zu ermöglichen. Die Mitarbeiter finden dafür im Forschungsbau eine ideale Infrastruktur vor. Durch den regelmäßigen Austausch mit anderen Forschenden am ZeHS innerhalb von Seminaren und Workshops werden eine weitere Vernetzung angestrebt und damit auch die Grundlagen für die Beantragung zukünftiger Forschungsprojekte gelegt.



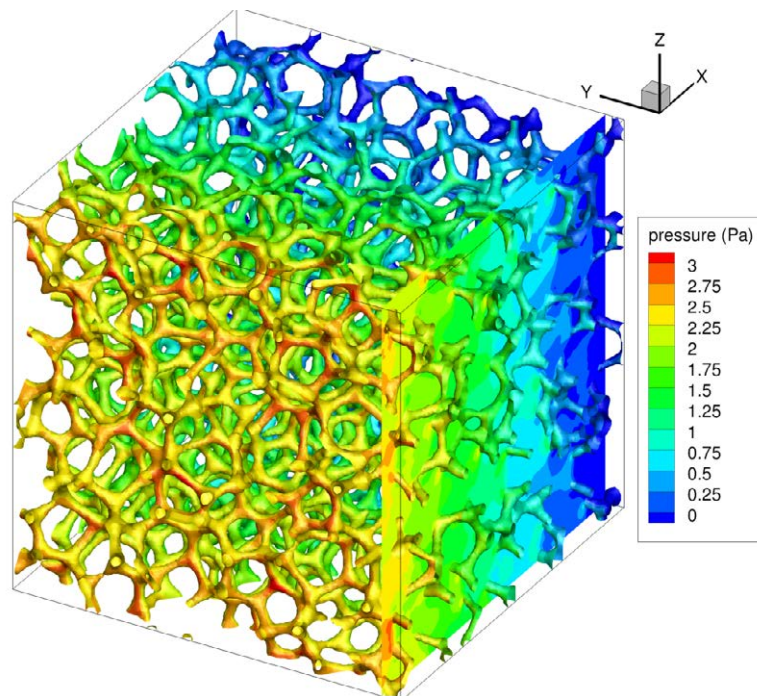


### Spannungsanalyse einer Keramikprobe beim Ball on Three Ball Test

Beispiel für einen Kleinstprobenversuch: Die scheibenförmige Probe hat einen Durchmesser von nur 8 mm bei einer Dicke von 0,5 mm.

### Simulation des Druckabfalls in einem Keramikschaum während eines Metallschmelzefiltrationsprozesses

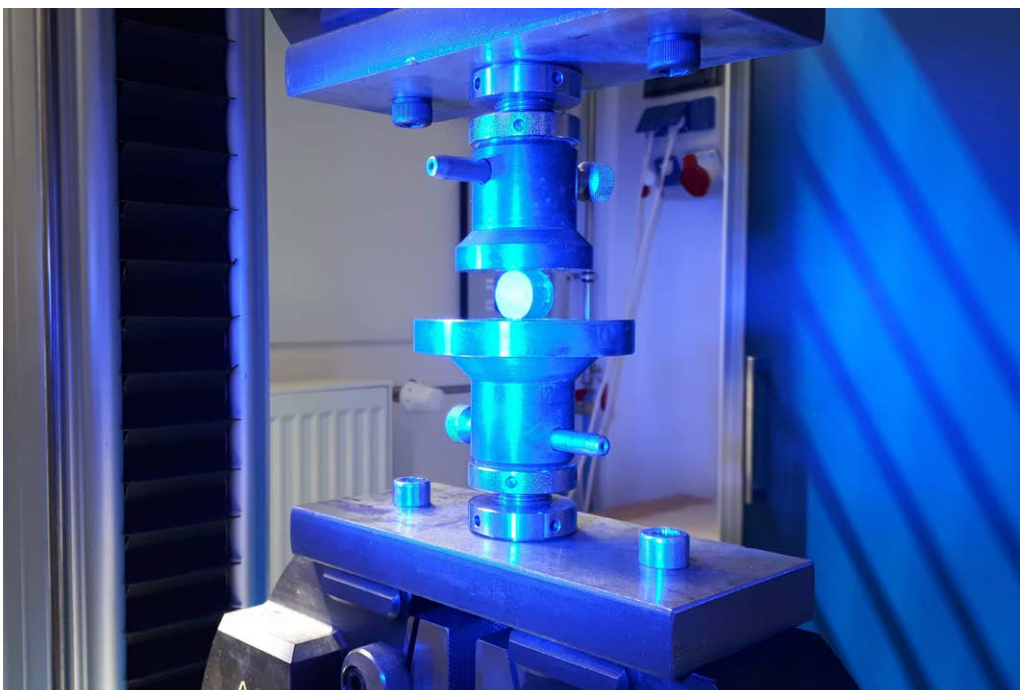
Die Schaumstruktur ist in allen drei Raumrichtungen periodisch und wurde am Computer generiert.



### Bestimmung der Druckfestigkeit von keramischen Werkstoffen mit Hilfe des Brazilian Disc Test und dem ARAMIS DIC System

Zur Ermittlung der Bruchzähigkeit wird die Verformung der Probe mit Hilfe digitaler Bildkorrelation ermittelt, wofür eine spezielle Beleuchtung mit monochromatischem Licht erforderlich ist.

LABORE NORD, RAUM I.317







## Prof. Dr. Sebastian Aland

### Numerische Simulation bewegter Grenzflächen

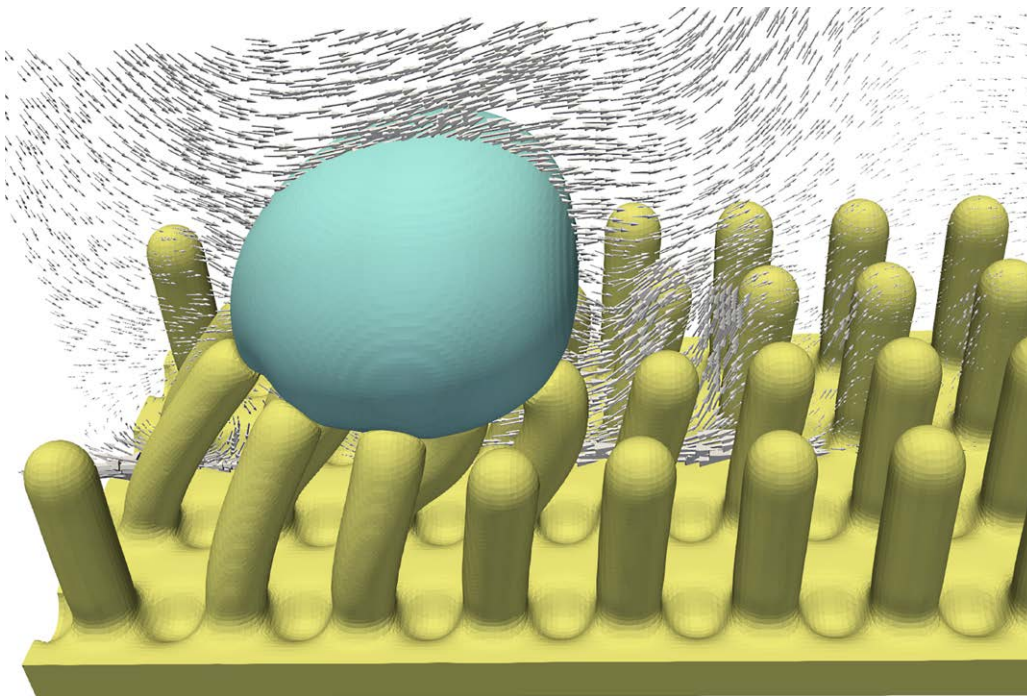
#### Forschungsschwerpunkte

Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Sebastian Aland befasst sich mit der direkten numerischen Simulation physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse mit bewegten Grenzflächen. Diese Bewegung kann hierbei durch Transport oder Wachstum einer Phase sowie durch Phasenübergänge verursacht werden.

Die Spezialisierung der Gruppe liegt auf der Beschreibung von Mehrphasenströmungen durch detaillierte numerische Modelle, welche die Formveränderung und Oberflächenphysik von Blasen und Tropfen korrekt vorhersagen können. Die Gruppe forscht an der Entwicklung numerisch stabiler und effizienter Methoden, um möglichst viele physikalische Effekte fundiert einzubeziehen (bspw. chemisch aktive Substanzen, Oberflächenpartikel, Wärme- und Massentransport über die Grenzfläche). Zur Lösung werden energiestabile adaptive Finite-Elemente-Verfahren entwickelt und parallel auf Hochleistungsrechnern gelöst.

#### Aktuelle Projekte

In den letzten Jahren verschiebt sich der Fokus zunehmend hin zur Interaktion komplexer Fluide mit viskoelastischen Festkörpern und viskoelastischen Oberflächen und Membranen. Im Rahmen eines DFG-Schwerpunktprogramms werden auf diese Weise die Benetzungseigenschaften mikrostrukturierter Oberflächen untersucht. Im Rahmen weiterer DFG-Projekte werden Methoden zur Simulation biologischer Zellen entwickelt, welche neuartige Verfahren der Krankheitsdiagnostik ermöglichen. Durch Kopplung aktiver chemischer Prozesse auf Zelloberflächen konnten erstmals selbstregulierte Musterbildungsprozesse in Zellen untersucht werden.

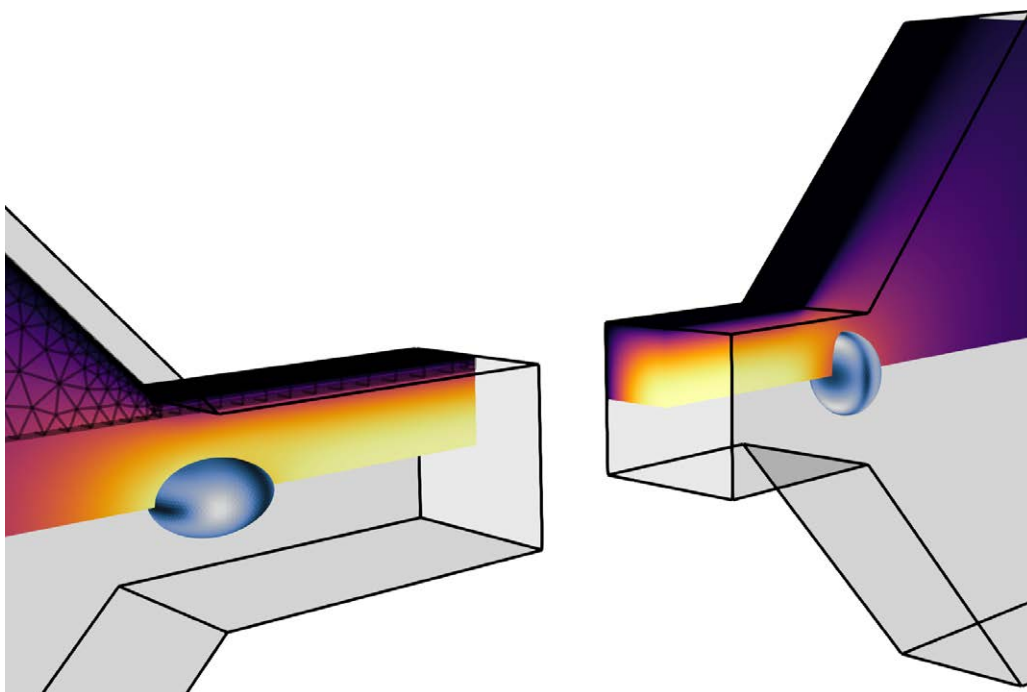
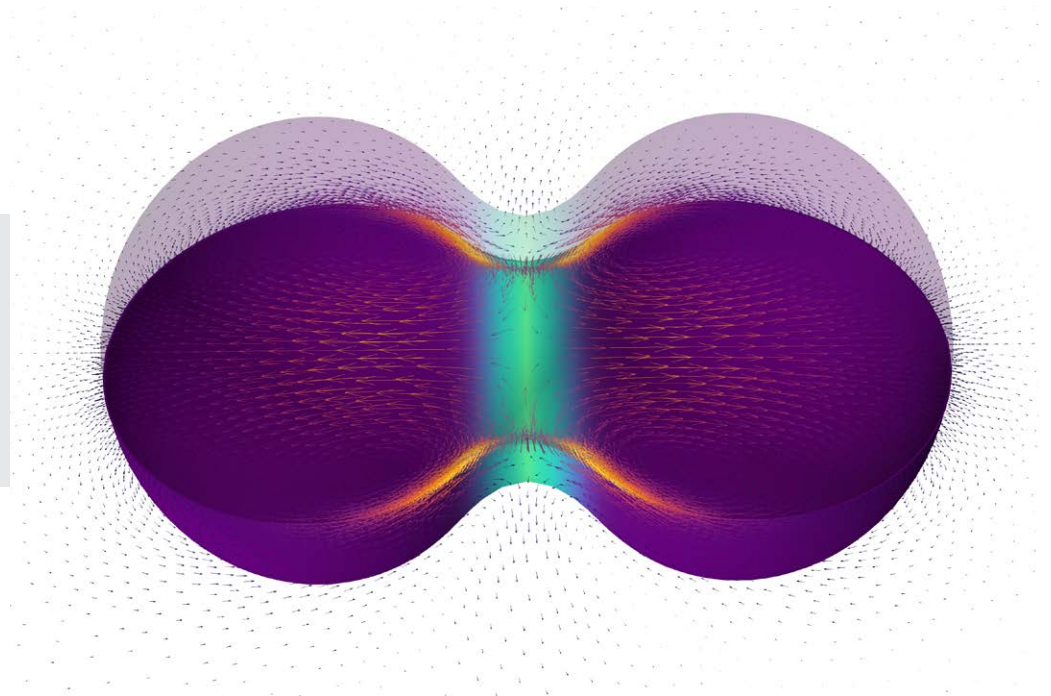


### Benetzung

Simulation der Benetzung eines Flüssigkeitstropfens, der über ein mikro-strukturiertes elastisches Substrat gleitet

### Musterbildung

Simulation der Musterbildung mechanisch aktiver Proteine auf der Oberfläche einer biologischen Zelle, die zur Zellteilung führt



### Mikrofluidik

Mikrofluidik-Simulation eines viskoelastischen Tropfens in einem Strömungskanal



## Prof. Dr. Christos G. Aneziris

**Keramik, Feuerfest und Verbundwerkstoffe,  
Leiter des Kompetenzzentrums  
„Hochtemperaturmaterialien – Vom Material zum  
Bauteil“**

### Forschungsschwerpunkte

Die Professur für Keramik, Feuerfest und metalkeramische Verbundwerkstoffe von Prof. Christos G. Aneziris befasst sich mit der Entwicklung von thermoschock- und korrosionsbeständigen keramischen Werkstoffen für Hochtemperaturanwendungen sowie refraktären und Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen. Dabei steht auch immer die Weiterentwicklung von klassischen keramischen Technologien und die Anwendung moderner Verfahrenstechniken im Fokus.

Aktuell forschen Prof. Aneziris, Frau Dr. Jana Hubáľková und Herr Dr. Patrick Gehre als Antragsteller sowie zwei wissenschaftliche Mitarbeiter der Professur im Rahmen der DFG-Forschungsgruppe FOR 3010 „Refrabund“ im ZeHS. Diese hat sich zum Ziel gesetzt, Grundlagen für eine völlig neue Generation von Hochtemperatur-Verbundwerkstoffen zu schaffen. Die grundlegende Idee entfaltet sich aus der Hochzeit der beiden Werkstoffklassen Feuerfestkeramiken und refraktäre Metalle und der Expertise der beiden Forschungseinrichtungen, der TU Bergakademie Freiberg und dem Karlsruher Institut für Technologie KIT.

In der ersten Förderperiode der Forschungsgruppe FOR 3010 liegt der Fokus auf der Erforschung der vorsynthetisierten Körnung für die Entwicklung und Herstellung von Bauteilen aus refraktären Verbundwerkstoffen.

### Rasterelektronenmikroskop mit FIB

Die Eigenschaften der angestrebten refraktären und Metall-Keramik-Verbundwerkstoffe werden unter anderem durch die Metall-Keramik-Grenzflächen bestimmt. Für ihre Anwendung ist somit das Verständnis von Grenzflächenreaktionen erforderlich. Dasselbe gilt für die Analyse von Korrosionsvorgängen.

Zur Erforschung derartiger Reaktionsmechanismen können Untersuchungen mit Rasterelektronenmikroskopen (REM) einen wesentlichen Beitrag leisten. Durch die Kombination von chemischer Analyse mittels energiedispersiver Röntgen-Spektroskopie (EDS) und Strukturanalyse mittels Rückstreuелеktronenbeugung (EBSD) bei vergleichbarer Ortsauflösung können Gefügebestandteile und Reaktionen bis in den nm-Bereich untersucht werden.

Voraussetzung dafür ist eine passende Probenpräparation. Eine sehr gut geeignete Methode ist die Herstellung von durchstrahlbaren Lamellen mit Hilfe eines fokussierten Ionenstrahls (FIB). Die FIB-Technologie ermöglicht die gezielte Herauspräparation interessierender Probenbereiche, die dann bei vergleichbarer räumlicher Auflösung von Frau Dr. Nora Brachhold mittels EBSD und EDS untersucht werden können, um ablaufende Reaktionen in den Bauteilen während des Herstellungsprozesses und in der Anwendung zu verstehen.





### Rasterelektronenmikroskop mit Focused Ion Beam (FIB)

3D-Grenzflächenanalyse von refraktären metallokeramischen Erzeugnissen und Recyclingansätzen

LABORE SÜD, RAUM EG.304

### Schutzgas-Entbinderungs- und Sinterofen

Untersuchung des Entbinderungs- und Sinterverhaltens refraktärer metallo-keramischer Erzeugnisse

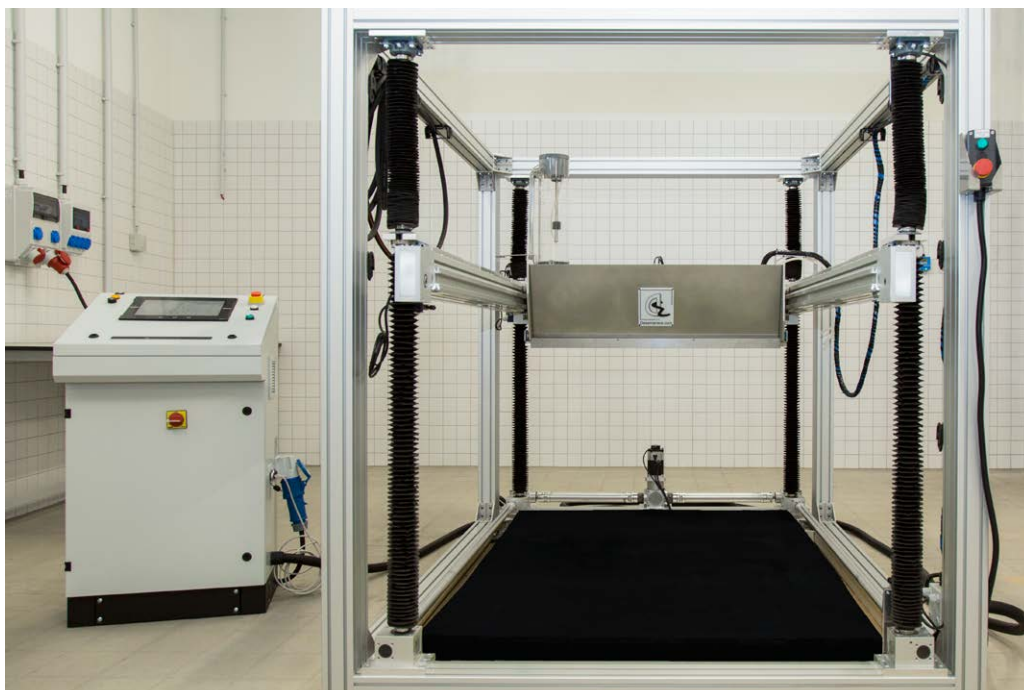
HALLE A, BEREICH Z1,  
RAUM SG.401



### Water-Jet 3D-Drucker

3D-Druck von großformatigen, grob-körnigen, metallokeramischen und refraktären Bauteilen

HALLE A, BEREICH 1+2,  
RAUM SG.402







## Prof. Dr.-Ing. Thomas A. Bier

### Bauchemie und Bauverbundwerkstoffe

#### Forschungsschwerpunkte

Die Aktivitäten der Arbeitsgruppe von Prof. Thomas A. Bier ordnen sich hervorragend in das Forschungsprofil der TU Bergakademie Freiberg im Schwerpunkt „Neue Materialien und Innovative Werkstoffe“ ein, wobei im letzten Jahrzehnt Themen zur Nutzung von Abfallstoffen oder sekundärer Rohstoffe im Sinne geschlossener Kreisläufe immer wichtiger wurden.

Es liegen langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Werkstoffentwicklung, Fertigung, Prüfung und Anwendung auf folgenden Gebieten vor:

##### Baustoffchemie

- H<sub>2</sub>O- und N<sub>2</sub>-Sorption
- Alternative Zementchemie
- Nutzung industrieller Reststoffe für nachhaltige, CO<sub>2</sub>-effiziente Bindemittel
- Quantitative Röntgenbeugung
- Ternäre, mineralische sowie organo-mineralische Komposite

##### Baustofftechnologie

- Betontechnologie
- Hochleistungsbetone – SVB und UHPC
- Öko-Beton durch SCM
- Trockenmörteltechnologie
- 3D-Druck von Bauteilen

##### Bauteileigenschaften

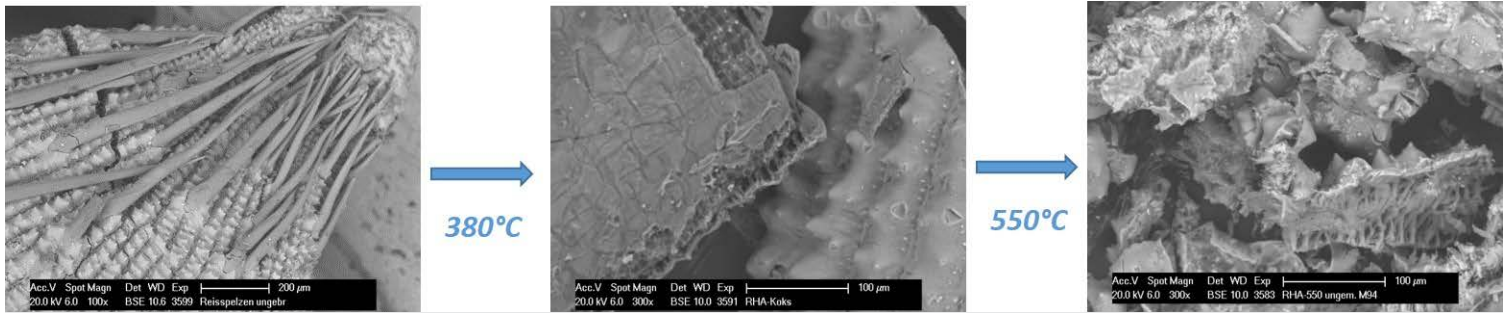
- Dauerhaftigkeit von Beton und Mörtel
- Frost-Tau-Widerstand
- Chemischer Angriff
- Dämmstoffe und Energieeffizienz von Gebäuden

#### Aktuelle Projekte

Projekte spannen den Bogen von der Grundlagenforschung bis zur anwendungsorientierten Industrieforschung unter ökologischen und ökonomischen Aspekten. Dabei ergibt sich in diesem Bereich eine Fokussierung auf die Nutzung von industriellen Reststoffen oder anthropogenen Rohstoffen, die die natürlichen Ressourcen nicht ausbeuten.

Die Projekte beschäftigen sich sowohl mit der Veredlung von Abfallstoffen als auch – und dies steht im Vordergrund – mit der Charakterisierung chemisch-mineralogischer Eigenschaften und der Wechselwirkung mit Fluiden (Oberflächencharakterisierung). Die Veränderung der Abfallstoffe wird – auch in gemeinsamen Projekten mit weiteren Mitgliedern des ZeHS – durch Hochtemperaturprozesse (Kalzinierung) erreicht.

Im Jahr 2021 wurde dazu ein Labor eingerichtet, das mit unterschiedlichen Gerätschaften ausgestattet ist, die eine mikrostrukturelle Analyse der Materialien und ihrer Oberflächen erlauben. Als Beispiel wird die Veränderung von Reisschalen gezeigt, die das Potential bieten einen SiO<sub>2</sub>-reichen, feinteiligen und größtenteils amorphen Rohstoff zu erzeugen.



**Veredlung von Reisschalen durch Kalzinierung**



### Gravisorp

Bestimmung von Diffusionseigenschaften

LABORE SÜD, RAUM I.201

### Dynamische Wasserdampfsorption (DVS)

Charakterisierung der Wechselwirkung mit Wasserdampf

LABORE SÜD, RAUM I.201





## Prof. Dr.-Ing. Horst Biermann

### Werkstofftechnik

#### Forschungsschwerpunkte

Die Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe von Prof. Horst Biermann am Institut für Werkstofftechnik sind die Bewertung des mechanischen Verhaltens von metallischen Werkstoffen und von Verbundwerkstoffen unter statischer, zyklischer sowie mehrachsiger Beanspruchung, die Hochtemperaturbeanspruchung, die Randschichttechnik, insbesondere thermochemische Verfahren und Elektronenstrahlbehandlung, sowie die additive Fertigung.

Die Forschungsarbeiten betreffen unterschiedliche metallische Werkstoffe, Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe sowie feuerfeste keramische Materialien.

Im Mittelpunkt der Forschungsvorhaben stehen stets die Korrelationen in der Kette Herstellung, Fertigung/Veredlung, Struktur und Eigenschaften. Die Strukturanalyse erfolgt insbesondere auf Basis der analytischen Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Spektroskopie EDS, ECCI (*Electron Channeling Contrast Imaging*), EBSD (Elektronenstrahlrückstreubeugung), *In-situ*-Verformung. Die Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften werden oftmals mit weiteren Analysesystemen (unterschiedliche lichtoptische Systeme, akustische Emission, Thermographie) zur *In-situ*-Analyse der Verformungs- und Schädigungsprozesse ergänzt.

#### Aktuelle Projekte

Die Arbeitsgruppe ist für die Beschaffung einer im Rahmen des ZeHS bewilligten Höchsttemperatur-Prüfmaschine verantwortlich. Die Anlage wird die Ermittlung von mechanischen Eigenschaften bei Temperaturen von 1000°C bis 1800°C unter Zug, Druck oder Biegung erlauben. Weiterhin werden zwei servohydraulische Universalprüfmaschinen für Ermüdungsuntersuchungen in Betrieb genommen.

Zudem ist die Arbeitsgruppe „Thermochemische Randschichtbehandlung“ (Leitung Frau Dr. Dalke) komplett in das ZeHS eingezogen. Eine erste Anlage zum Plasmanitrieren von Stählen wird bereits seit 2020 betrieben, die restlichen Anlagen zum Gas- und Plasmanitrieren wurden Ende 2021 in die Prozesshalle eingebracht. Die Arbeitsgruppe bearbeitet in mehreren Vorhaben (VIP+, DFG, ZIM-KOOP) die Randschichtbehandlung von unlegierten Stählen sowie von hochlegierten austenitischen Stählen.

Daneben unterstützt die Arbeitsgruppe Elektronenstrahltechnologien (Leitung Frau Dr. Buchwalder) die Inbetriebnahme der Universal-Elektronenstrahlanlage, die das IEC im Rahmen von Virtuhcon beschafft hat.





### Warmwand-Plasmanitrieranlage

Nitrieren und Nitrocarburieren von Stählen

HALLE B, BEREICH 9

### Elektromechanische Prüfmaschine mit Vakuumkammer

Höchsttemperatur-Werkstoffprüfung

LABORE SÜD, RAUM EG.203



### Kaltwand-Plasmanitrieranlage mit Aktivgitter

Nitrieren und Nitrocarburieren

HALLE B, BEREICH 9





## Prof. Dr.-Ing. Andreas S. Bräuer

**Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- & Naturstoffverfahrenstechnik**

### Forschungsschwerpunkte

Mit Bezug zum ZeHS werden in der thermischen Verfahrenstechnik Eigenschaften von fluiden Reinstoffen oder Gemischen unter extremen Bedingungen (Temperatur und Druck) bestimmt, deren Kenntnis wichtige Voraussetzung für die Auslegung von Hochtemperatur-/Hochdruckprozessen ist. Die Eigenschaften vieler Stoffe und Gemische sind nur bis zur atmosphärischen Siedetemperatur mit der gewünschten Genauigkeit bekannt. Beispielsweise werden für die Modellierung der motorischen Verbrennung von umweltfreundlichen E-Fuels die Eigenschaften dieser unter motorisch relevanten Druck- und Temperaturbedingungen benötigt.

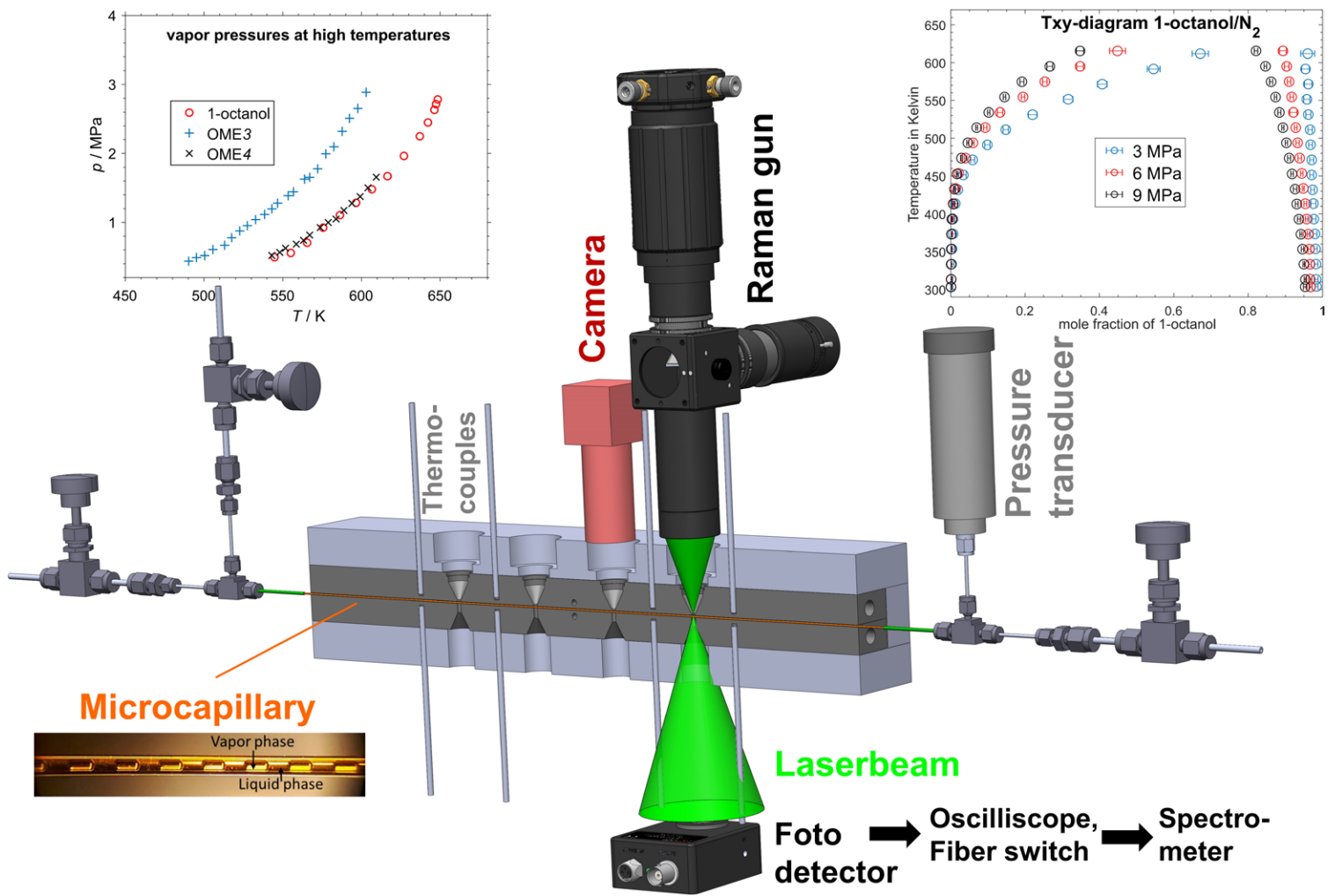
In der Naturstoffverfahrenstechnik werden Naturstoffe durch mechanische, chemische sowie thermische Verfahren zu Hochtechnologiewerkstoffen umgesetzt. So können Werkstoffe, die aktuell noch aus fossilen Rohstoffen erzeugt werden, durch Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ersetzt werden. Agrarreststoffe, die in unbehandelter Form meist nur thermisch verwertet werden können, können nach Ihrer Veredlung auch stofflich genutzt werden. Diese Hochtechnologiewerkstoffe können dann in der Umweltverfahrenstechnik zur Reinigung flüidier Ströme eingesetzt werden. Spezialitäten der Arbeitsgruppe sind:

- drei Kompetenzbereiche entsprechend des Institutsnamens in einer Arbeitsgruppe,
- ein Gerätepark vom Labor- bis zum Pilotmaßstab,
- Grundlagen-, Auftrags- & Industrieforschung,
- Entwicklung optischer *In-situ*-Messverfahren für den Einsatz bei extremen Temperatur- und Druckbedingungen.

### Aktuelle Projekte

Wir forschen an der Bestimmung der Eigenschaften von umweltfreundlichen Ersatzkraftstoffen und Kraftstoff/Luft-Gemischen für Diesel- und Ottomotoren unter extremen Temperatur- und Druckbedingungen, wie sie in entsprechenden Motoren während der Einspritzung und der Gemischbildung vorkommen. Wir forschen an der Umwandlung von Agrarreststoffen zu Hochleistungsadsorbentien (Form(aktiv)kohlen), die sich zur Reinigung von kommunalen oder industriellen Abwässern und zur Abluftreinigung im häuslichen und industriellen Bereich eignen. Wir forschen an Brikettierverfahren, um die bei der Direktreduktion von Eisenerzen zu Eisenbriketts anfallenden Reststoffe (Stäube und kleine Bruchstücke) wieder dem Direktreduktionsprozess zuführen zu können.





### Einbringung des induktiven Drehrohrofens in die Halle des ZeHS

Installation im April 2021

HALLE A, BEREICH 6R

### Mikrokapillaraufbau mit In-situ-Raman-Spektroskopie

Ermittlung von Kraftstoffeigenschaften (E-Fuels & Syn-Fuels) unter motorrelevanten Bedingungen

LABORE SÜD, RAUM EG.223





## Freiburger Hochdruckforschungszentrum

Prof. Dr. Edwin Kroke, Prof. Dr. Gerhard Heide,  
Dr. Kevin Keller, Dr. Marcus Schwarz

### Forschungsschwerpunkte

Am ZeHS befindet sich ein wichtiger Teil des Freiburger Hochdruckforschungszentrums (FHP). Das FHP ist eine interdisziplinäre und fakultätsübergreifende zentrale Einheit der TU Bergakademie Freiberg, die sich mit geo-, material- und werkstoffwissenschaftlichen Fragestellungen im Bereich von statischen und dynamischen Bedingungen hoher Drücke, üblicherweise mehr als 1 GPa (10.000 bar) und hohen Temperaturen, beschäftigt. Seit Gründung des FHP im Jahre 2007 liegt ein Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten bei der Nutzung von sogenannten großvolumigen Mehrstempel- oder *Multianvil*- sowie Toroid-Pressen. Diese wurden und werden für die Synthese von neuartigen Hochdruckphasen und superharten Materialien genutzt. Im November 2020 wurde im dem FHP zugewiesenen Hallenbereich A7 des ZeHS eine 800-Tonnen-Uniaxial-Pressen aufgebaut. Die Anschlüsse an die erforderliche Medienversorgung (Strom und Kühlung) werden im Frühjahr 2022 fertiggestellt.

Diese 800-Tonnen-Pressen verfügt über ein zweistufiges 6-8 *Multianvil*-Modul zur Erzeugung sehr hoher Drücke im Gigapascal-Bereich. Dabei wird die uniaxiale Presskraft in eine triaxiale Kompression einer keramischen Hochdruckzelle überführt. Durch eine elektrische Probenheizung können die unter Hochdruck befindlichen Probenmaterialien für mehrere Stunden auf Temperaturen bis 1600°C, kurzzeitig bis über 2700°C aufgeheizt werden. Es können sowohl Festkörpermateriale, wie auch in Edel- oder Refraktärmetallkapseln eingeschlossene Fluide oder Reaktionsmischungen komprimiert werden. Die Probengröße beträgt bis zu mehreren Millimetern. Neben der Temperaturmessung mit Thermoelementen sind auch elektrische Widerstandsmessungen unter HP- und HPHT-Bedingungen geplant. Derzeit wird die Beschaffung der hierzu erforderlichen Messelektronik, sowie eine Überarbeitung der Temperaturregelung vorbereitet.

Dabei kann das FHP auf seine langjährige Erfahrung mit einer ähnlich aufgebauten Multianvil-Pressen im Hochdrucktechnikum, welches sich derzeit in einem Interim in der Lessingstraße befindet, zurückgreifen.

Erste Testläufe und die anschließende Druck- und Temperatur-Kalibrierung der Pressen im ZeHS sind für das Jahr 2022 vorgesehen. Die Pressen werden gemeinsam mit dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung IFW Dresden betrieben. Im Rahmen einer vertraglichen Vereinbarung wird mit dem IFW ein *Joint Lab* etabliert, welches vertiefte Kooperationsmöglichkeiten bietet.

Weiterhin wurden im Berichtsjahr 2021 die für die Durchführung von Hochdruck-Hochtemperatur-Experimenten erforderlichen Peripheriegeräte aufgebaut. Dazu zählen mehrere Geräte zur Probenvorbereitung und zur Analyse der erhaltenen Produkte. Installiert wurde beispielsweise eine zum präzisen Zerteilen sehr harter Werkstoffe geeignete Diamantdrahtsäge.

### Aktuelle Projekte

Die interdisziplinäre BMBF-Nachwuchsforscherguppe N3V „Neue nanostrukturierte Nitrid-Volumenhartstoffe“ forscht an nanostrukturierten Volumenhartstoffen für Maschinenbau- und Bergbauanwendungen. Dafür werden Composite aus Hochdruck-Hochtemperatur-Modifikationen im System Si-Al-O-N sowie verschiedenen Bornitridphasen unter hohen Drücken und hohen Temperaturen synthetisiert und gesintert. Die hergestellten Proben werden im späteren Projektverlauf hinsichtlich ihrer Mikrostruktur eingehend charakterisiert und optimiert, sowie als Prototyp-Werkzeug von Industriefirmen getestet. Die neuartigen Materialien sollen neben einer hohen Härte vor allem eine gute thermische und chemische Beständigkeit besitzen.





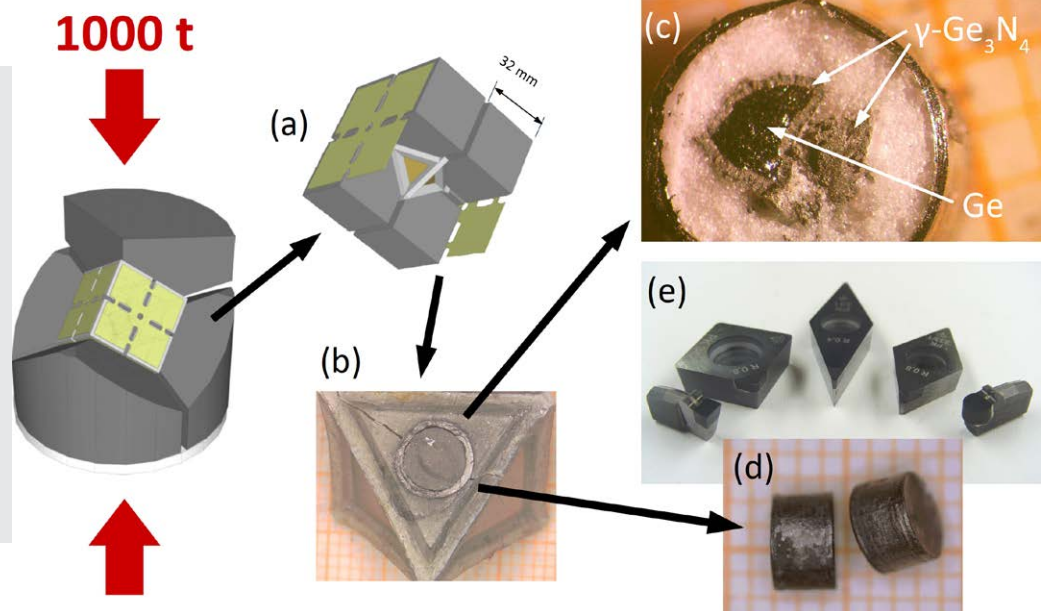
### 800-Tonnen-Hochdruckpresse

Die Presse verfügt über ein zwei-stufiges 6-8 Multianvil-Modul zur Erzeugung sehr hoher Drücke im Gigapascal-Bereich.

HALLE A, BEREICH 7

### Hochdrucksynthesen

(a) 6-8-Multianvil-Modul mit Hartmetall-Würfeln, (b) FHP-ZrO<sub>2</sub>-Hochdruckzelle nach Experiment, (c) Blick in die Edelmetallkapsel mit durch Hochdruck-Nitridierung auf Ge aufgewachsener  $\gamma$ -Ge<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Schicht, (d) monolithische Bornitrid-Nanocomposit-Rohlinge (BNNC) und (e) daraus hergestellte Metallbearbeitungswerkzeuge.



### Diamantdrahtsäge

Aufgestellt im zentralen Probenpräparationslabor des ZeHS zum präzisen Zerteilen sehr harter Werkstoffe

LABORE NORD, RAUM EG.307



## Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann

### Energie- und Rohstoffeffiziente Glastechnologie

#### Forschungsschwerpunkte

In der Arbeitsgruppe der Juniorprofessur Energie- und Rohstoffeffiziente Glastechnologie stehen das Material Glas und dessen nachhaltige und ressourcenschonende Herstellung, Nutzung und Kreislaufführung im Vordergrund. Die Vielseitigkeit der betrachteten amorphen Materialien und Gläser ist prinzipiell nicht beschränkt. Dennoch ergibt sich aufgrund der Synthesemöglichkeiten ein Fokus auf anorganische, nichtmetallische, überwiegend oxydische Systeme. Das bedeutet, neben den klassischen Massengläsern erstrecken sich die Forschungsaktivitäten über so genannte Spezialgläser bis zu eher untypischen Zusammensetzungen wie z. B. metallurgischen Schlacken. Die grundlegenden Erkenntnisse zu Zusammenhängen zwischen Chemie und Struktur über alle Ordnungslängensbereiche des amorphen Netzwerkes hinweg und dessen Korrelation mit den resultierenden Materialeigenschaften soll es ermöglichen, gezielt Prozesse zu kontrollieren und zu steuern.

Ausgehend von der Schmelz-Synthese von amorphen Materialien in systematischen Zusammensetzungs- und/oder Prozessserien findet die strukturelle Charakterisierung über spektroskopische und Beugungsmethoden in einem Multimethoden-Multiskalen-Ansatz statt. Dabei wird besonderes Augenmerk auf *In-situ*-Experimente z. B. unter mechanischer Beanspruchung und externem Druck gelegt.

#### Aktuelle Projekte

Die Arbeitsgruppe nutzt unter Verantwortung von Jun.-Prof. S. Fuhrmann die Möglichkeiten am ZeHS für Arbeiten zu folgenden Themen:

- Alternative Fasermaterialien auf Basis von Cu-Schlacken, (SAB, 04/2020-12/2021); zusammen mit A. Charitos, B. Sprungk
- Recycling von Rotorblättern aus Windkraftanlagen (BMW-ZIM, 07/2021-06/2023)
- Metallpartikel-dotiertes, poröses Glas
- *In-situ*-Methodik zur Struktur-Eigenschaft-Korrelation u. a. mittels Synchrotronstrahlung

Es wurden ein Ofen bis 1800 °C und Equipment zur Schmelzsynthese sowie ein Temperofen in das ZeHS eingebracht. Des Weiteren wird ein Röntgendiffraktometer zur qualitativen und quantitativen Phasenanalyse teilmorpher Proben betrieben. Dichte, chemische und mechanische Eigenschaften werden in dem genutzten Labor bestimmt.

In 2021 arbeiteten bis zu fünf Forschende mehrheitlich am ZeHS. Es wurde eine internationale Studentin für ein Forschungsprojekt im Rahmen der ERASMUS+ Mobilität betreut. Die Arbeitsgruppe strebt weiteres Wachstum und Vernetzung im ZeHS an. In 2022 wird ein Mikro-Ramanspektrometer für *In-situ*-Analysen bis 1500 °C installiert, das im Verbund mit dem FHP für Diamantstempelversuche bis 70 GPa und 1000 °C genutzt werden wird. Die durch die Mitglieder im ZeHS betriebene Analytik, insbesondere HT-XRD, Flash-DSC, SAXS sind von besonderem Interesse und eine Vernetzung ist gewünscht.





**Hochtemperatur-Schmelzofen  
bis zu 1800 °C**

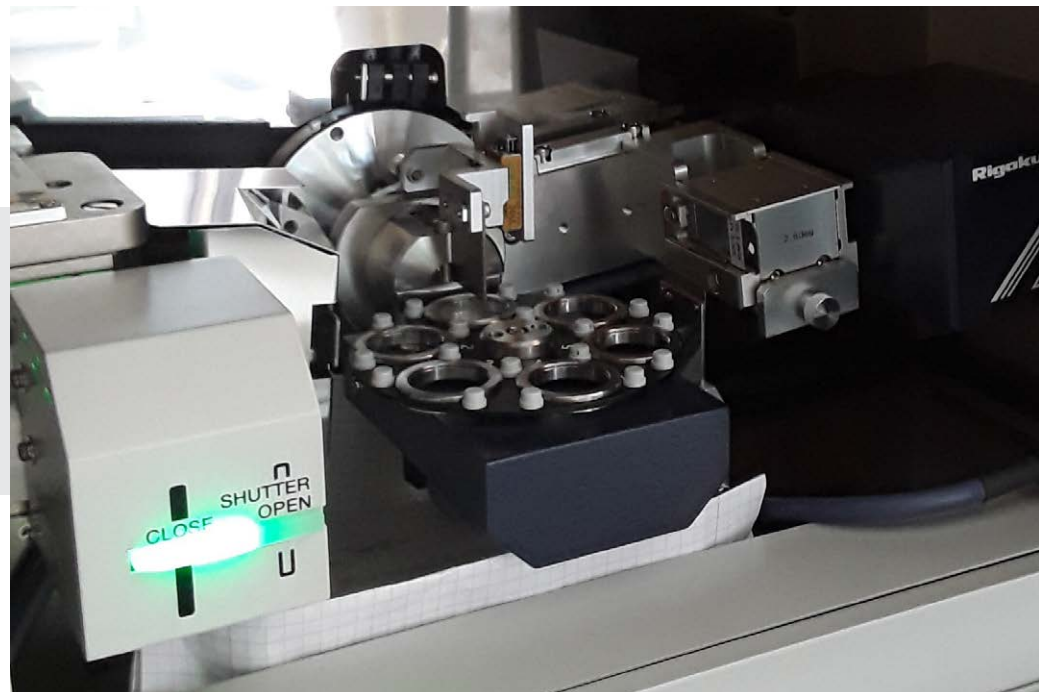
Synthese und Herstellung von  
Gläsern, Glaskeramiken und  
Kompositmaterialien

LABORE NORD, RAUM I.324

**Röntgendiffraktometer  
RIGAKU MiniFlex**

Qualitative und quantitative Analyse  
(teil-)amorpher Materialien

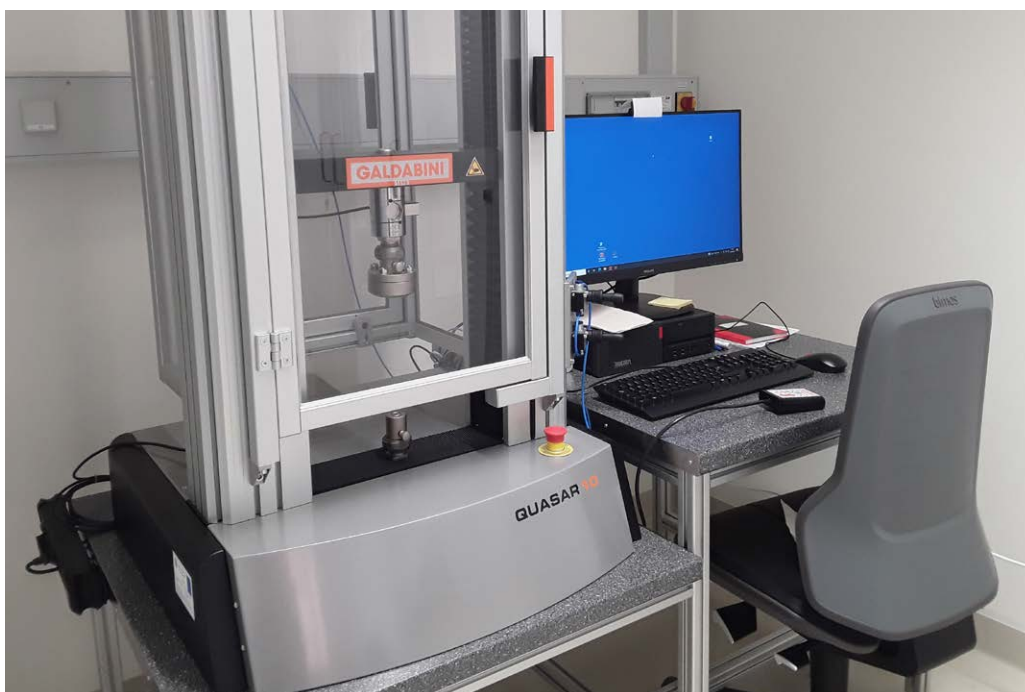
LABORE SÜD, RAUM I.202



**Universalprüfmaschine  
GALDABINI Quasar 10**

Mechanische Zug- und Druckprüfung

LABORE SÜD, RAUM I.202







## Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner

### Energieverfahrenstechnik

#### Forschungsschwerpunkte

An der Professur für Energieverfahrenstechnik steht das e-CH<sub>2</sub>T-Forschungskonzept „Elektrifizierung von Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Technologien“ im Fokus. Dieses beinhaltet im Einzelnen:

e<sup>-</sup>: Elektrischer Strom wird durch Plasmaentladung, Konduktion, Induktion, Strahlung oder sogar Hilfsstoff-erzeugung (z.B. O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) in chemische Reaktionen eingebunden.

C: Kohlenstoffkreisläufe werden durch chemisches Recycling, Nutzung biogener Abfallstoffe oder Erschließung von CO<sub>2</sub>-Quellen geschlossen (z.B. für E-Fuels, E-Chemicals).

H<sub>2</sub>: Wasserstoffbereitstellung geschieht auf Basis biogener Abfälle, pyrolytischer Kohlenwasserstoffspaltung oder durch Reforming/Partialoxidation mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung.

T: Technologieentwicklung erfolgt anwendungsnah und baut auf den klassischen Verfahren der thermochemischen Stoffwandlung (Vergasung und Pyrolyse) auf, geprüft durch Lebenszyklus- und technoökonomische Analysen.

Um diese Herausforderung anzugehen, arbeiten wir an der Schnittstelle zwischen den Sektoren mit Akteuren der Abfallwirtschaft, Chemie- und Grundstoffindustrie sowie der Energiewirtschaft und Fahrzeugindustrie.

#### Aktuelle Projekte

Bislang wurden im Bereich der Energieverfahrenstechnik vier Forschungsgeräte ins ZeHS eingebracht. Mit der Elektronenstrahl-Kammeranlage mit Pulverbettbearbeitungssystem sind eine drahtbasierte und pulverbasierte Fertigung sowie Elektronenstahlschweißen und thermische Behandlung möglich. Damit können auch für Hochtemperaturprozesse erforderliche Nickelbasiswerkstoffe für die additive Fertigung zum Einsatz kommen.

Weiterhin wurden eine Anlage zur Röntgenfluoreszenzanalyse sowie ein Reforming-Teststand zur Konversion von Kohlenstoffträgern für die Wasserstoffherzeugung installiert. Letzterer kann beispielsweise für katalytisches Steam-Reforming oder thermische Spaltung von Methan aus Biogas eingesetzt werden.

Richtungsweisend ist der Aufbau eines Mikrowellenteststandes zur plasmagestützten Vergasung. Eine vielfältige Nutzung für das chemische Recycling von schwierigen Abfallstoffen wie Glas- oder Carbonfaserverbundwerkstoffen ist vorgesehen.

Aktuell arbeiten und forschen bis zu acht Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Professur an den Anlagen im ZeHS. Gemeinschaftsprojekte unter dem Dach des ZeHS befinden sich in Vorbereitung.



### **Elektronenstrahl-Kammer-anlage K40-150-30 mit Pulverbettbearbeitungssystem K60-6**

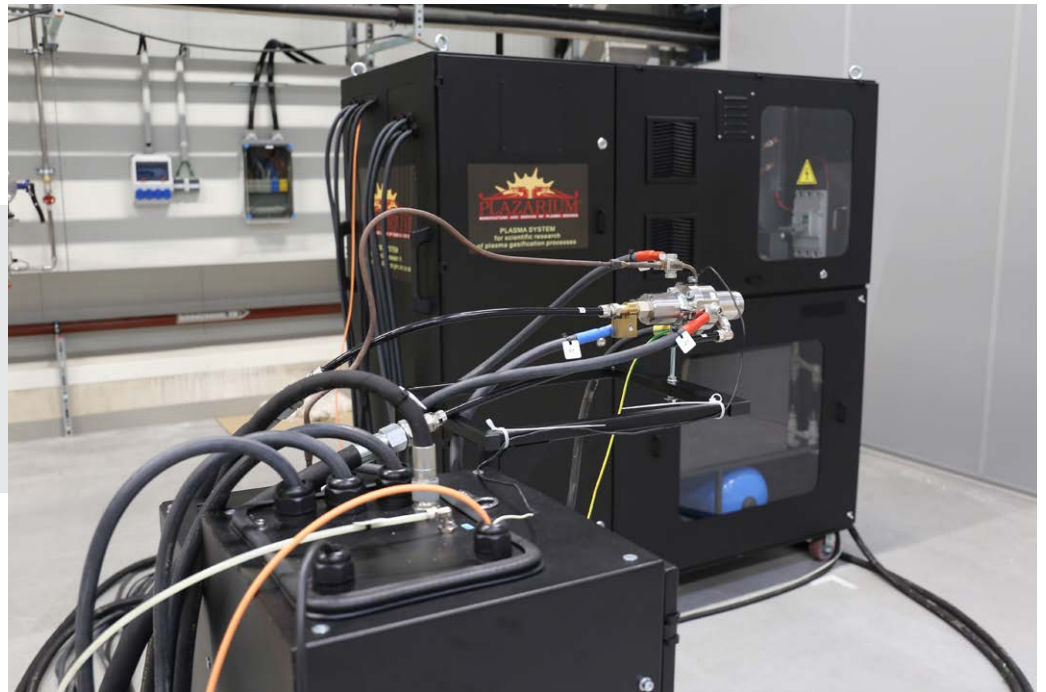
Drahtbasierte und pulverbasierte additive Fertigung sowie Elektronenstrahlschweißen und thermische Behandlung

RAUM SG.407

### **Mikrowellenteststand**

Plasmagestützte Vergasung für das chemische Recycling von schwierigen Abfallstoffen

HALLE B, BEREICH 11



### **Teststand Reforming**

Wasserstoffherzeugung mittels thermischer Spaltung von  $\text{CH}_4$  oder katalytischem Steamreforming

HALLE B, BEREICH 12





## Prof. Dr. Michael Höck

**Technologiemanagement und Systemanalyse,  
Leiter der Koordinationsstelle  
„Technologiemanagement und Systemanalyse“**

### Forschungsschwerpunkte

Das Technologiemanagement und die Systemanalyse umfassen die Planung, Durchführung und Kontrolle der Entwicklung ressourcen- und energieeffizienter Hochtemperaturprozesse zur Schaffung von Wettbewerbsvorteilen der Grundstoffindustrie. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die technischen und ökonomischen Synergien entlang der Innovationskette von den Naturwissenschaften über die Werkstoffwissenschaft und -technologie bzw. Verfahrenstechnik bis hin zum Anlagenbau gelegt.

Die bearbeiteten Forschungsfelder reichen von der Strategieformulierung über die Früherkennung bis hin zur Technologieplanung und -entwicklung. Eine Technologiestrategie beschreibt in groben Zügen, wie ein Unternehmen Produkt- und Prozesstechnologien einsetzen will, um Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Anders als in anderen Branchen hängen in der Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie Produkt- bzw. Werkstoff- und Prozesstechnologien eng zusammen. Zudem ist die Strategieformulierung direkt mit der Technologiefrüherkennung verbunden, mit dessen Hilfe zukünftig bedeutende Technologien erfasst und beurteilt werden. Die Technologieplanung und -entwicklung umfasst die anwendungsorientierte Gewinnung und Weiterentwicklung des Wissens bzw. der Fähigkeiten zur Lösung technischer Probleme.

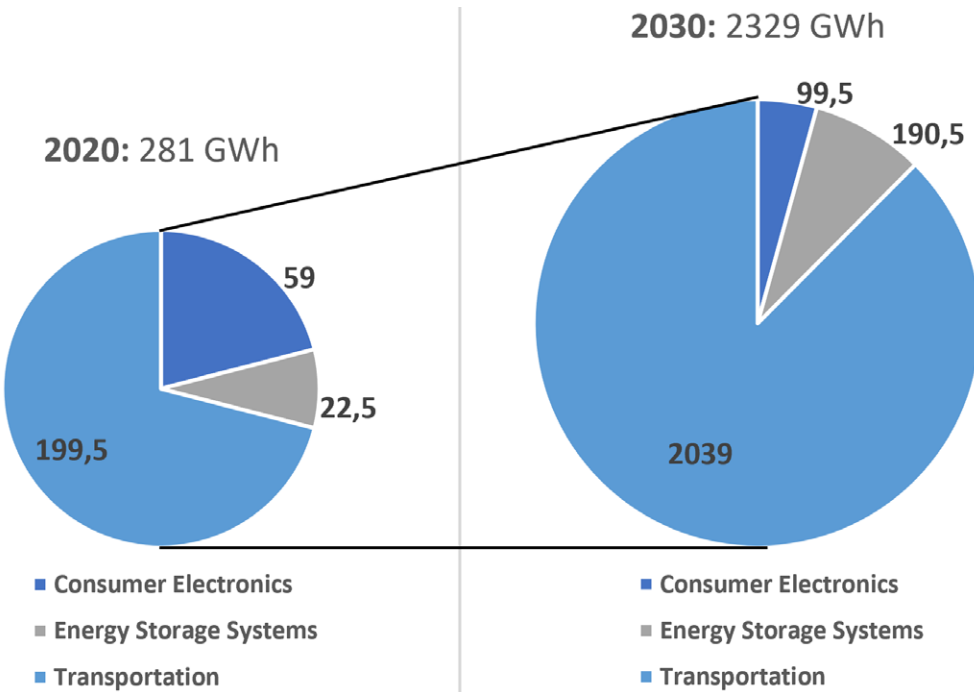
### Aktuelle Projekte

Die Koordinationsstelle „Technologiemanagement und Systemanalyse“ des ZeHS wird von Prof. Michael Höck geleitet. Zu den aktuellen Forschungsprojekten, die durch die Koordinationsstelle unterstützt werden, zählt das BMWi-Projekt ProBaSol. Ziel ist es, einen leistungsfähigen Al-basierten Festkörperbatterie-Prototypen und die dazugehörige Fertigungstechnologie zu entwickeln, dessen Herstellkosten pro kWh Nennkapazität deutlich geringer (ca. 20%) als vergleichbare Li-basierten Batteriesysteme sind. Ein weiteres Verbundvorhaben zum CO<sub>2</sub>-armen Hochtemperatur-Recycling schwieriger Abfallstoffe befindet sich in Vorbereitung.

Aktuell forschen zwei Mitarbeiter der Koordinationsstelle u.a. an den Themen Batterien, Recycling und Kreislaufwirtschaft.

Die Koordinationsstelle strebt eine weitere Unterstützung der am ZeHS aufgenommenen Verbundvorhaben an. Für Hochtemperaturprozesse und -materialien, insbesondere refraktäre Verbundwerkstoffe, deren Anwendung bzw. Markteintritt noch bevorsteht, gilt es Technologiefolgenabschätzungen vorzunehmen. Des Weiteren sind im Rahmen einer Systemanalyse die Wechselwirkungen der Prozess- und Materialanforderungen der ZeHS-Projekte zu untersuchen.



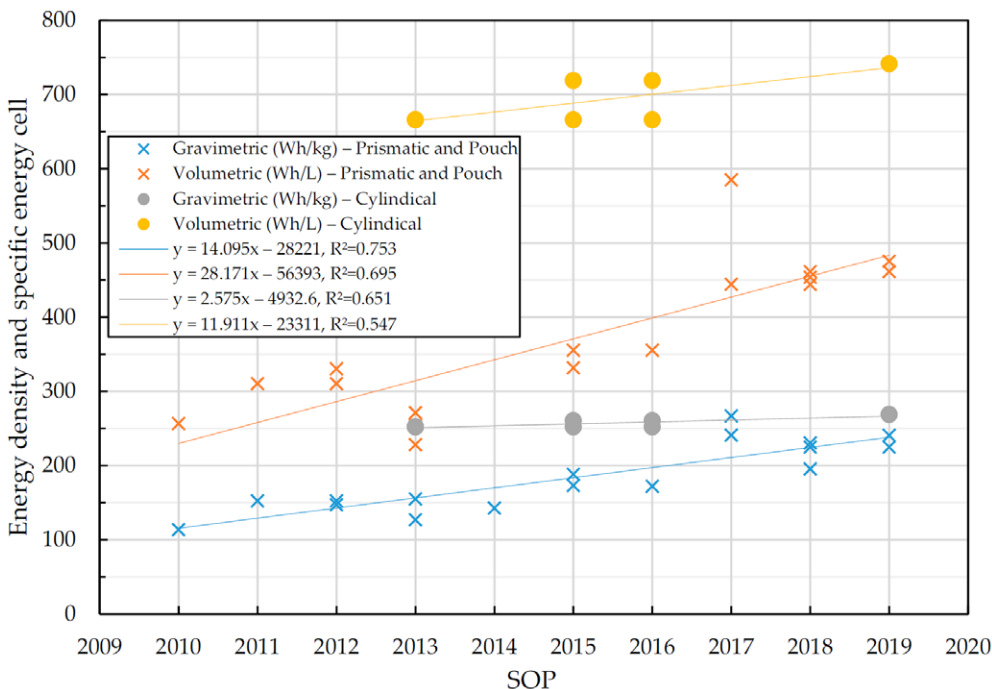
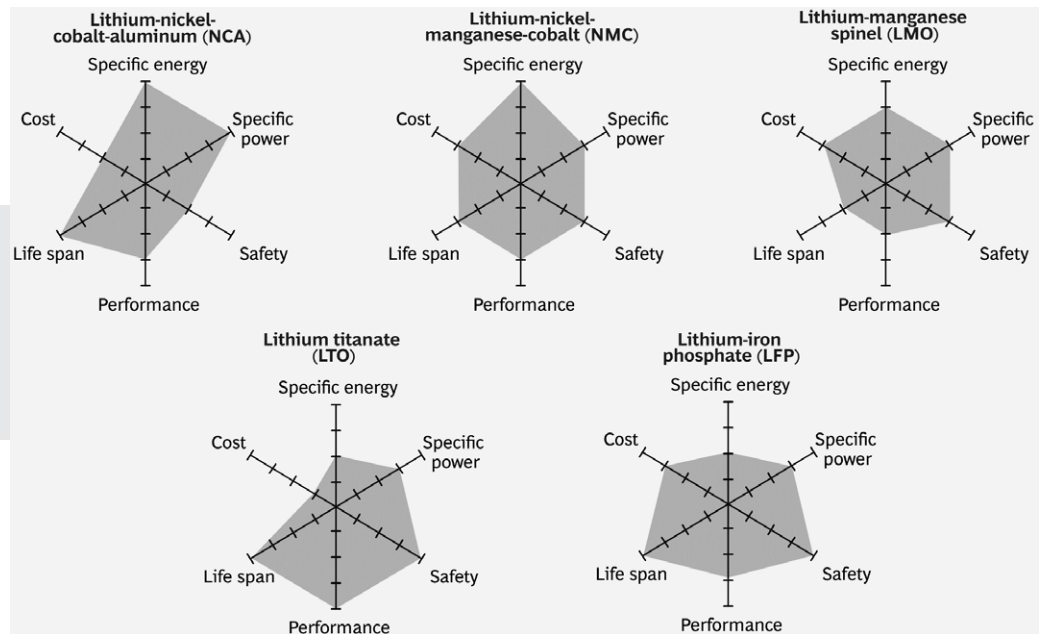


### Globaler Batteriemarkt 2020–2030

Innerhalb von 10 Jahren wird etwa mit einer Verzehnfachung des Marktvolumens gerechnet.

### Vergleich von Lithium-Ionen-Batterietechnologien

Netzdiagramme für die fünf wesentlichen Kathodenmaterialien



### Vergleich zylindrischer, prismatischer und Pouch-Zellen

Entwicklung der gravimetrischen und volumetrischen Energiedichte über der Zeit





## Prof. Dr. Yvonne Joseph

### Elektronik-/Sensormaterialien

#### Forschungsschwerpunkte

Am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien (ESM) stehen die Entwicklung von Funktionsmaterialien und die Bestimmung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen im Zentrum der Forschungsaktivitäten.

Das ESM betreibt am ZeHS das zentrale Ofenlabor. Hierbei handelt es sich um drei Kammer- und vier Rohröfen, die Sinteremperaturen bis zu 1600 °C erlauben. In den Rohröfen kann das Pyrolysieren von Materialien, das Sintern unter Schutzgas, Vakuum oder Wasserdampf durchgeführt werden. In Planung ist außerdem die Aufstellung eines Ofens in der Halle zum Hochdrucksintern unter Schutzgas bis 2200 °C. Die Öfen stehen prinzipiell allen Mitgliedern des ZeHS für Experimente zur Verfügung.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von Festkörperelektrolyten für Sensoren und Elektronik, die in Hochtemperaturprozessen eingesetzt werden. Bekanntestes Beispiel dafür ist die Lambda-Sonde, wobei Zirkoniumdioxid als Ionenleiter für die Messung der Sauerstoffkonzentration verwendet wird. Am ESM werden Sensoren aus Ionenleitern wie Fluoriden erforscht, um beispielsweise die Schwefelkonzentration im Floatglasprozess potentiometrisch zu bestimmen.

Das Institut verfügt über besondere Expertisen bei der Erzeugung und Funktionalisierung von nanoporösen und nanostrukturierten Materialien, sowohl auf Basis von Metallen als auch Oxiden. Hierzu zählen beispielsweise nanoporöse Zeolith-Membranen für die Trennung von Gasen unter hohen Temperaturen oder Calciumphosphat-basierte Strukturen, welche als Katalysator zur Stoffumwandlung genutzt werden können. Zur Charakterisierung der Membranen stehen sowohl ein Gemisch- als auch Einzelgasmessplatz sowie ein Strömungspotentialmessplatz zur Verfügung.

#### Aktuelle Projekte

Aktuell werden am ESM in zwei Forschungsvorhaben Biokeramiken untersucht.

In einer vom ESF und SAB geförderten Landesinnovationspromotion werden Hydroxylapatit-Beschichtungen auf Ti-Legierungen für Implantate untersucht. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Qualität und Biokompatibilität der Schichten und der Integration smarter, additiv gefertigter, biodegradierbarer Strukturen. Für die einfache Schichtherstellung wurde bereits die Sol-Gel-Technologie für Hydroxylapatit optimiert und die Grenzfläche zwischen der Ti-Legierung und der Hydroxylapatit-Schicht durch eine Zwischenschicht aus TiO<sub>2</sub> verbessert. Das optimierte System weist eine gute Schichtqualität bezüglich Haftung und Biokompatibilität auf. Als nächstes sollen nun in Zusammenarbeit mit dem IFW Dresden (Frau Prof. Julia Hufenbach) biodegradierbare Stähle eingebettet werden.

Im von der AiF geförderten IGF-Projekt BIO-KERAMIK werden anisotrop strukturierte Keramiken nach einer neuartigen, kostengünstigen Technologie entwickelt. Als Ausgangsmaterial werden Calciumphosphat-Cellulose-Fasern des Projektpartners TITK Rudolstadt (Lyocell®) verwendet. Diese werden gebündelt und mit unterschiedlichen Verfahren mit dem Cellulose-freien Calciumphosphat beschichtet oder infiltriert, so dass nach dem Brennen ein kompakter Biokeramik-Körper vorliegt. Die Entbinderung und das Sintern der Keramiken erfolgen in den Öfen des zentralen Ofenlabors. Zur Ermittlung der optimalen Sinterbedingungen wurden Festigkeitsuntersuchungen an Kleinstproben in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mechanik und Fluidodynamik durchgeführt (*Small Punch Test*). Die gesinterten Probekörper zeigen eine gute Biokompatibilität, so dass das Material zukünftig als Knochenimplantat getestet werden kann.

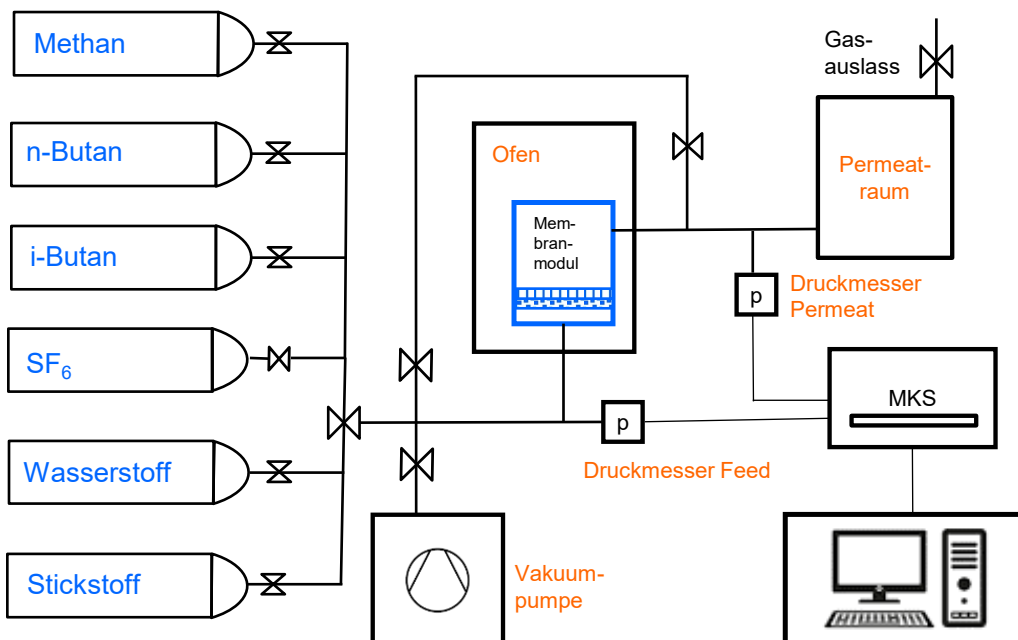
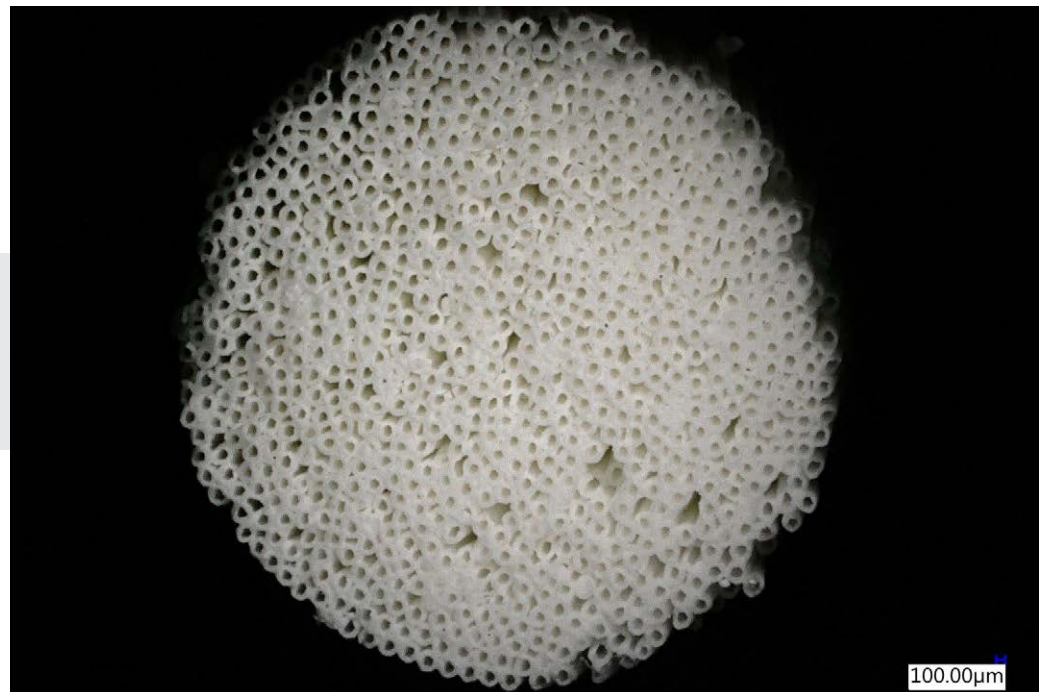


**Rohrförmiges Sensorelement  
aus  $0,7 \text{ CaF}_2 - 0,3 \text{ YF}_3$**

Festelektrolytsensoren für  
Hochtemperaturprozesse

**Querschnitt einer biokompatiblen  
Hydroxylapatit-Keramik**

Biokeramik als Knochenersatz



**Schema Einzelgasmessplatz**

Zeolithmembranen für  
Hochtemperaturprozesse

LABORE NORD, RAUM I.324



## Dipl.-Ing. Christian Koch

### Funktionsemail

#### Forschungsschwerpunkte

Am Lehrstuhl Glas- und Emailtechnik in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Künstliche Intelligenz und Datenbanken stehen in der Arbeitsgruppe von Christian Koch Funktionsemails im Mittelpunkt des aktuellen Forschungsinteresses. Die funktionalen Eigenschaften dieser Emails ermöglichen die Entwicklung innovativer Hochleistungsbauteile, die das Herzstück innovativer Technologien zur Transformation des Energiesystems bilden. Die beschleunigte Entwicklung der funktionalen Eigenschaften und die Analyse ihrer multifaktoriellen Abhängigkeit von verschiedenen Parametern sowie die Analyse der für den Einsatz erforderlichen Technologiefunktion stehen im Fokus der laufenden, stark marktorientierten Untersuchungen.

Um die geplanten Anwendungen in den Bereichen „Energie- und Stoffwandlung“ sowie „elektrochemische Energiewandler“ zu realisieren, werden experimentelle Modifikationen der Emailfertigungs- und Emailauftragsverfahren, neuartige Mess- und Analyseverfahren in der Emailherstellung und im Besonderen datengetriebene Optimierungs- und Auswahlverfahren kombiniert.

#### Aktuelle Projekte

Aktuell befinden sich am ZeHS zwei erste Prüfstände im Aufbau, um die Einsatzfähigkeit von Funktionsemails für den Aufbau neuer Technologien validieren zu können. In diesen Prüfständen soll der Einsatz neuartiger Hochleistungsbauteile zur Reduktion von Emissionen und zur Energie- und Stoffwandlung untersucht werden.

In naher Zukunft sollen noch neue Beschichtungs- und Brenntechnologien (bspw. Induktionsöfen) aber auch Leistungs- und Messtechnologien zur Erweiterung der Prüfstände aufgebaut werden. Zur Finanzierung dieser Technologien befinden sich aktuell mehrere Forschungsanträge in der Beantragung.

Um einen ersten marktnahen Demonstrator zur Energie- und Stoffwandlung zu entwickeln, wurde ein komplementäres Verbundnetzwerk aus 11 industriellen und wissenschaftlichen Partnern aufgebaut. Zur Verwertung dieser Technologie wird aktuell eine Ausgründung aus der TU Bergakademie Freiberg formiert. Dieses Verbundnetzwerk beantragt aktuell eine Projektförderung über das 7. Energieforschungsprogramm.

Die Arbeitsgruppe strebt eine weitere Vernetzung mit anderen Arbeitsgruppen, insbesondere mit Expertise in der gezielten Oberflächenbearbeitung und der Gasanalytik, sowohl innerhalb des ZeHS als auch außerhalb an.





Panasonic

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000





## Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger

### Werkstofftechnik

#### Forschungsschwerpunkte

In der Arbeitsgruppe Pulvermetallurgie/Sintern liegt der Fokus auf dem Kompaktieren metallischer, keramischer oder Verbundwerkstoff-Pulver. Die im ZeHS vorhandene Hybrid-Heißpresse/*Spark-Plasma*-Sinteranlage ermöglicht die Herstellung von Kompaktproben mit einem Durchmesser  $\leq 150$  mm. Dabei kann der Sinterprozess sowohl als Heißpressen, *Spark-Plasma*-Sintern als auch im Hybridmodus erfolgen. Die Vorteile des Hybridmodus liegen in der Minimierung des beim Sintern von großen Proben vorhandenen Temperaturgradientens und damit in der Realisierung möglichst homogener mikrostruktureller und mechanischer Materialeigenschaften.

Die Pulververarbeitung bzw. -herstellung für die Sinterprozesse wird zukünftig auch im ZeHS stattfinden. Im Pulverlabor des ZeHS vorhandene Pulvermischer und -mühlen ermöglichen dabei die Verarbeitung großer Pulvermengen/-massen. Weiterhin ist es möglich, dass für die Prozesskette eine Glovebox genutzt wird, was eine Luft-Kontamination der Pulver weitestgehend verhindert.

In der Arbeitsgruppe Korrosion und Korrosionsschutz werden am ZeHS Materialdegradationsprozesse unter dem Einfluss hoher Temperaturen und Drücke sowie aggressiver Medien erforscht. Schwerpunkt ist die Analyse und Aufklärung von Schädigungs- und Initiierungsprozessen sowie die Erarbeitung geeigneter Korrosionsschutzmaßnahmen.

Für die experimentellen Arbeiten stehen ein Ofenlabor für die Hochtemperaturkorrosionsbeanspruchung sowie ein Analytik-Labor für die elektrochemische Nachcharakterisierung und qualitative Werkstoffevaluierung zur Verfügung.

#### Aktuelle Projekte

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 920: „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration“ wird der Einfluss von nichtmetallischen Einschlüssen auf die bruchmechanischen Eigenschaften von pulvermetallurgisch hergestellten Stahlwerkstoffen untersucht. Die im ZeHS vorhandene Sinteranlage ermöglicht hierbei das Kompaktieren von Proben mit der erforderlichen Probengröße zur Herstellung von SEB- und CT-Proben für bruchmechanische Experimente.

Bei ersten Forschungsarbeiten im Bereich Korrosion und Korrosionsschutz wurden Ni-Basis-Legierungsschichten für Hochtemperaturanwendungen unter dem Einfluss korrosiver Salzschnmelzen untersucht. Weiterer Schwerpunkt künftiger Arbeiten wird, mit Blick auf die Langlebigkeit von Brennstoffzellen, die Materialcharakterisierung unter dem Einfluss von Wasserstoff sein.



**Hybrid-Heißpresse/  
Spark-Plasma-Sinteranlage**

Herstellung von Kompakt-  
proben zur mechanischen  
Werkstoffcharakterisierung

HALLE A, BEREICH 5, SG.403

**Glovebox (a) / Pulvermischer  
und -mühle (b, c)**

Pulververarbeitung

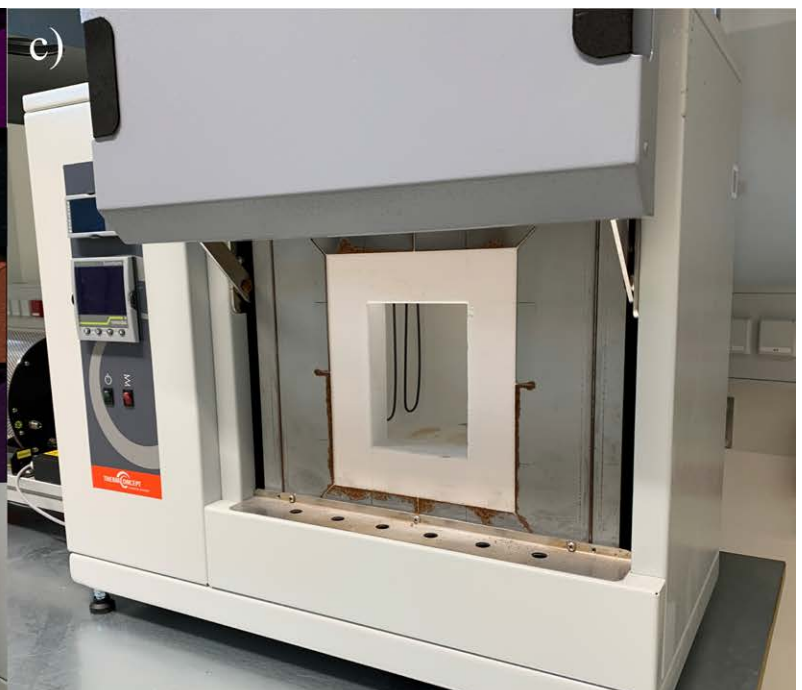
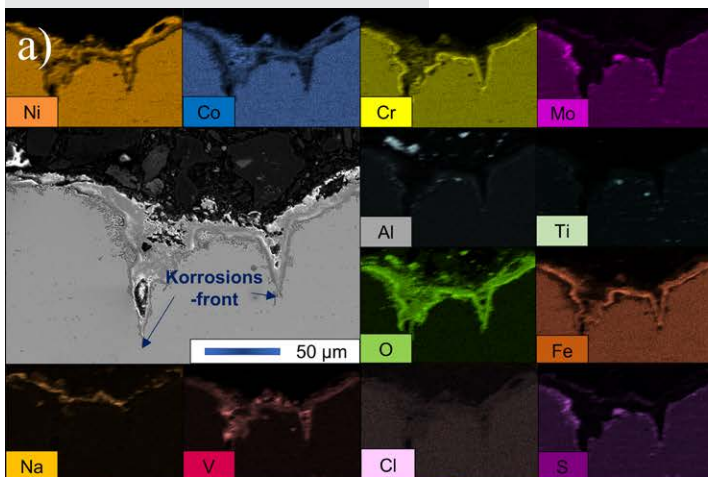
LABORE SÜD, RAUM EG.219



**Hochtemperaturkorrosions-  
öfen (b, c)**

SE- und EDS-Analyse einer  
Heißgas-korrodieren Ni-Basis-  
Legierungsschicht (a)

LABORE NORD, RAUM I.323





## Prof. Dr. Sven Kureti

### Reaktionstechnik

#### Forschungsschwerpunkte

In der Arbeitsgruppe Reaktionstechnik von Prof. Sven Kureti ist das Lehr- und Forschungsprofil der Professur hauptsächlich in den Bereichen der industriellen Chemie und heterogenen Katalyse angesiedelt. Im Mittelpunkt der Forschung stehen dabei grundlagenwissenschaftliche und anwendungsbezogene Fragestellungen der Themenfelder Abgasreinigung, CO<sub>2</sub>-Minderung sowie Erzeugung synthetischer und biogener Kraftstoffe. Ein besonderes Anliegen ist die wissenschaftsbasierte Entwicklung neuer Katalysatormaterialien (rationales Katalysatordesign) und chemischer Prozessrouten.

Aktuelle Forschungsinhalte zielen auf die

- Entwicklung von Katalysatoren auf Grundlage von Struktur-Aktivitäts-Korrelationen,
- Aufklärung von Reaktionsmechanismen,
- Entwicklung global- und elementarkinetischer Modelle,
- Modellierung von Reaktoren und Prozesssimulation,
- Entwicklung von Prozess- und Syntheserouten,
- Charakterisierung und Strukturaufklärung von Einsatzstoffen und Reaktionsprodukten.

#### Aktuelle Projekte

Unter der Verantwortung von Prof. Sven Kureti wurde ein Analysengerät und in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis von Prof. Florian Mertens ein gemeinsames Forschungsgrößgerät ins ZeHS eingebracht. Dabei handelt es sich um Gaschromatographen (GC-GC/MS) mit Hochtemperaturofen und Massenspektrometer zur stofflichen Analyse und einem Hochtemperaturreaktor mit *In-operando*-Raman-Spektroskopie (HORAS). Die HORAS-Apparatur erlaubt dabei eine Untersuchung von katalytisch aktivem Material bei Reaktionsbedingungen bis zu 35 bar Reaktordruck und bis zu 750 °C Reaktionstemperatur.

Aktuell nutzen bis zu sechs Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe die GC-GC/MS zur Untersuchung synthetischer Kraftstoff- oder langkettiger Wachsprodukte aus der Fischer-Tropsch-Synthese. Insbesondere fand das GC-GC/MS im C3-Mobility Projekt B3 zur Analyse der MTG-Produkte Verwendung. Hierbei stand die DHA (*Detailed Hydrocarbon Analysis*) für eine Beurteilung der erreichten Qualität und die Bestimmung des Methanolgehaltes der wässrigen Produktphase im Vordergrund.

Die Arbeitsgruppe strebt weitere Vernetzungen der am ZeHS aufgenommenen Arbeiten hinsichtlich komplexerer Methoden für die Analyse und die Überführung von Verfahren über den Labormaßstab hinaus an.

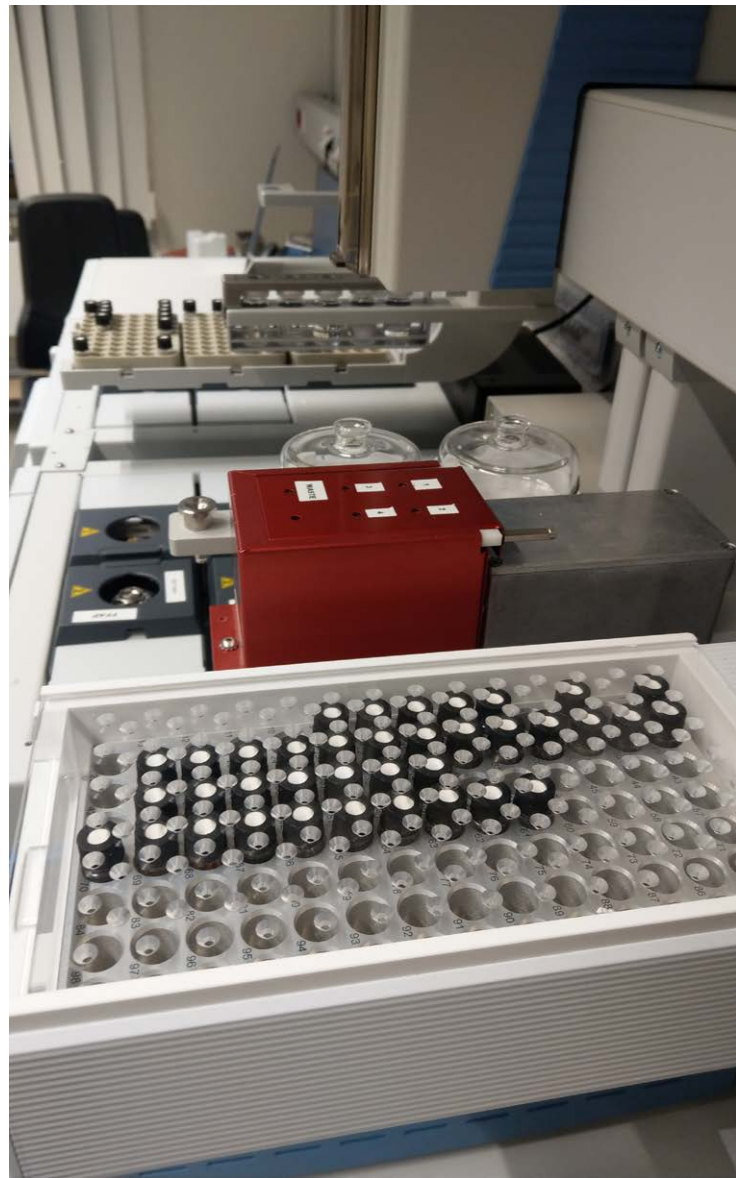




#### HT-LRS

Optisches Fenster zur *In-Operando*-Raman-Untersuchung von festen Katalysatoroberflächen

LABORE SÜD, RAUM EG.220



#### GC-GC/MS

Gaschromatographen mit Hochtemperaturöfen und Massenspektrometer

LABORE NORD, RAUM EG.318



#### HT-LRS

Hochtemperaturreaktor mit Ramanspektroskopie

LABORE SÜD, RAUM EG.220



## Prof. Dr. Andreas Leineweber

Angewandte Werkstoffwissenschaft

### Forschungsschwerpunkte

In der Arbeitsgruppe Angewandte Werkstoffwissenschaft von Prof. Andreas Leineweber werden verschiedene metallische und keramische Werkstoffsysteme hinsichtlich ihres Phasenumwandlungsverhaltens im weitesten Sinne untersucht. Phasenumwandlungen beinhalten die Bildung neuer Phasen, wie sie bei den meisten Prozessierungsschritten von Werkstoffen stattfindet, so bei Erstarrung von Schmelzen, bei der chemischen Interaktion verschiedener Werkstoffe miteinander und bei thermochemischen Wärmebehandlungsverfahren. Die Gruppe verschreibt sich dabei dem ganzheitlichen Verstehen der Systeme (Basis für ihre gezielte Beeinflussung) von ihrer Thermodynamik bis hin zu den in den Systemen auftretenden Strukturbildungsprozessen.

Die Beschreibung der Thermodynamik der Werkstoffsysteme geschieht dabei mittels der sogenannten CALPHAD-Methode (*CAL*culat*ion of PH*ase *Diagrams*) als Standardmethode zur effizienten zusammensetzungs-, temperatur- und druckabhängigen Beschreibung thermodynamischer Potentiale (meist der Gibbsenergien) relevanter Phasen. In relevanten Systemen werden thermodynamische Datenbanken erstellt, wobei deren Evidenz durch die experimentelle Untersuchung von Phasengleichgewichten zum einen und zum anderen durch die direkte Bestimmung thermodynamischer Größen gewonnen werden. Die Datenbanken sind wiederum Basis für die Vorhersage thermodynamischer Triebkräfte unter Prozessierungsbedingungen und sind somit wichtigster Input bei der Modellierung genau dieser Prozesse.

### Aktuelle Projekte

In der Gruppe werden, gefördert durch verschiedene Mittelgeber, u.a. Fe-haltige intermetallische Phasen in sekundärem Aluminium (im Rahmen des SFB920), Fe-basierte Formgedächtnislegierungen (Federführung Dr. Mario Kriegel), die Teilschritte bei der Prozessierung von Nb<sub>3</sub>Sn-Supraleiterdrähten, die Bildung intermetallischer Phasen beim Löten oder ZrO<sub>2</sub>-basierte Wärmedämmschichten (Federführung PD. Dr. Dr. Olga Fabrichnaya) untersucht.

Im Rahmen des Verfahrens nach Art. 91b GG wurde in das ZeHS ein Einwurfkalorimeter MHTC96 der Firma SETERAM eingebracht. Dieses erlaubt in verschiedenen Szenarien die Bestimmung von Wärmegehalten eingeworfener Stoffe und von durch diese eingeworfenen Stoffe im Kalorimeter ausgelösten Wärmetönungen (z. B. Lösungswärmen). Diese Fähigkeit des Gerätes kann in den verschiedenen Projekten zur Bestimmung relevanter thermodynamischer Größen genutzt werden und steht auch der weiteren Nutzerschaft im ZeHS zusammen mit der Expertise der Gruppe zur Verfügung.



### **Einwurfkalorimeter MHTC96 der Firma SETERAM**

Wärmemessung von Werkstoffen in verschiedenen Szenarien

LABORE SÜD, RAUM I.217

### **Einwurfkalorimeter MHTC96 der Firma SETERAM**

Dr. Mario Kriegel beim „Einwurf“ einer Probe  
in das oben gezeigte Kalorimeter

LABORE SÜD, RAUM I.217







## Prof. Dr. Florian Mertens

Physikalische Chemie

### Forschungsschwerpunkte

Die Arbeitsgruppe von Prof. Florian Mertens im Institut für Physikalische Chemie beschäftigt sich zentral mit materialbezogenen Fragen im Rahmen von Energiespeicherung und -wandlung. Hierbei liegen die Hauptthemen in den Bereichen Wasserstoffspeicherung, katalytische Hydrierungen zur Energiespeicherung und poröse Medien. Die dabei im Zentrum der Forschung stehenden Materialsysteme sind Metallhydride, Übergangsmetallkatalysatoren und Metallorganische Gerüstverbindungen (*metal-organic framework* – MOF). Die Berührungspunkte dieser Forschungsthemen zur Hochtemperaturuntersuchung betreffen dabei weniger das Einsatzgebiet dieser Materialien, sondern im Wesentlichen ihren Herstellungsprozess oder ihre Verwendung in Herstellungsprozessen anderer Funktionsmaterialien (z. B. Katalysatoren). So ist z. B. durch die pyrolytische Zersetzung von MOFs die Herstellung von Nanopartikeln denkbar, die Bedeutung als Katalysatoren bzw. Elektrokatalysatoren haben können. Hierbei erlaubt die Verwendung von MOFs, Mechanismen der Reaktionssteuerung zu nutzen, die in klassischen Katalysatorsynthesen nicht zur Verfügung stehen.

### Aktuelle Projekte

Das CAHT 3 von Semilab ist ein Rasterkraftmikroskop, das speziell für die Anforderungen und Umsetzung der von uns geplanten Projekte im Rahmen der Arbeit im ZeHS entwickelt wurde. Das Gerät dient zur Erfassung der topografischen und elektrischen Eigenschaften einer Probe in kontrollierter Atmosphäre bei Temperaturen von bis zu 850 °C. Hierdurch ist es möglich, auch luftempfindliche Proben zu untersuchen. Des Weiteren kann das Verhalten von Verbindungen in unterschiedlichen Atmosphären (beispielsweise Wasserstoff, Sauerstoff, Argon oder Kohlenmonoxid) bei hohen Temperaturen verfolgt werden. Zentrale Aufgabe seit der Eröffnung des ZeHS war und ist die Installation des HT-AFM-Prototyps und der Erforschung seiner Leistungsgrenzen.

Die Arbeitsgruppe sieht in der Hochtemperaturerweiterung der Rasterkraftmikroskopie eine Möglichkeit wertvolle Beiträge zu vielen Forschungsthemen, die innerhalb des ZeHS bearbeitet werden, liefern zu können. Eine erste Zusammenarbeit in diesem Rahmen mit dem Institut für Mineralogie führte bereits zu einem Projektantrag zur Stoffsegregation aus Schlacken. Generell verspricht die Methode, aufgrund des besonderen Schmelzverhaltens von Gläsern, für diese Stoffgruppe besonders geeignet zu sein, um Stoffwandlungsprozesse zu untersuchen. Aus diesem Grund wurde bereits mit dem Institut für Glas und Glastechnologie (Professur S. Fuhrmann) eine Zusammenarbeit vereinbart, das Potential dieser Methode zur Untersuchung von Stoffwandlungsprozessen bei Gläsern im Rahmen der Aktivitäten im ZeHS zu ergründen.



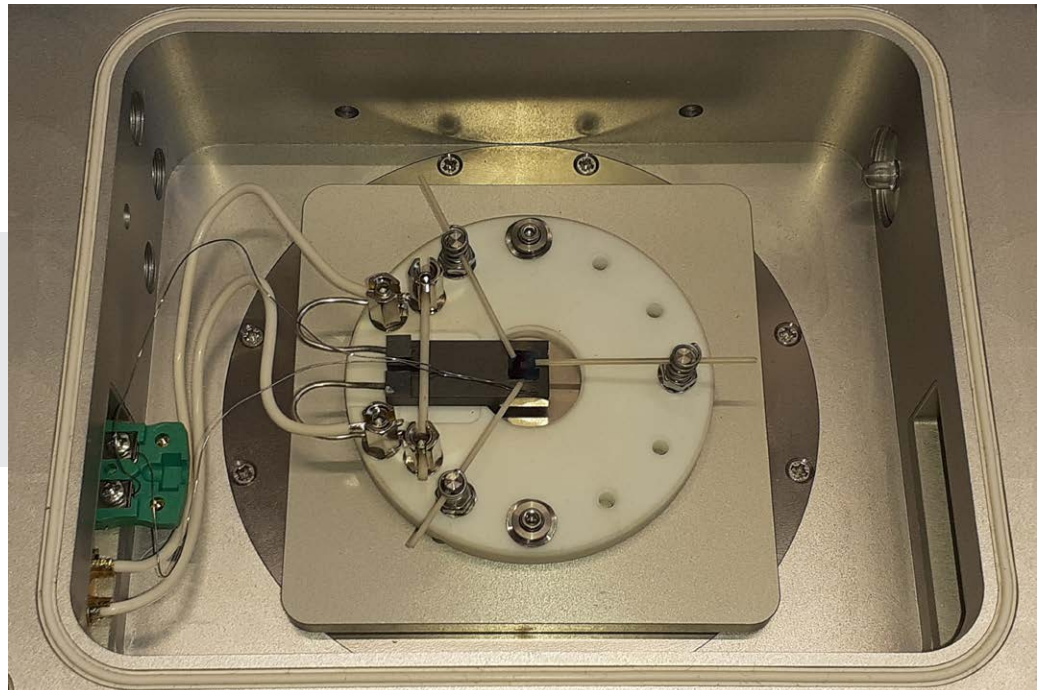
### HT-AFM während einer Messung mit glühender Probe

Außenansicht des Geräts

LABORE NORD, RAUM EG.3 I 6

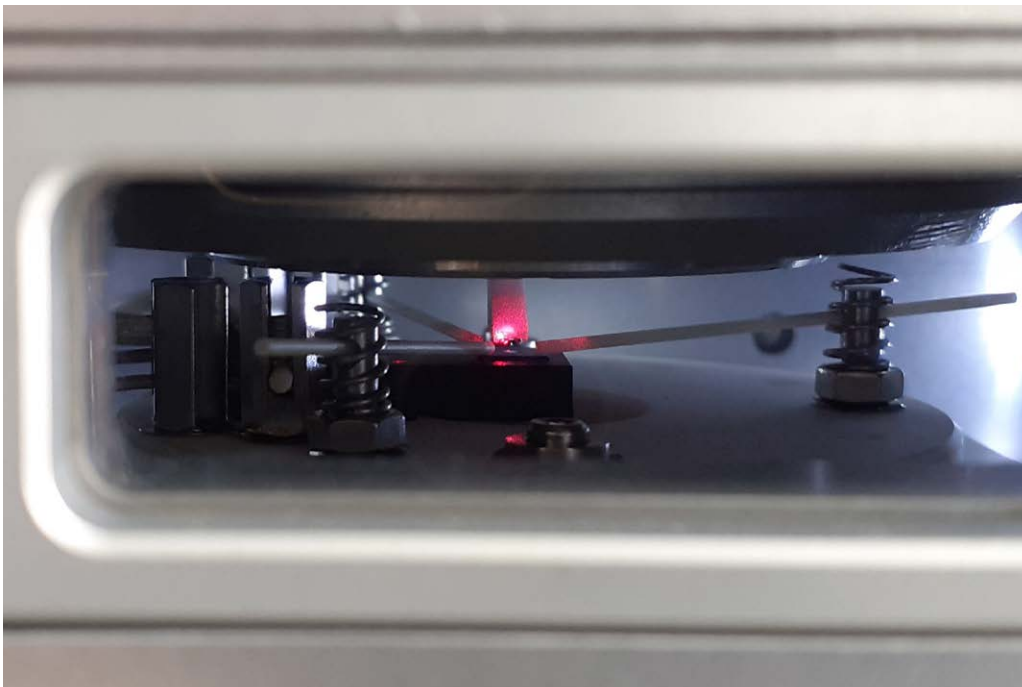
### HT-AFM Innenansicht

Der Probenteller ist in einer mit Reaktionsgasen spülbaren Wanne platziert.  
Der Probenträger ist beheizbar.



### Blick in das HT-AFM durch das Sichtfenster während einer Messung

Der Cantilever mit Messspitze ist im abnehmbaren Oberteil integriert.





## Prof. Dr. Dirk C. Meyer

**Kristall- und Festkörperphysik,  
Wissenschaftlicher Sprecher des ZeHS**

### Forschungsschwerpunkte

In der Arbeitsgruppe Kristall- und Festkörperphysik von Prof. Dirk C. Meyer steht das weite Feld der funktionellen Oxide im Mittelpunkt aktueller Forschungsinteressen. Dies bezieht sich auf deren Nutzung für neue und innovative Materialien für Hochleistungsbauteile. Der Materialdefekt und seine Eigenschaften stehen im Zentrum der Betrachtung, da die Anwesenheit von Baufehlern gewünschte Materialeigenschaften zum einen erst erzeugen, zum anderen aber auch verhindern kann.

Die bearbeiteten Forschungsthemen reichen von der Grundlagenforschung bis hin zur Heranführung an den Markt. Es stehen Herausforderungen mit besonderer aktueller gesellschaftlicher Relevanz im Fokus: Die Entwicklung von Funktionsmaterialien für moderne Datenspeicher und Sensoren sowie für die Energie- und Stoffwandlung, insbesondere für elektrochemische Energiespeicher.

Ausgehend von der Synthese und gezielten Modifikation von Materialien durch verschiedene Arten des Energieeintrags werden Struktur-Eigenschafts-Beziehungen insbesondere mit modernen Methoden der Röntgendiffraktometrie und -spektroskopie aufgeklärt.

### Aktuelle Projekte

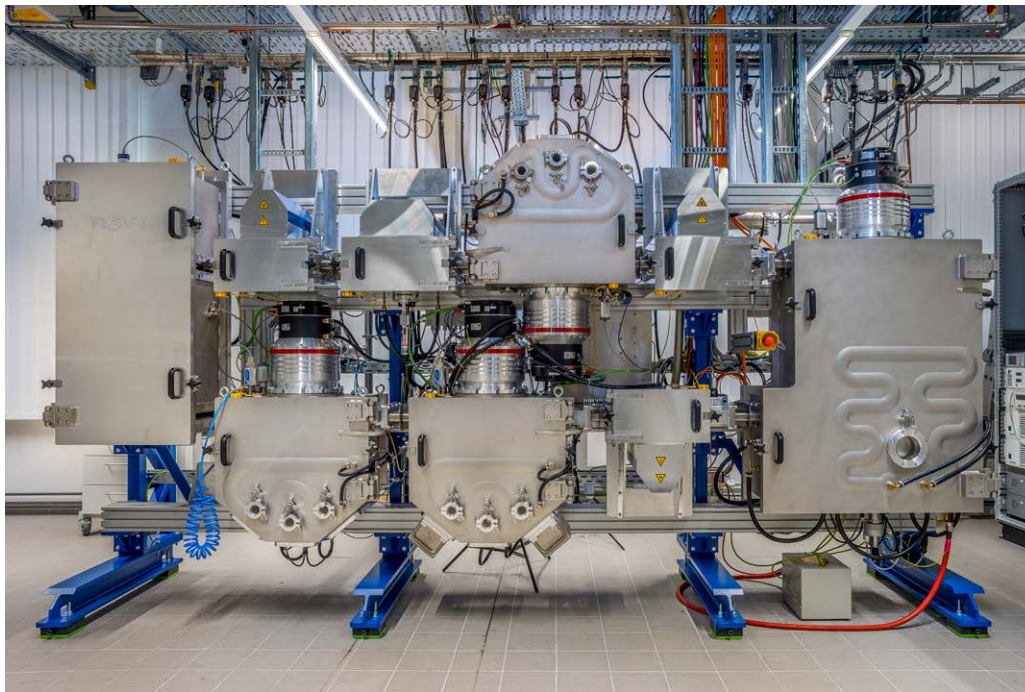
Unter Verantwortung von Prof. Dirk Meyer wurden drei im Rahmen des Verfahrens nach Art. 91b GG bewilligte Forschungs Großgeräte ins ZeHS eingebracht. Dabei handelt es sich um eine Anlage zum Sputtern und Blitzlampentempen, ein Hochtemperatur-Röntgendiffraktometer und eine Kreuzstrahl-Laserablation. Zudem wurde eine Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage aus dem BMBF-Projekt R2R-Battery im Forschungsbau aufgestellt. Die Arbeiten finden Ergänzung im BMWi-Projekt ProBaSol.

Aktuell forschen bis zu zehn Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe u. a. an den Themen Batterien, Pyroelektrika und Kristallphysik im ZeHS.

Im Forschungsbau wurden Ankerpunkte des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY (Leitung Dr. Matthias Zschornak) und des Freiburger Zentrums für Pyroelektrizität (Leitung Dr. Hartmut Stöcker) geschaffen.

Die Arbeitsgruppe strebt auf weitere Vernetzung der am ZeHS aufgenommenen Arbeiten hinsichtlich komplementärer Methoden für die Analyse und die Überbrückung, ausgehend von der Laborskala, hin zu industriellen Technologien, wie in der Forschungsprogrammatis des ZeHS vorgesehen. Gemeinschaftsprojekte unter dem Dach des ZeHS befinden sich in Vorbereitung.





### **Rolle-zu-Rolle- und Sputter-Blitz-Anlage**

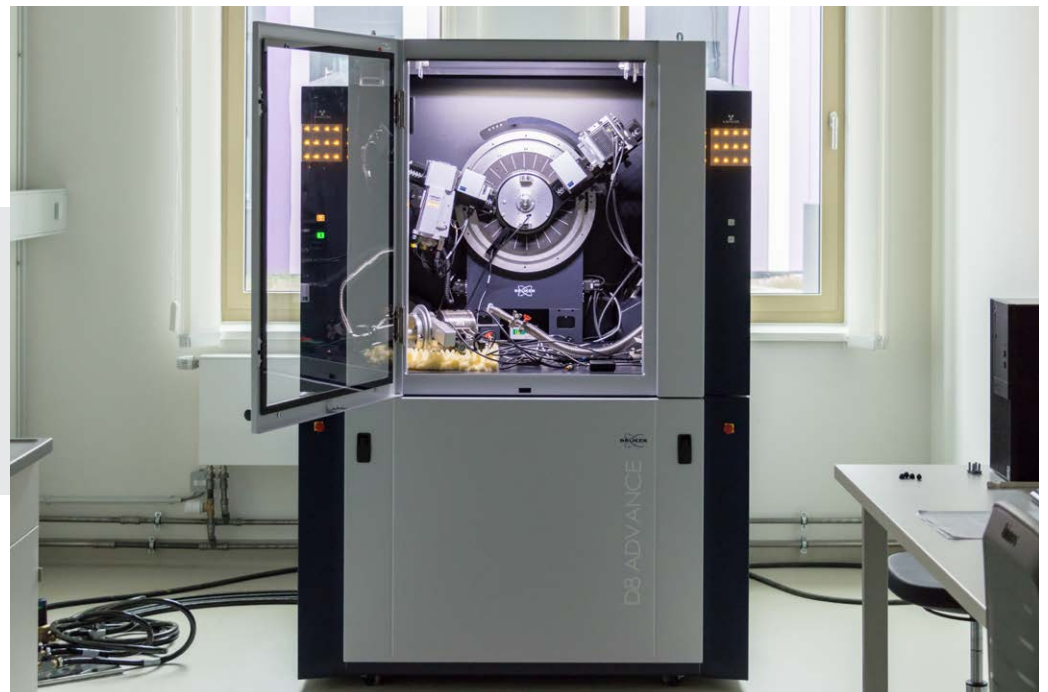
Dünnschichtmaterialien für Hochtemperaturanwendungen und Batterie-Elektroden

LABORE SÜD, RAUM EG.204

### **Röntgendiffraktometer mit Hochtemperaturkammer**

Charakterisierung der temperatur-abhängigen Phasenbildung

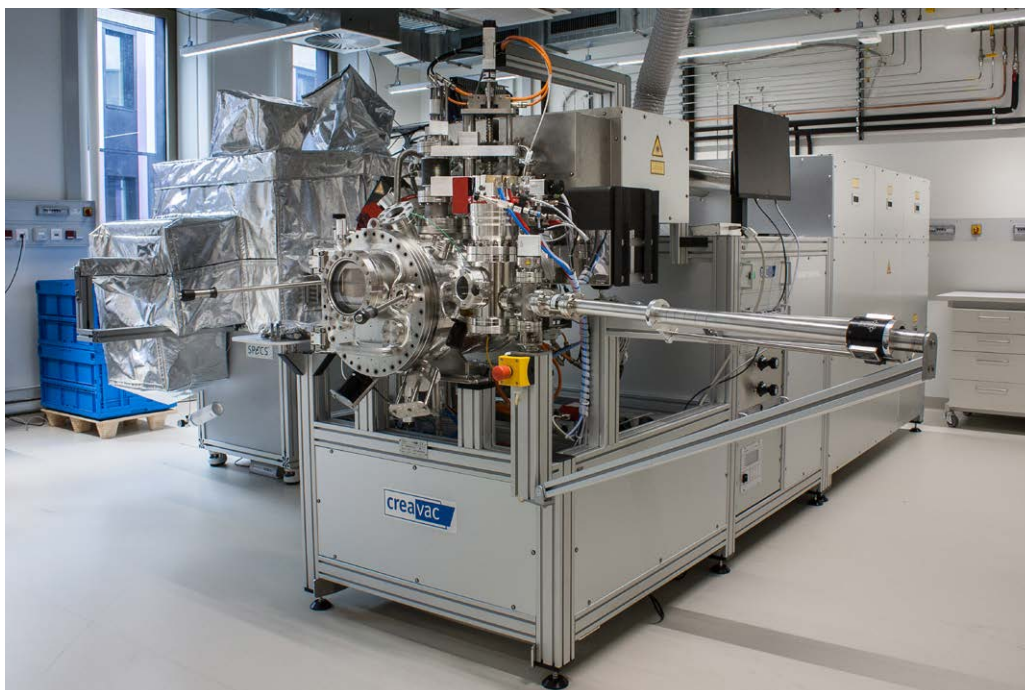
LABORE SÜD, RAUM EG.222

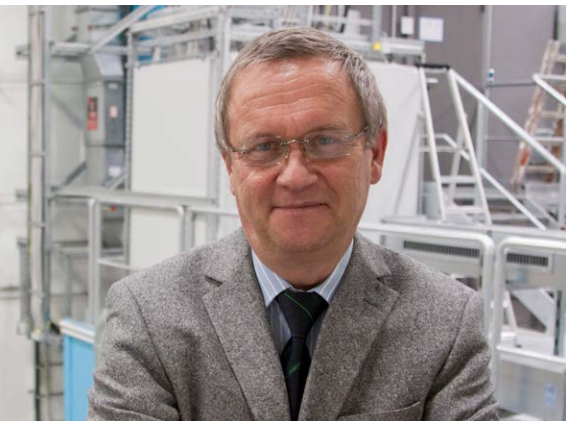


### **Cross Beam Pulsed Laser Deposition Anlage**

Dünnschicht-Synthese mittels Laser-induzierter Plasmen

LABORE SÜD, RAUM EG.221





## Prof. Dr. Serguei Molodtsov

### Strukturforschung mit XFELs und Synchrotronstrahlung

#### Forschungsschwerpunkte

Die Professur für Strukturforschung mit XFELs und Synchrotronstrahlung beschäftigt sich mit den verschiedenen spektroskopischen Methoden zur Materialuntersuchung unterschiedlichster Stoffsysteme, sowohl an der TU Bergakademie Freiberg als auch an anderen nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen. Vor allem die Anbindung sowie enge Kooperation mit dem *European X-Ray Free-Electron Laser* (EuXFEL) in Hamburg ist hier besonders hervorzuheben. Seit 2017 ist der *European XFEL* erfolgreich im Nutzerbetrieb und ermöglicht mit bis zu 27.000 Lichtblitzen pro Sekunde völlig neue Forschungsmöglichkeiten für Wissenschaftlerteams aus der ganzen Welt wie auch aus Freiberg. Es ist hervorzuheben, dass seit Juni 2018 ein bilateraler Kooperationsvertrag zwischen dem EuXFEL und der TU Bergakademie Freiberg besteht, welcher es künftig Freiburger Studenten ermöglicht, Bachelor- und Masterarbeiten gemeinschaftlich in Freiberg und Hamburg anzufertigen.

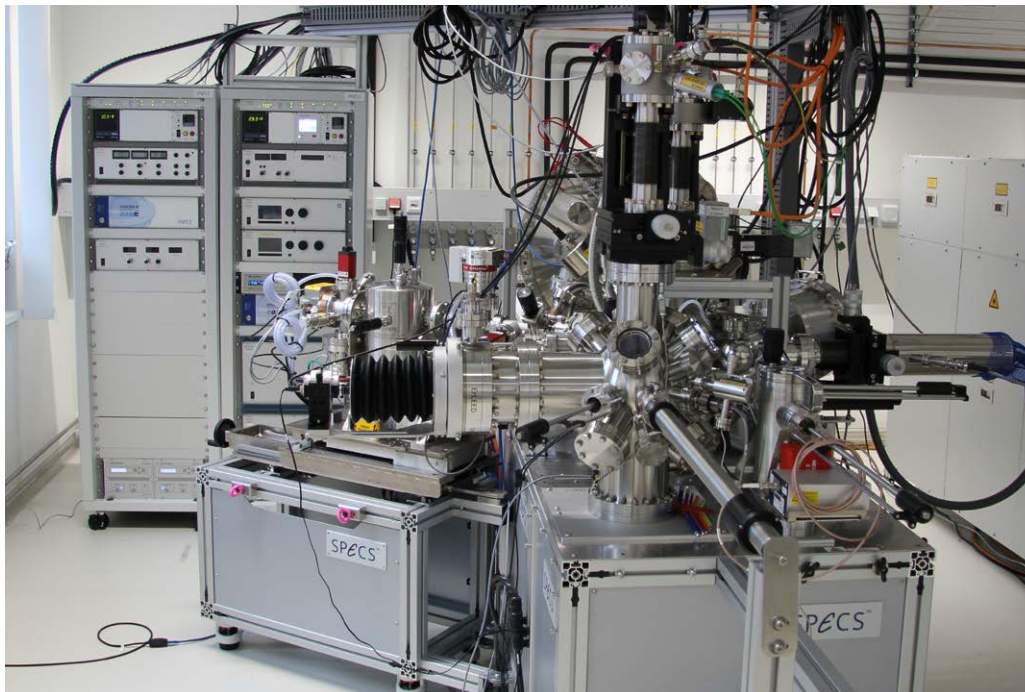
Aktuell fokussiert sich die Forschung der Arbeitsgruppe auf zeitaufgelöste (Pikosekunden sowie Femtosekunden) Photoemission an Ladungstransfer-Systemen wie zum Beispiel Halbleiter/Molekül-, Halbleiter/Metall-Nanopartikel sowie Molekül/Molekül-Grenzflächen. Die Demonstration des weltweit einzigartigen Messprinzips und die damit erlangten Ergebnisse konnten bereits in mehreren Publikationen veröffentlicht werden und wurden als Highlight beim DESY Nutzertreffen 2022 präsentiert. In Zukunft soll diese Messmethodik auf die Untersuchung von Ladungstransferdynamiken bei photokatalytische Reaktionen (*photo-electrochemical water splitting*) erweitert werden.

#### Aktuelle Projekte

Die Professur Molodtsov ist direkt und maßgeblich am Aufbau und dem Betrieb eines neuen (Hochtemperatur-) Photoemissionsspektrometers (HT-PES) im ZeHS beteiligt. Dieses neue Großgerät wird die bereits an der Bergakademie vorhandenen spektroskopischen Möglichkeiten erweitern und zur Bündelung von vorhandenen Kompetenzen sowie instituts- und fakultätsübergreifenden Kooperationen genutzt. Wie von den Gutachtern der DFG hervorgehoben, besteht die Einzigartigkeit des neuen Spektrometers in der Kombination aus (Hochtemperatur)-XPS sowie hochauflösender (Tiefemperatur)-ARPES. Der Fokus wird dabei zum einen auf Probencharakterisierungen mittels XPS (auch bei hohen Temperaturen) und zum anderen auf Untersuchungen der elektronischen Eigenschaften im Valenzbandbereich mittel UV-Photoelektronenspektroskopie (UPS) liegen.

Des Weiteren wird mit dem neuen Spektrometer auch winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie möglich sein, um zum Beispiel etwas über die Bandstruktur der untersuchten Materialien herauszufinden. So eröffnet das neue Spektrometer im Rahmen der studentischen Ausbildung ganz neue Optionen und Perspektiven. Es ist weiterhin hervorzuheben, dass Proben in Freiberg hergestellt, unter Vakuumbedingungen gereinigt sowie charakterisiert werden können und anschließend mittels eines Vakuumkoffers ohne Kontamination an Großforschungseinrichtungen transportiert werden können. Kooperationen mit den Arbeitsgruppen von Prof. Joseph, Prof. Heitmann, Prof. Ehrlich und Prof. Plamper haben bereits begonnen und gemeinsame Projektanträge sind eingereicht oder in Vorbereitung.





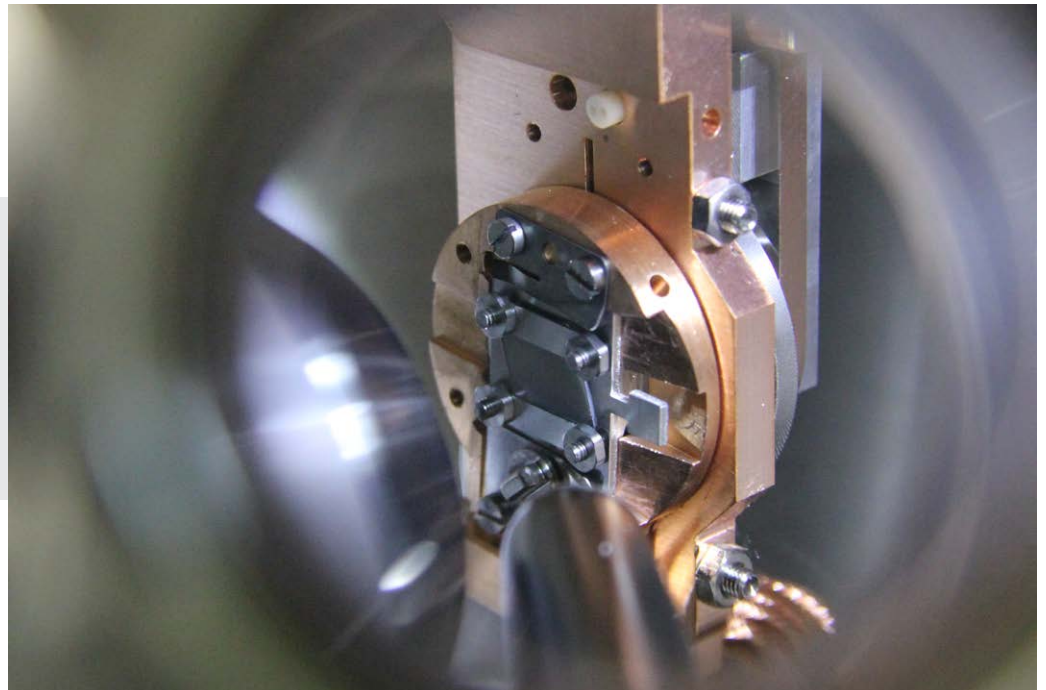
### HT-PES

Außenansicht des Geräts

LABORE SÜD, RAUM EG.221

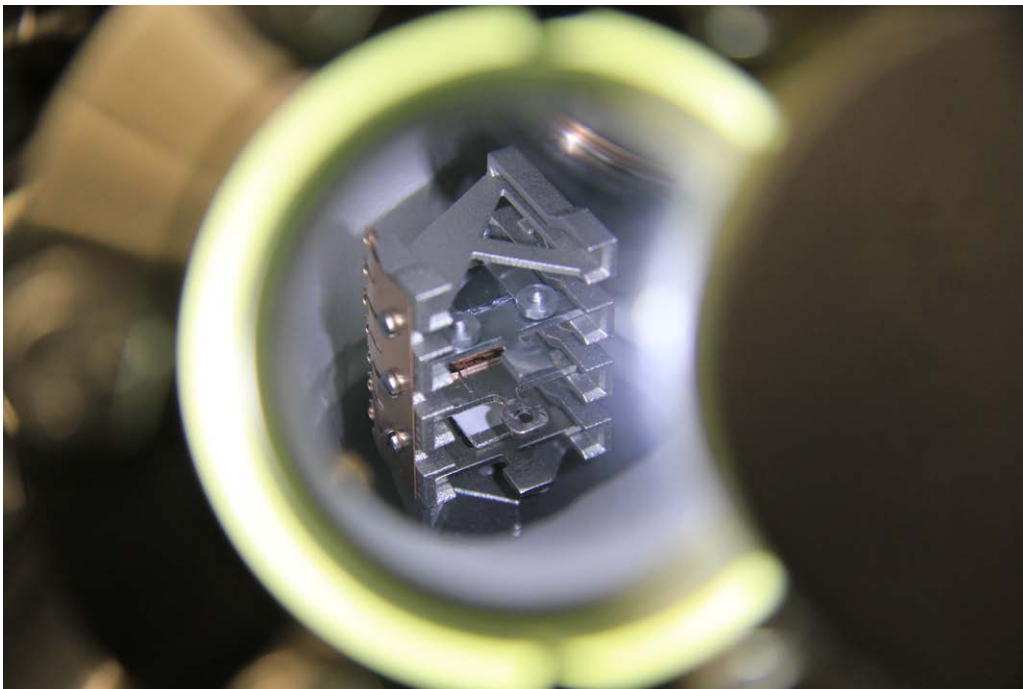
### Blick auf die Probe

Die Anregung von Photoelektronen kann sowohl mit UV- als auch Röntgenstrahlung erfolgen. Eine Temperierung der Probe während der Messung ist vorgesehen.



### Probenmagazin

Im Gerät und auch im Vakuum-Transportkoffer können mehrere Proben unter UHV-Bedingungen gelagert werden.







## Prof. Dr. Felix A. Plamper

### Grenzflächen und Kolloide

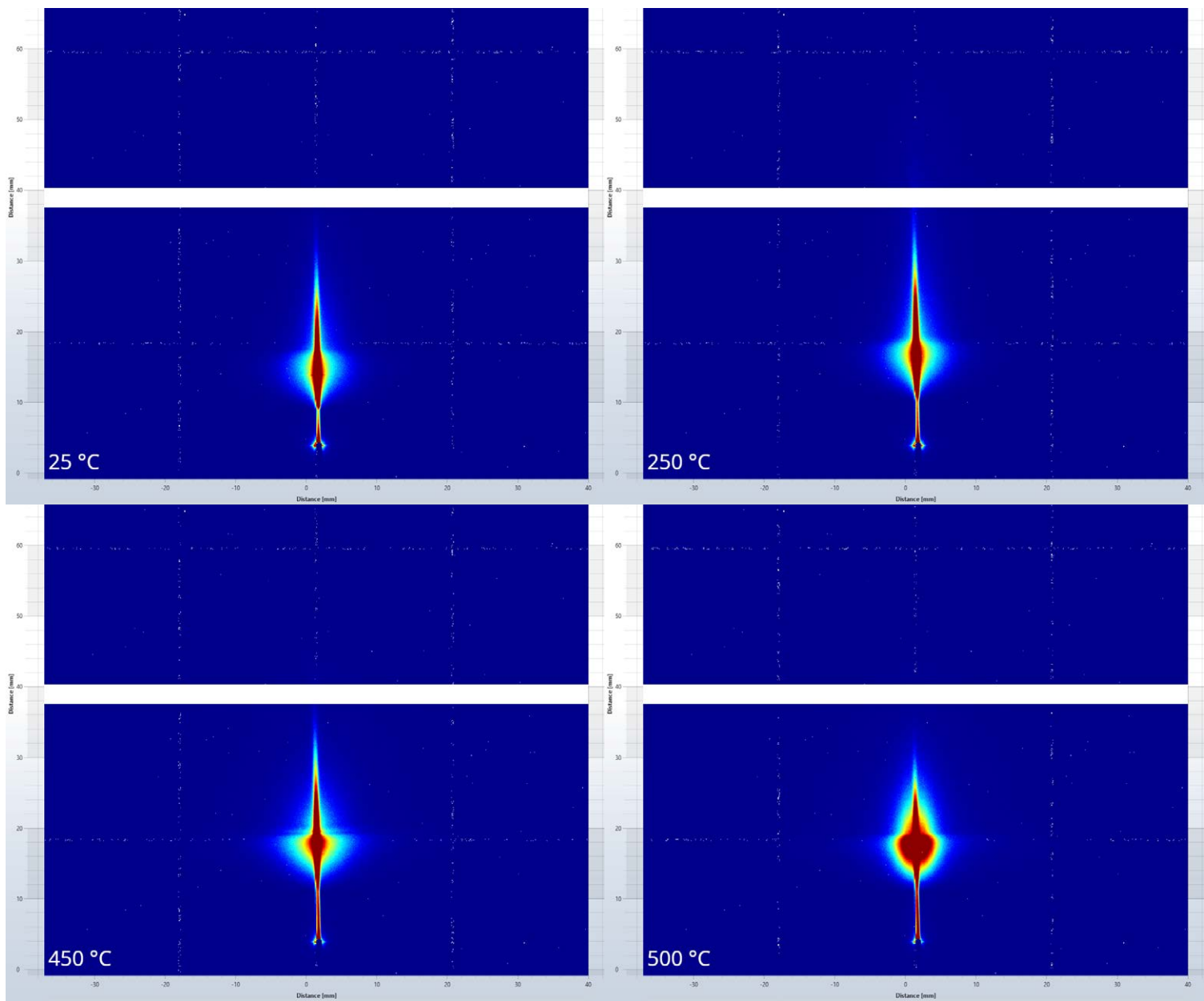
#### Forschungsschwerpunkte

Die Gruppe von Prof. Felix A. Plamper beschäftigt sich im weitesten Sinne mit Grenzflächen und Kolloiden, d. h. mit den Eigenschaften nanoskopischer Teilchen in Dispersion, in Hybridmaterialien und an Oberflächen. Zudem stehen nanoskopische Energiespeichersysteme im Fokus. Vielfach werden polymerbasierte Systeme untersucht, wobei die Polymere als Ankerstellen für anorganische Strukturreinheiten dienen. Dadurch können die Polymere als Template für anorganische Materialien fungieren. Durch Kalzinierung kann eine weitere Umwandlung hin zu funktionellen Materialien mit z. B. katalytischen Eigenschaften erfolgen.

#### Aktuelle Projekte

Aufgrund einer Förderung des SMWK konnte die Gruppe eine Röntgenkleinwinkelstreuanlage beschaffen, die insbesondere auch für Forschungsfragestellungen des ZeHS geeignet ist. Das Gerät beinhaltet einen Hochtemperaturhalter für die Untersuchung von Stoffumwandlungen an Oberflächen. Dabei können nicht nur die Kristallstrukturänderungen während der Umwandlung aufgeklärt werden, sondern die Strukturänderung im Nanometerbereich (bis hin zu mehreren 100 nm) kann dadurch verfolgt werden.

Aktuell forschen die Mitarbeiter der Gruppe u. a. an der elektrochemischen Abscheidung von Hybridmaterialien, an der elektrochemischen Modulation der Grenzflächenspannung und an der Realisierung von Nichtgleichgewichtssystemen zur kontrollierten Energiespeicherung und Energiefreisetzung.



### Röntgenkleinwinkelstreuanlage „SAXsONIA“

SAXSpout 5.0 von Anton Paar  
LABORE NORD, RAUM I.320

### Erste temperaturabhängige GISAXS-Messungen

Messung an einem Titanfilm auf Saphir an Luft bei verschiedenen Temperaturen





## Prof. Dr. Oliver Rheinbach

**Hochleistungsrechnen in der  
Kontinuumsmechanik**

### Forschungsschwerpunkte

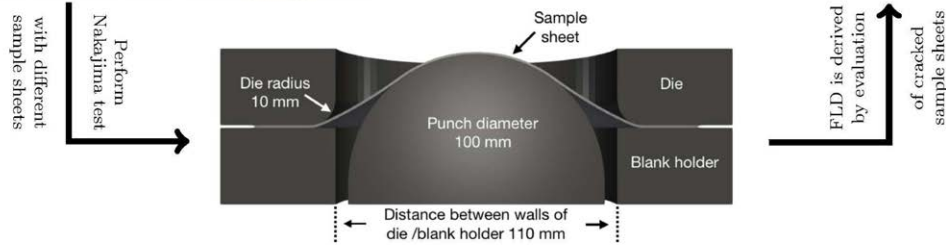
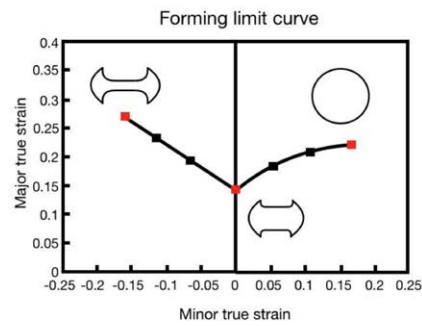
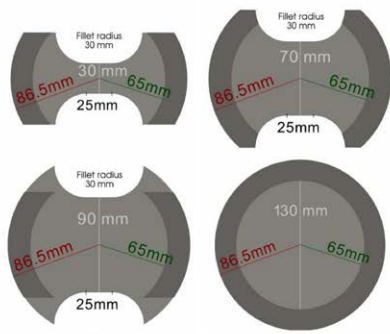
Die Arbeitsgruppe von Professor Rheinbach am Institut für Numerische Mathematik und Optimierung der TU Bergakademie Freiberg entwickelt schnelle, iterative Lösungsverfahren für implizite Probleme in der Kontinuumsmechanik, darunter insbesondere parallele Gebietszerlegungsverfahren, Multilevelverfahren und Homogenisierungsverfahren. Hierbei umfasst das Profil die Entwicklung von neuen Algorithmen, ihre Implementierung in Softwarebibliotheken und auch ihre Anwendung etwa in der Kontinuumsmechanik oder der Multiphysik. Die Zielarchitekturen reichen dabei von Parallel-Clustern mittlerer Größe bis zu den jeweils schnellsten Superrechnern der Welt. Die Softwarestrategie umfasst eine interne Entwicklungslinie und eine freie, quelloffene Entwicklungslinie; darunter ist das FROSch-Paket (*Fast and Robust Overlapping Schwarz* – <https://shylu-frosch.github.io>), welches inzwischen Teil der Trilinos-Softwarebibliothek (<https://trilinos.github.io>) geworden ist. In jüngerer Zeit ist auch Maschinelles Lernen, insbesondere *Scientific Machine Learning*, ein Schwerpunkt der Arbeitsgruppe.

### Aktuelle Projekte

Im Projekt EXASTEEL-2 (DFG SPP1648) wurden hochskalierbare nichtlineare Gebietszerlegungsverfahren und Homogenisierungsverfahren für die Simulation von Mehrphasen-Stahl auf der kommenden Generation der Exascale-Supercomputer entwickelt. Im Rahmen des Projektes wurden zweiskalige Simulationen mit millionenfacher Parallelität durchgeführt. Das Projekt wurde im Laufe des Jahres 2021 mit einer Veröffentlichung zur parallelen Simulation des Nakajima-Tests auf dem Juwels-Supercomputer (*Julich Supercomputing Centre*) abgeschlossen.

In einem Projekt aus dem DFG SPP2256, das im Jahr 2020 gestartet ist, wird gemeinsam mit der Arbeitsgruppe von Professor Kiefer (IMFD) komplexes Materialverhalten aus der nicht-isothermen Thermo-Chemo-Mechanik untersucht. Längerfristige Ziele sind unter anderem die Simulation des Wachstums von Oxidschichten während der Stahlfiltration oder die Versprödung durch Wasserstoffdiffusion. Als Lösungssoftware steht in diesem Projekt von Seiten des INMO die FROSch-Software im Mittelpunkt.



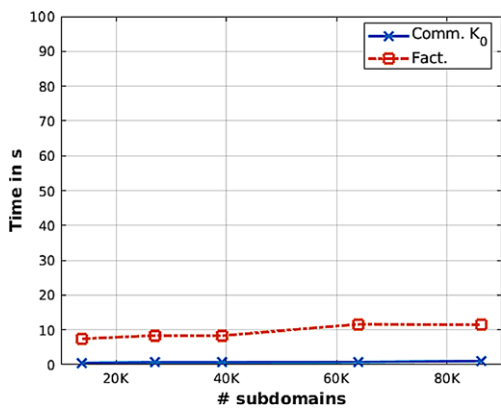
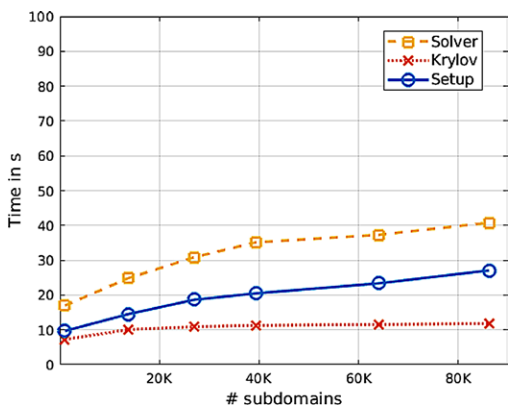
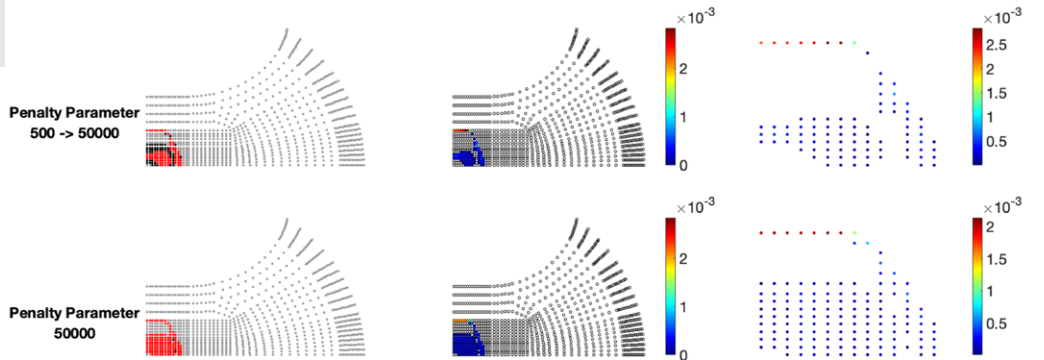
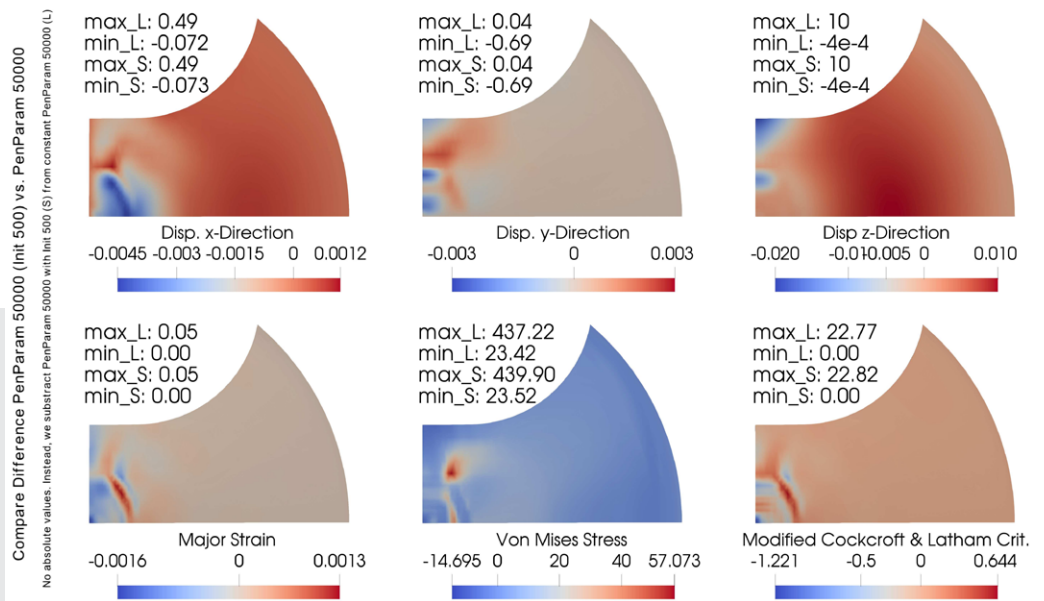


### Simulation eines Nakajima-Tests

Berechnung einer *Forming Limit Curve* (FLC) für einen Mehrphasenstahl auf dem Juwels Supercomputer (Jülich Supercomputing Center)  
 Abbildungen aus: Comput. Mech. 68 (2021) 1153–1178, lizenziert unter: CC BY 4.0

### Simulation eines Nakajima-Tests

Berechnung einer *Forming Limit Curve* (FLC) für einen Mehrphasenstahl auf dem Juwels Supercomputer (Jülich Supercomputing Center)  
 Abbildungen aus: Comput. Mech. 68 (2021) 1153–1178, lizenziert unter: CC BY 4.0



### GDSW-Basisfunktionen für Elastizität

Schwache Skalierbarkeit eines GDSW-Verfahrens auf dem SuperMUC-NG-Supercomputer (LRZ Garching)



## Jun.-Prof. Dr. Björn Sprungk

Angewandte Mathematik

### Forschungsschwerpunkte

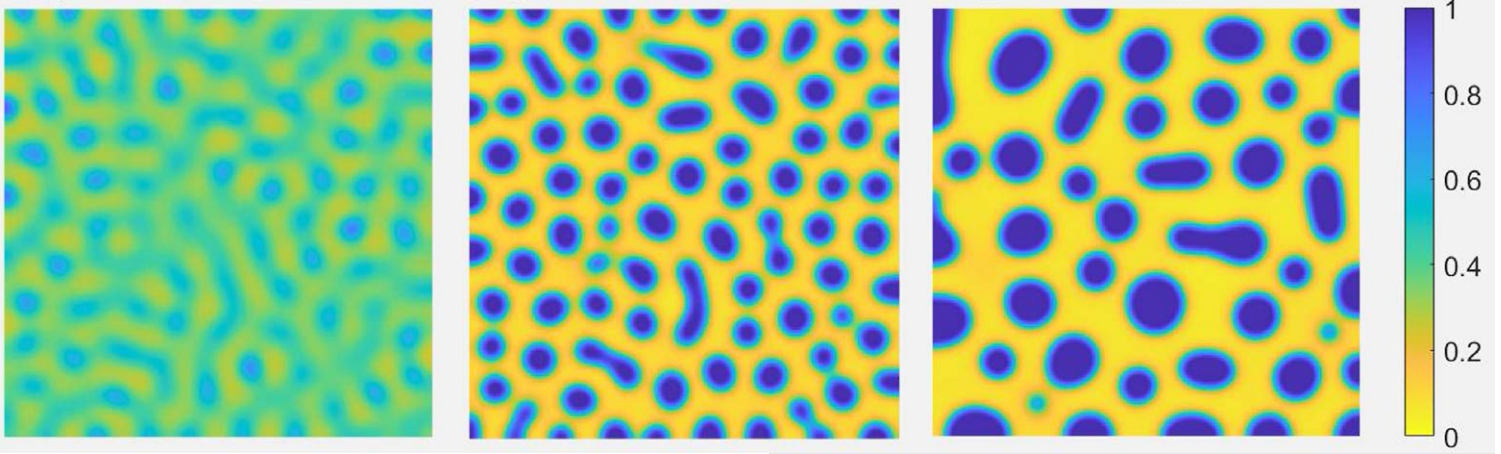
Die Arbeitsgruppe von Jun.-Prof. Dr. Björn Sprungk beschäftigt sich mit der Beschreibung und Berücksichtigung von Unsicherheiten in komplexen Systemen. Der Fokus liegt dabei auf physikalischen oder technischen Prozessen, welche durch Differentialgleichungen mathematisch abgebildet werden. In diesen Gleichungen tauchen typischerweise materialspezifische Parameter oder externe Einflüsse auf, die in der Praxis oft nicht exakt bekannt sind oder naturgemäß schwanken können. In Simulation und Prognose ist dieser ungenauen Kenntnis der relevanten Modellgrößen Rechnung zu tragen. Dazu werden die unsicheren Größen als Zufallsgrößen beschrieben und die daraus resultierende probabilistische Modellprognose berechnet. Die Forschungsgruppe entwickelt und analysiert hierzu effiziente numerische Verfahren für hochdimensionale und rechentechnisch anspruchsvolle Problemstellungen wie etwa polynomielle Dünngitter-Kollokation.

Ebenso werden statische Methoden zur Modellkalibrierung und Parameteridentifikation bei gegebenen Messdaten untersucht. Hier verfolgt die Arbeitsgruppe Bayessche Ansätze verbunden mit fortgeschrittenen Markowketten-Monte-Carlo-Verfahren, die insbesondere in unterbestimmten Situationen erneut eine Quantifizierung der verbleibenden Unsicherheit über die relevanten Modellparameter erlaubt.

### Aktuelle Projekte

Im Rahmen des durch die SAB geförderten Projektes „Alternative Fasermaterialien auf Basis von Cu-Schlacken“, welches zusammen mit Prof. Dr. Alexandros Charitos und Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann bearbeitet wird, untersucht das Teilprojekt „Prozesssimulation unter Unsicherheit und Robuste Prozesssteuerung“ unter Leitung von Jun.-Prof. Dr. Björn Sprungk die mathematische Beschreibung und Simulation von Phasenseparationsprozessen in erhitzten Schlacken. Dabei ist ein Schwerpunkt die Abschätzung der Prozessdauer bis zur hinreichenden Trennung der Phasen unter ungenauer Kenntnis der chemischen Zusammensetzung der Schlacke. Als zentrales mathematisches Modell wird dabei die Cahn-Hilliard-Differentialgleichung zur Beschreibung der Dynamik der Phasenseparation verwendet.

Im Teilprojekt erforscht Dr. Henning Höllwarth geeignete stochastische Modelle für die ungenau bekannten Materialparameter wie den Mobilitätskoeffizienten und das chemische Potential. Ferner werden schnelle Approximationsmethoden als Surrogat zur aufwendigen Simulation des Cahn-Hilliard-Modells untersucht, wie etwa multivariate Polynome und neuronale Netzwerke. Zur Verifikation der Simulationsergebnisse besteht ein enger Austausch inklusive Vergleich mit experimentellen Daten mit den Gruppen von Prof. Dr. Charitos und Jun.-Prof. Dr.-Ing. Fuhrmann.

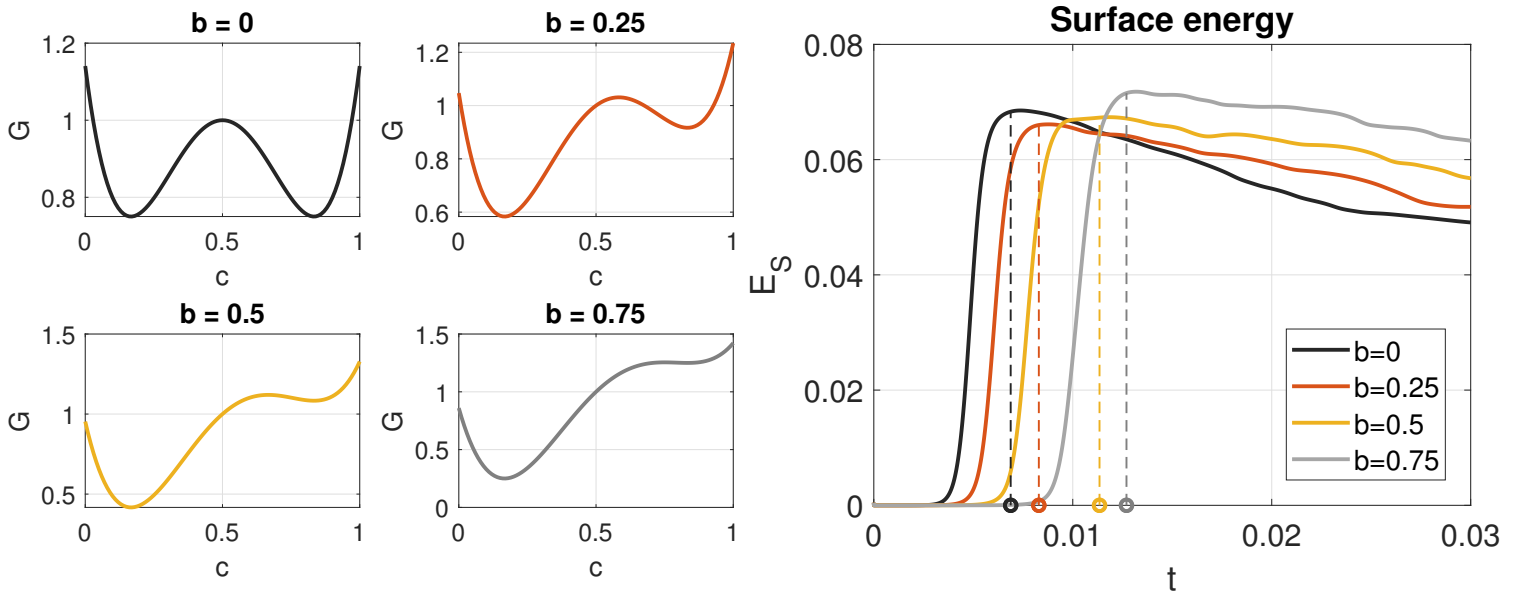


### Fortschreitende Phasentrennung in einem Gemisch

Die zeitliche Entwicklung von links nach rechts wurde durch die numerische Lösung der Cahn-Hilliard-Differentialgleichung in zwei Raumkoordinaten simuliert. Dargestellt ist die ortsabhängige Konzentration des Anteils von A in einem anfangs homogenen Gemisch aus Stoff A und B.

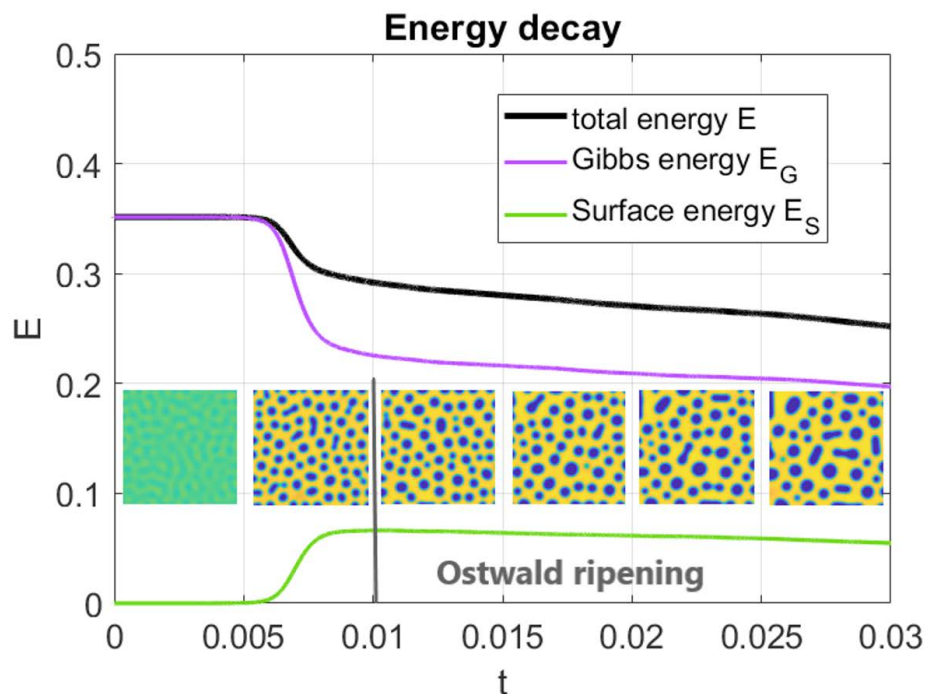
### Simulationsstudie zum Einfluss der Asymmetrie der Gibbs-Energie

Die Gibbs-Energie bei fester Temperatur verstanden als Funktion der Konzentration von Stoff A beeinflusst den Verlauf der Oberflächenenergie bzw. die Dauer der Phasenseparation (definiert als Zeitpunkt des Abklingens der Oberflächenenergie).



### Simulierter zeitlicher Verlauf der Phasenseparation

Gegeben ist das Verhalten der beiden Energieanteile, welche im Cahn-Hilliard-Modell die freie bzw. Gesamtenergie bestimmen. Ein Abklingen der aufgrund der Phasentrennung zunächst angestiegenen Oberflächenenergie wird als Beginn der Ostwaldreifung bzw. als Zeitpunkt hinreichender Separation interpretiert.







## Dr. Matthias Zschornak

### Resonante Röntgenmethoden und Kristallmodellierung

#### Forschungsschwerpunkte

Die Tätigkeiten der Arbeitsgruppe beinhalten sowohl die experimentellen und theoretischen Aspekte resonanter Röntgenmethoden, die Weiterentwicklung entsprechender Probenumgebungen und Methoden an Synchrotronforschungseinrichtungen als auch die Modellierung der elektronischen Struktur von Kristallen und abgeleiteten Eigenschaften.

Die Arbeitsgruppe besteht neben dem Leiter Dr. Matthias Zschornak aus den beiden Doktoranden Christian Ludt und Tina Weigel sowie dem Post-Doktoranden Dr. Muthu Vallinayagam. Als ehemalige Mitglieder der Gruppe unterstützen die externen Wissenschaftler Dr. Carsten Richter (IKZ Berlin), Dr. Melanie Nentwich (DESY Hamburg) und Dr. Christian Wagner (ENAS Chemnitz) die Forschung, sowohl bei Durchführung und Datenanalyse der Synchrotronexperimente als auch bei den Modellierungen.

Die zentralen materialbezogenen Fragestellungen der Gruppe betreffen das Verhalten und die Eigenschaftsänderung von Kristallen bei Phasenumwandlungen durch Temperatur, externe physikalische Felder und den Einbau von Defekten, insbesondere bei Oxiden, Halbleitermaterialien, Seltenerdverbindungen, Pyroelektrika sowie ferroelektrischen Dünnschichten.

#### Aktuelle Projekte

Derzeit laufen zwei DFG-Projekte und zwei Doktorarbeiten in der Arbeitsgruppe. Im Projekt Acoust-REXS (DFG 409743569) liegt der Fokus auf der atomaren und elektronischen Struktur kristalliner Materialien unter dem Einfluss akustischer und elektrischer Felder sowie der Vorhersage von einhergehender Kristallsymmetriebrechung und entsprechender Eigenschaftsänderungen des Materials. Im Projekt Parameter-Space-Concept (DFG 442646446), das zusammen mit dem Emeritus Prof. Karl Fischer (Saarbrücken) bearbeitet wird, steht ein neuartiger Ansatz zur hochpräzisen Kristallstrukturbestimmung basierend auf Einkristall-Röntgendiffraktometriedaten ohne den Gebrauch von Fouriertransformationen im Mittelpunkt.

Die Arbeitsgruppe widmet sich nicht nur der methodischen, sondern auch der apparativen Weiterentwicklung von Synchrotronexperimenten. Dies beinhaltet u. a. die Ausgestaltung und Konstruktion einer individuell angepassten Probenkammer, die im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojekts mit dem Schwerpunkt „Erforschung kondensierter Materie an Großgeräten“ für die Beamlines P23 und P24 am DESY konzipiert und konstruiert wurde, um Proben mittels elektrischer Felder unter variablen Temperaturen zu manipulieren und *in situ* zu untersuchen. Die Kammer wird nun in den neuen Laborräumen der Arbeitsgruppe am ZeHS weiterentwickelt.

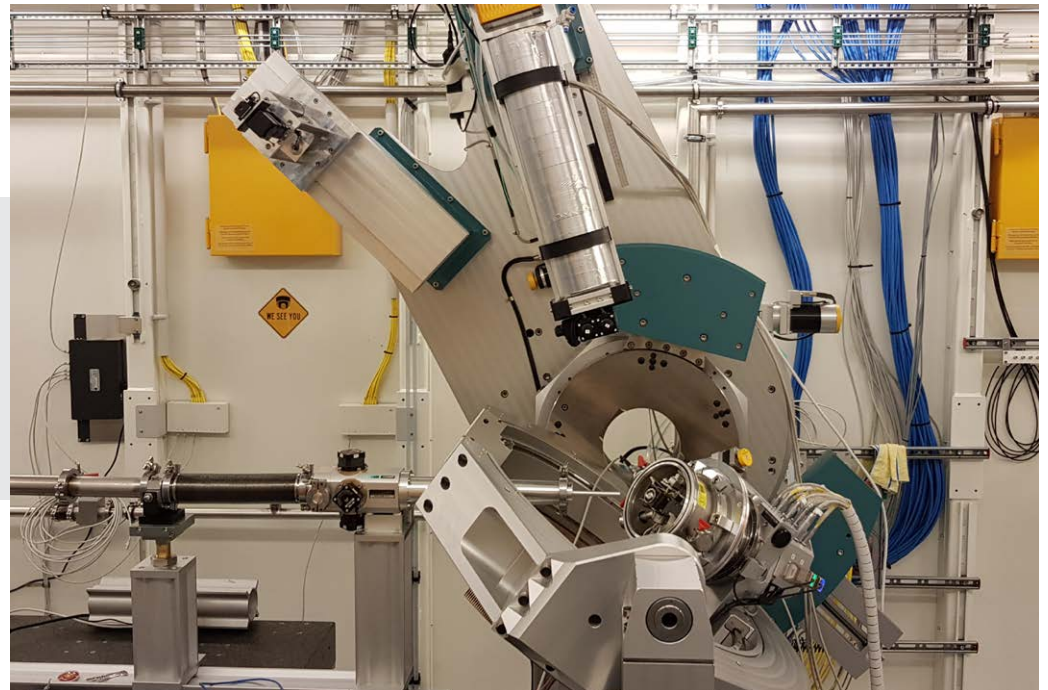


### Sachsen-DESY-Kooperation Sachsenbeamline

Koordination der Synchrotronforschung sächsischer Forschungseinrichtungen mit dem Deutschen Elektronensynchrotron DESY

### Huber-Diffraktometer an In-situ X-ray diffraction and imaging beamline

In-situ-Materialcharakterisierung dynamischer Prozesse und Methodenentwicklung



### Nordseekammer für den Einsatz am Synchrotron

Weiterentwicklung von In-situ-Umgebungen für elektrisches Feld und Temperatur

LABORE NORD, RAUM I.301





# ANALYTIKGERÄTE

---







**ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE  
HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG**

---

## FORSCHUNGSGROSSGERÄTE DES ZEHS

---

Im Rahmen der für das ZeHS bewilligten Gesamtsumme von 41,5 Mio. Euro waren 9,75 Mio. Euro für die Erstausrüstung an Forschungsgroßgeräten enthalten. Diese Großgeräteinfrastruktur entspricht den wissenschaftlichen Themenfeldern der am ZeHS-Forschungsverbund beteiligten Professuren. Die Geräte werden am ZeHS in Verantwortung der beantragenden Professur betrieben.

Im weiteren Verlauf wurde eine Antragstellung und Begutachtung nach dem Verfahren der DFG für Forschungsgroßgeräte für jedes Gerät durchlaufen. Im Vergleich zu den im Antrag genannten Geräten ergaben sich geringfügige Abweichungen, z. B. durch Abgang von Professoren im Verlaufe der Beantragungs- und Planungsphase sowie infolge der Entwicklungen bei aktuellen Projekten beteiligter Professuren. Es wurden 17 Forschungsgroßgeräte erfolgreich beantragt und im Rahmen der Projektlaufzeit beschafft. Der Prozess der Auswahl der Hersteller, Ausschreibungen, Vergaben und Rechnungsabwicklungen wurde durch die Zentrale Beschaffungsstelle der TU Bergakademie Freiberg geleitet, so dass der Gesamtprozess konform mit dem Wettbewerbs- und Vergaberecht verlief und innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen werden konnte.

Neben den explizit mit dem Forschungsneubau bewilligten Forschungsgroßgeräten sind weitere Großgeräte, die über verschiedene Projektträger finanziert sind, zum Teil bereits während der Planungsphase und zum Teil auch seit Übergabe des Gebäudes an die TU Bergakademie Freiberg hinzugekommen. Die zwei nachfolgenden Tabellen geben eine Übersicht über alle aktuell am ZeHS betriebenen Großgeräte. Die Großgeräte umfassen zu etwa 42 % Syntheseinfrastruktur im weitesten Sinne, so z. B. chemische Synthese, Schichtabscheidung und Randschichtverfahren sowie Sintern und additive Fertigung.

Mit einem Anteil von 58 % haben die Analytikgeräte den größeren Anteil. Die vertretenen Analysemethoden sind breit aufgefächert und erstrecken sich auf die Bereiche:

- Struktur und Eigenschaften fester Stoffe,
- Oberflächen,
- mechanische Eigenschaften von Bauteilen,
- Prozess- und Reaktionsanalyse.

Im folgenden Abschnitt werden Großgeräte vorgestellt, die im weitesten Sinne Analytikgeräte sind. Im Gegensatz zu Geräten zur Synthese, die in der Regel auf die spezifischen Projektbedürfnisse der betreibenden Arbeitsgruppen zugeschnitten sind, enthalten Analytikgeräte häufig Funktionen, die für weitere Arbeitsgruppen von Interesse sind und bieten somit Anknüpfungspunkte für Kooperationen.

---

## SYNTHESEINFRASTRUKTUR AM ZEHS

---

- **Water-Jet 3D-Drucker**, Prof. Dr. Christos G. Aneziris
- **Elektronenstrahlanlage**, Prof. Dr. Martin Gräbner, Prof. Dr. Horst Biermann
- **Hochdruckpresse**, Prof. Dr. Edwin Kroke
- **Kombinierte Sputter-FLA-Anlage**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer
- **Kreuzstrahl-Laser-Ablation**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer
- **Mikrowellenteststand**, Prof. Dr. Martin Gräbner
- **Schutzgas-Entbinderungs- und Sinterofen**, Prof. Dr. Christos G. Aneziris
- **Plasmanitrieranlagen**, Prof. Dr. Horst Biermann
- **R2R-Anlage für die Rolle-zu-Rolle-Beschichtung**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer
- **Spark-Plasma-Sinter-Anlage**, Prof. Dr. Lutz Krüger, Prof. Dr. Horst Biermann
- **Teststand Katalytisches Steam-Reforming**, Prof. Dr. Martin Gräbner



---

## ANALYTIKGERÄTE AM ZEHS

---

### Mechanische Eigenschaften

- **Höchsttemperaturprüfmaschine**, Prof. Dr. Horst Biermann, Dr. Sebastian Henkel
- **Small Punch Test**, Prof. Björn Kiefer, Dr. Martin Abendroth
- **Ultraschall-Mikroskop**, Jun.-Prof. Dr. Christian Kupsch, Mario Wolf

### Oberflächen

- **Hochtemperatur-AFM/STM**, Prof. Dr. Florian Mertens, Dr. Andreas Lißner
- **Röntgenkleinwinkel- und Röntgenweitwinkelstreuanlage**, Prof. Dr. Felix Plamper, Richard Neubert

### Prozess- und Reaktionsanalyse

- **Gaschromatographen mit gekoppelter Massenspektrometrie**, Prof. Dr. Sven Kureti, Dr. Christopher Zschiesche
- **HT-Katalysator-Teststand mit Raman-Analytik**, Prof. Dr. Florian Mertens, Prof. Dr. Sven Kureti, Dr. A. Lißner
- **Reaktionsteststand mit Thermowaage, FT-IR und GC/MS**, Prof. Dr. Edwin Kroke, Dr. Konstantin Kraushaar

### Struktur und chemische Eigenschaften

- **Einwurf- und Lösungskalorimeter**, Prof. Dr. Andreas Leineweber, Dr. Mario Kriegel
- **Hochtemperatur-Photoelektronenspektrometer**, Prof. Dr. Serguei Molodtsov, Dr. Friedrich Roth
- **Hochtemperatur-Röntgendiffraktometer für PDF-Analysen**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Dr. Hartmut Stöcker
- **Laser-Flash-Anlage**, Prof. Dr. Tobias Fieback, Dr. Rhena Wulf
- **Micro-Raman-Spektrometer**, Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann
- **Rasterelektronenmikroskop mit Focused Ion Beam**, Prof. Dr. Christos G. Aneziris, Dr. Nora Brachhold
- **Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse**, Prof. Dr. Martin Gräbner, Dr. Marcus Schreiner

# Höchsttemperaturprüfmaschine

Prof. Dr. Horst Biermann, Dr. Sebastian Henkel



## Höchsttemperaturprüfmaschine

Die Höchsttemperaturprüfmaschine ist für Biege-, Druck- und Zugversuche im Temperaturbereich zwischen 1000°C und 1800°C bei Vakuumbedingungen geeignet. Ziel ist es unter anderem das Werkstoffverhalten von Refraktärmetallverbundwerkstoffen und weiterer Hochtemperaturwerkstoffe zu charakterisieren. Dazu verfügt die Maschine über seitliche Sichtfenster, die eine Dehnungsmessung mit einem Laserscanner ermöglichen. Das Dehnungssignal kann auch zur Regelung der Versuche verwendet werden. Damit sind Kriech- und Relaxationsversuche über bis zu 24 Stunden möglich.

- Hersteller: Hegewald und Peschke
- Spindelprüfmaschine: Steifer 4-Säulen-Lastrahmen, 100 kN Antrieb, mit wassergekühlter Vakuumkammer
- Enddruck:  $5 \times 10^{-5}$  mbar
- Temperaturbereich: 1000°C – 1800°C
- Wolfram-Netz-Heizelement
- Einspannungen für Zug und Druck (je nach Temperatur bis 40 kN)
- 4-Punkt Biegung (bis 5 kN) aus Siliziumkarbid
- Laser-Extensiometer (Abtaste: 200 Hz)
- Kraftmesszelle, Genauigkeit der Dehnungsmessung: 1 % (Klasse I nach ISO 9513)

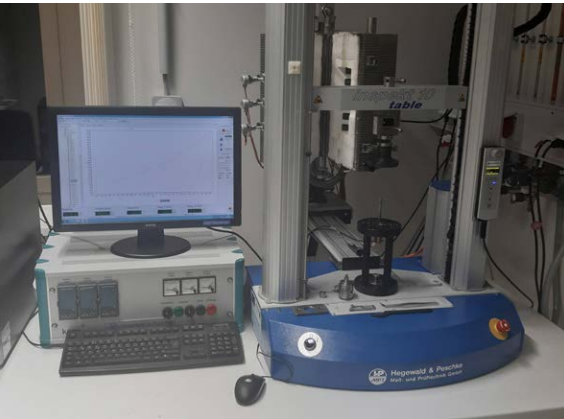
## Universalprüfmaschinen

Für statische und zyklische Langzeit-Belastungs-Experimente sind zwei servohydraulische Universalprüfmaschinen im Einsatz. Beispielsweise werden zyklische und statische Schädigungsverhalten von kohlefaserverstärkten Werkstoffen untersucht. Durch in die Maschinensteuerung integrierte Kamerasysteme und digitale Bildkorrelation werden Untersuchungen zu zyklischem Schädigungsverhalten wie interlaminaer Rissfortschritt in Materialien mit Gewebeerstärkung ermöglicht. Zukünftig ist eine zusätzliche induktive Heizvorrichtung für Prüfverfahren auf niederzyklische Ermüdung und thermozyklische Ermüdung geplant. Darüber hinaus können mit entsprechenden Aufbauten auch Biege-, Zug- und Druckprüfungen an den servohydraulischen Universalprüfmaschinen durchgeführt werden.

- Servohydraulische Universalprüfmaschinen: MTS 810 und Schenck Hydroplus
- Hydrostatisch gelagerte Kolbenstangen, Nennkraft: 50 kN
- MTS Digitalregler Flextest40, Feinausrichtung Laststrang mit Ausrichteeinheit MTS 609
- Regelung über Kraftsignal, Zylinderweg über LVDT und Feindehnungsaufnehmer

## Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Horst Biermann – Institut für Werkstofftechnik
- Geräteverantwortlicher: Dr. Sebastian Henkel



## Small Punch Test

Prof. Björn Kiefer, Dr. Martin Abendroth

### Einsatzgebiet

Der *Small Punch Test* (SPT) ist ein miniaturisiertes Werkstoffprüfverfahren, bei dem kleine, scheibenförmige Proben ( $\text{Ø } 8 \times 0,5 \text{ mm}^2$ ) bis zum Versagen belastet werden. Die geringe Größe der SPT-Proben gestattet eine minimalinvasive Probennahme aus größeren Strukturen, wie z. B. bereits geprüften Zug- oder Bruchmechanikproben. Das experimentelle Ergebnis des SPT ist eine Kraft-Weg-Kurve, die Informationen über die Verformungs- und Festigkeitseigenschaften des Probenmaterials beinhaltet.

Für die Auswertung der Messergebnisse werden moderne Methoden der nichtlinearen Parameteridentifikation verwendet, wobei auch neuronale Netze und maschinelles Lernen eingesetzt werden.

Die kompakte Prüfeinrichtung am ZeHS ist mit einer Heizvorrichtung ausgestattet, die eine Bestimmung der mechanischen Werkstoffeigenschaften bei Einsatztemperaturen und unter spezifischen Atmosphären ermöglicht.

### Gerätespezifikationen

- Prüfmaschine: Hegewald & Peschke Inspekt Table 10 kN
- Probengröße:  $\text{Ø } 8 \times 0,5 \text{ mm}^2$
- Materialien, die untersucht werden können: Metalle, Keramiken, Verbundwerkstoffe, Kunststoffe
- Temperaturbereich: Raumtemperatur – 1000 °C
- Atmosphären: Ar, N<sub>2</sub>
- Maximale Last: 10 kN

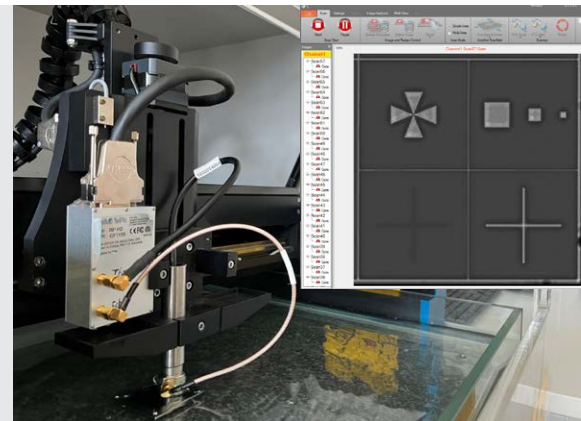
### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Björn Kiefer – Institut für Mechanik und Fluidodynamik
- Geräteverantwortlicher: Dr. Martin Abendroth



# Ultraschall-Mikroskop

Jun.-Prof. Dr. Christian Kupsch, Mario Wolf



## Einsatzgebiet

Die Ultraschallmikroskopie (englisch: *Scanning Acoustic Microscopy* – SAM) erlaubt die volumetrische Untersuchung von Proben unabhängig von der Opazität oder der elektrischen Leitfähigkeit. Dabei werden hochfrequente Schallwellen erzeugt und die reflektierten Echos detektiert. Ausschlaggebend für die Echostärke ist die Änderung der mechanischen Eigenschaften an Grenzflächen. Für die Bildgebung wird ein Schallkopf rasterförmig über die Probe bewegt und für jede Messposition das Echo-signal ausgewertet.

Die Ultraschallmikroskopie eignet sich daher insbesondere für die Inspektion von Grenzflächen, um z. B. Delaminationen zu erkennen. Weiterhin erlaubt sie eine dreidimensionale Bildgebung von verdeckten Strukturen und die Bestimmung mechanischer Eigenschaften.

Als elektromechanische Wandler werden stark fokussierende Schallköpfe in einem Frequenzbereich von 20 MHz bis zu 1 GHz verwendet. Die Abbildungseigenschaften hängen stark von der zu untersuchenden Probe und dem verwendeten Schallkopf ab. Mit zunehmender Mittenfrequenz steigt die erreichbare Auflösung bei gleichzeitiger Reduktion der maximalen Eindringtiefe. So können bei 20 MHz Proben mit einer Dicke von mehreren Millimetern mit einer Auflösung von ca. 100 µm untersucht werden. Bei 1 GHz können Strukturen <1 µm abgebildet werden, wobei die Eindringtiefe nur noch bei wenigen Mikrometern liegt. Für die Schalleinkopplung muss die Probe im Wasserbad platziert werden.

## Gerätespezifikationen

- Gerätename: PVA Tepla SAM 301
- Schallköpfe: 1,4 mm – 12,7 mm Fokusabstand bei Frequenzen von 20 MHz bis 200 MHz (erweiterbar auf Schallköpfe bis 1 GHz mit 80 µm Fokusabstand)
- Scanbereich: 200 mm × 200 mm mit Schrittweiten  $\geq 1 \mu\text{m}$
- maximale Probengröße: 320 mm × 320 mm × 70 mm
- Hinweis: Für die Messung befindet sich die Probe in einem Wasserbad.

## Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Jun.-Prof. Dr.-Ing Christian Kupsch – Juniorprofessur für Mess-, Sensor- und Eingebettete Systeme
- Geräteverantwortlicher: Dipl.-Ing. Mario Wolf



## Hochtemperatur-AFM/STM

Prof. Dr. Florian Mertens, Dr. Andreas Lißner

### Einsatzgebiet

Das Hochtemperatur-AFM/STM dient der Untersuchung von Morphologie-verändernden Prozessen an Werkstoffoberflächen auf meso- und mikroskopischer Ebene. Es können unter kontrollierter Atmosphäre sowie prozessnahen Bedingungen (Normaldruck, hohe Temperaturen) *In-situ*-Beobachtungen von z. B. Sinterungsprozessen, Segregationsprozessen, Korngrenzenwanderungen, Zersetzung von Oberflächenbelegungen (Präkursoren) oder die selektive Verdampfung von Komponenten im Falle von Mischphasen untersucht werden und die zugrundeliegenden Prozess-Kinetiken bestimmt werden.

### Gerätespezifikationen

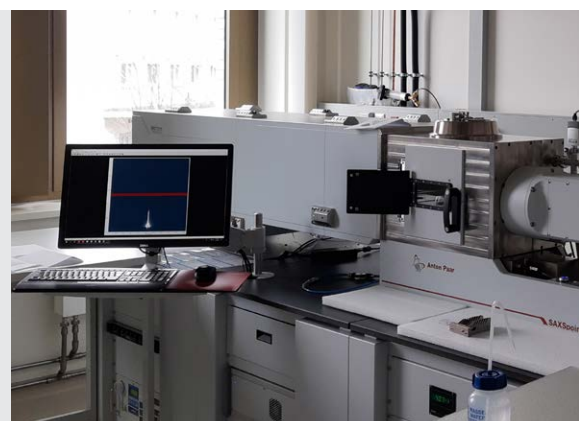
- SPM-Modi: *Contact Mode* und *Tapping Mode* AFM für morphologische und topografische Untersuchungen mit Möglichkeit zur simultanen Messung der elektrischen Leitfähigkeit und Impedanz-Spektroskopie; *Lateral Force*-Messungen; EFM bzw. KPFM zur Ermittlung der lokalen Oberflächenpotentiale; MFM zur Messung magnetischer Eigenschaften mit lokaler Auflösung; STM-Modus und STS
- AFM- und STM-Messungen bis maximal 850 °C
- kontrollierte Gasatmosphäre (Normaldruck) im Probenraum über MFC steuerbar: Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>
- Scanbereich des SPM-Scanners: 100 × 100 × 10 μm<sup>3</sup>
- Probengrößen: bis max. 20 mm
- räumliche Auflösung unter Hochtemperaturbedingungen und Normaldruck: < 100 nm

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Florian Mertens – Institut für Physikalische Chemie
- Geräteverantwortlicher: Dr. Andreas Lißner

# Röntgenkleinwinkel- und Röntgenweitwinkelstreuanlage

Prof. Dr. Felix Plamper, Richard Neubert



## Einsatzgebiet

Es handelt sich um eine dedizierte Röntgenkleinwinkelstreuanlage zur Untersuchung von nanostrukturierter Materie (Größenbereich bis etwa 500 nm), die auch Kristallstrukturen und Orientierungen analysieren kann. Dadurch wird der innere Aufbau von u. a. Kern-Schale-Nanopartikeln und/oder die Morphologie der Nanostrukturen in Dispersion/Lösung, Feststoff/Matrix oder an Grenzflächen detektierbar. Neben der Analyse der Teilchenstruktur ist auch die Anordnung der Partikel (mittlere Abstände, mittlere Orientierung von Kristalliten bzw. anisotropen Teilchen) in vielen Fällen zugänglich. Zudem ist eine Hochtemperaturprobenkammer verfügbar, in der bis 500 °C unter streifendem Einfall dünne Schichten und nanostrukturierte Oberflächen untersucht werden können. Dabei können unter Vakuum oder auch prinzipiell unter verschiedenen Gasflüssen (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) temperaturinduzierte Änderungen *in situ* verfolgt werden. Optional sind Erweiterungen beschaffbar, die Messungen bei höheren Temperaturen (bis 600 °C), unter kontrollierter Luftfeuchte, an einem Zug-Dehnungs-Messstand oder unter Scherung ermöglichen.

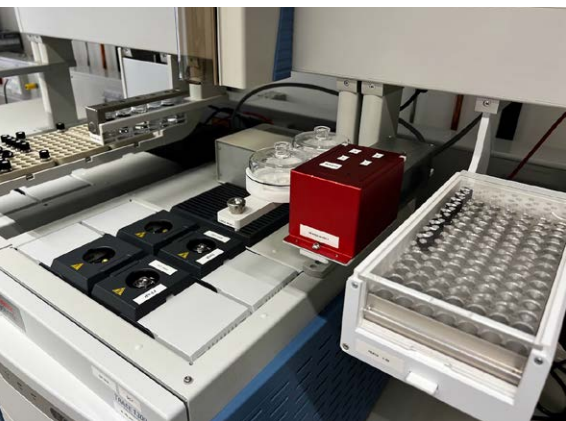
## Gerätespezifikationen

- Röntgenkleinwinkel- und Röntgenweitwinkelstreuanlage mit Möglichkeit zur Messung unter streifendem Einfall „SAXsONIA“ – SAXSpoint 5.0 von Anton Paar (*Small Angle X-ray Scattering* – SAXS)
- Quelle: *High-Flux* Anton Paar Primux 100 *Microfocus X-ray Source* (Leistung: 50 W, Targetmaterial: Cu,  $\lambda = 0,154$  nm, spektrale Reinheit: > 99,9 %, maximaler Fluss an der Probe: > 10<sup>8</sup> Photonen/s, Strahldivergenz: < 0,2 mrad)
- Multifunktionelle Probenkammer: Beschickung mit verschiedenen Probenhaltern für feste und flüssige Proben (temperierbar von –10 °C bis 120 °C), Messung von temperierbaren Oberflächen (20 °C bis 500 °C) unter streifendem Einfall in verschiedenen Gasumgebungen (*Grazing Incidence Small Angle X-ray Scattering* – GISAXS)
- Detektor: komplett beweglicher Dectris EIGER IM (Pixelgröße: 75  $\mu$ m, Energiediskriminierung) mit einstellbarem Abstand zwischen Probe und Detektor (von minimal 45 mm – entspricht  $q_{\max} = 49,3$  nm<sup>-1</sup> bis maximal 1625 mm –  $q_{\min} = 0,01$  nm<sup>-1</sup>), erlaubt Messungen ohne *Beamstop* für Transmissionsmessungen (automatischer *Beamstop*)

## Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Felix Plamper – Professur für Grenzflächen und Kolloide
- Geräteverantwortlicher: Dipl.-Chem. Richard Neubert





## Gaschromatographen mit gekoppelter Massenspektrometrie

Prof. Dr. Sven Kureti, Dr. Christopher Zschiesche, Stefan Nottelmann

### Einsatzgebiet

Die im Jahre 2019 angeschafften Gaschromatographen zeichnen sich durch eine breite Anwendungspalette in den Bereichen der Analyse stofflicher Zusammensetzungen sowie der Identifikation von organischer Stoffgruppen aus. Durch zwei unabhängig voneinander betreibbare Gaschromatographen (GC) – GC1 für niedrigere Temperaturen ( $T_{\max} = 250\text{ °C}$ ) und GC2 für Hochtemperaturanalysen ( $T_{\max} = 420\text{ °C}$ ) – ist es möglich Gemische verschiedener Stoffklassen mit einer großen Breite an Kettenlängen zu untersuchen. Die Besonderheit ist, dass die Injektion in beide Teile über einen gemeinsamen Autosampler umgesetzt wird und beide Systeme über eine Transferleitung mit dem angekoppelten Massenspektrometer (MS) verbunden werden können. Durch diese Konfiguration ist das GC-GC/MS u. a. für die Untersuchung von synthetischen Kraftstoffen im Bereich von Kerosin oder auch langkettiger Wachsprodukte aus der Fischer-Tropsch-Synthese geeignet.

Insbesondere fand das GC-GC/MS im C3-Mobility-Projekt B3 zur Analyse der MTG-Produkte im Naphtha-Bereich Verwendung. Hierbei stand die DHA (*Detailed Hydrocarbon Analysis*) für eine Beurteilung der erreichten Qualität und die Bestimmung des Methanolgehaltes der wässrigen Produktphase im Vordergrund. Durch die Anwendung verschiedenster Herstellungsmethoden synthetischer Kraftstoffe wird die Datenbank der DHA ständig erweitert und durch das angekoppelte MS werden die neu eingefügten Stoffgruppen verifiziert.

### Stoffklassen GC1

- FFAP-Säule: Alkohole, Aldehyde/Ketone, Carbonsäuren, Aromaten (Alkane, Alkene sichtbar)
- DHA-Säule: PIONA-Analyse mit erweiterter Datenbank für synthetische Kraftstoffe (MTG) bis max. C15

### Stoffklassen GC2

- Säule frei wählbar: Analyse mittels MS zur Identifikation unbekannter Komponenten in Proben
- Hochtemperatursäule: *On-column*-Analytik für Hochsieder, KW- und Wachse C5 bis C90+, SimDist-Methoden

### Gerätespezifikationen

- Injektoren: Split/Splitless, On-column-PTV
- Detektoren: Flammenionisationsdetektor (FID), Massenspektrometer ISQ 7000
- Probenaufgabe: Vials (1,5 ml, beheizbar), automatisch über Autosampler

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Sven Kureti – Institut für Energieverfahrenstechnik, Arbeitsgruppe Reaktionstechnik
- Geräteverantwortliche: Dr. Christopher Zschiesche, Stefan Nottelmann

## HT-Katalysator-Teststand mit Raman-Analytik

Prof. Dr. Florian Mertens, Prof. Dr. Sven Kureti,  
Dr. Andreas Lißner



### Einsatzgebiet

Der HT-Katalyse-Teststand ermöglicht die Untersuchung von heterogen katalysierten chemischen Reaktionen, die bei hohen Temperaturen und teilweise moderaten Drücken ablaufen. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der Abgasreinigung, der katalysierten Verbrennung, katalytisch beeinflussten Abscheidungsprozessen, Reformierungsprozessen (Syngas, Trockenreformierung), petrochemischen Umsetzungen sowie der Katalysatorcharakterisierung und -aktivierung.

Weiteres Einsatzgebiet ist die Untersuchung von Beeinflussungen von Feststoffen durch Reaktivgase unter *In-situ*- und *Operando*-Bedingungen.

### Gerätespezifikationen Katalysator-Teststand

- Messbereich: bis 800 °C
- Hochdruckbereich: bis 30 bar
- Der Reaktor kann sowohl mit pelletiertem als auch mit pulverförmigem Katalysatormaterial betrieben werden.
- Zylindrischer Probenraum: 10 mm × 20 mm

### Gerätespezifikationen Raman-Spektrometer

- S&I MonoVista CRS+ 500
- Räumliche Auflösung: 1 µm
- Laserwellenlänge: 532 nm
- Leistung: 100 mW regelbar
- Messbereich: 60 – 9000 cm<sup>-1</sup>
- Auflösung: < 1 cm<sup>-1</sup>
- Detektor: CCD (2D)

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professuren: Prof. Dr. Florian Mertens – Institut für Physikalische Chemie, Prof. Dr. Sven Kureti – Institut für Energieverfahrenstechnik
- Geräteverantwortlicher: Dr. Andreas Lißner



## Reaktionsteststand mit Thermowaage, FT-IR und GC/MS

Prof. Dr. Edwin Kroke, Dr. Konstantin Kraushaar

### Einsatzgebiet

Molekulare, oligomere und polymere Vorläuferverbindungen (Präkursoren) werden zunehmend zur Herstellung von Struktur- und Funktionswerkstoffen genutzt. Für den Bereich der Polymerwerkstoffe ist dieses Vorgehen der herkömmliche Weg. Im Rahmen des ZeHS sollen metallorganische und anorganische Präkursoren für die Synthese von Hybridmaterialien und refraktären Verbundwerkstoffen eingesetzt werden. Dabei können Präkursor-abgeleitete Materialien zur Sinterung und Reduzierung der Porosität grobkörniger Erzeugnisse beitragen. Durch Kontrolle der Thermolyseparameter können zahlreiche Funktionseigenschaften wie die elektrische und thermische Leitfähigkeit gezielt eingestellt werden.

Außerdem sollen neuartige Katalysator-Systeme für Hochtemperatur-Stoffwandelungsprozesse präkursorbasiert erzeugt werden. Um das thermische Reaktions- und Umwandlungsverhalten der Präkursoren *in situ* bestimmen zu können, sollen neben einer simultanen Thermoanalyseapparatur zwei Rohröfen an ein Massen- und ein FTIR-Spektrometer gekoppelt werden. So können neben der üblichen Analyse der flüchtigen Reaktionsprodukte und der Masseänderung bei der Thermolyse auch Gas-Fest-, Flüssig-Fest- und Fest-Festkörper-Reaktionen bei Temperaturen bis  $> 1800\text{ °C}$  eingehend untersucht werden.

### Gerätespezifikationen

- Rohröfen bis  $1800\text{ °C}$
- Klapprohröfen bis  $1200\text{ °C}$
- Simultanes TG/DTA(DSC) Analysesystem STA 8000
- Dual-Range FT-IR MIR-FIR
- 2-Kanal-Gaschromatograph mit Massenspektrometer

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Edwin Kroke – Institut für Anorganische Chemie
- Geräteverantwortlicher: Dr. Konstantin Kraushaar



# Einwurf- und Lösungskalorimeter

Prof. Dr. Andreas Leineweber, Dr. Mario Kriegel



## Einsatzgebiet

Die Einwurf-/Lösungskalorimetrie und die dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) sind sehr geeignete thermische Analyseverfahren um thermodynamische Eigenschaften von verschiedensten Materialien bestimmen zu können. Innerhalb der Koordinationsstelle „Materialien und Eigenschaften“ (KS-ME) des ZeHS sollen diese Methoden sowohl für die Untersuchung des thermodynamischen Gleichgewichts als auch die Untersuchung der Phasenbildung und -umwandlung eingesetzt werden. Hierbei spielen vorwiegend Hochtemperaturprozesse und -materialien eine zentrale Rolle. Das beantragte Multi-Hochtemperaturkalorimeter (MHTC-96) arbeitet nach dem Calvet-Prinzip, wodurch kalorische Daten auch bei sehr hohen Temperaturen zuverlässig bestimmt werden können.

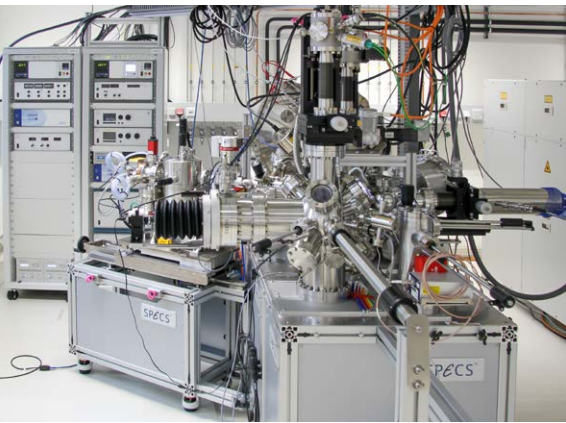
Die generierten Daten werden im Anschluss für die Entwicklung von thermodynamischen Datenbanken auf Basis der CALPHAD-Methode (*CALculation of PHAse Diagram*) genutzt und bilden die Basis für die Berechnungen und somit die Grundlage für verlässliche Extrapolationen in multikomponentige Systeme, die von großem technologischem Interesse sind. Durch die beantragte Konfiguration des Gerätes ist es möglich verschiedenste kalorische Daten im Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und 1500 °C mithilfe von Einwurf-/Lösungskalorimetrie und DSC-Messungen zu ermitteln. Somit besteht die Möglichkeit flexibel auf verschiedenste Fragestellungen des ZeHS und somit der KS-ME zu reagieren und kalorische Daten zu bestimmen.

## Gerätespezifikationen

- Hochtemperaturkalorimeter MHTC-96
- 3D-Einwurfssystem bis 1300 °C (Typ S), 3D-Einwurfssystem bis 1500 °C (Typ B)
- DSC-Messsystem nach dem Tian-Calvet-Prinzip vom Typ S (bis 1400 °C) und vom Typ B (bis 1600 °C)
- Automatisiertes Einwurfmodul mit Temperaturmessung
- Verschiedene Tiegel aus Pt zur Messung von keramischen Proben und aus Aluminiumoxid für metallische Proben
- Messungen sind unter inerten Atmosphären möglich (Ar 5.0, He 5.0)

## Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Andreas Leineweber – Professur für Angewandte Werkstoffwissenschaft
- Geräteverantwortliche: Dr.-Ing. Mario Kriegel, Dipl.-Ing. (FH) Beate Wahl



## Hochtemperatur-Photoelektronenspektrometer

Prof. Serguei Molodtsov, Dr. Friedrich Roth

### Einsatzgebiet

Die Photoelektronenspektroskopie (PES) spielt sowohl in der Festkörperphysik als auch in der Werkstoffforschung eine zentrale Rolle bei der Untersuchung besetzter elektronischer Zustände sowie der elementspezifischen Untersuchung verschiedenster Materialien. Zusätzlich zu klassischen XPS-Untersuchungen (ESCA) von Proben, welche direkt im Arbeitsverbund des ZeHS (bzw. innerhalb der TU Bergakademie Freiberg) hergestellt werden, sind jetzt auch die Untersuchung der Valenzbandstruktur mittels Ultraviolett-Photoelektronen-Spektroskopie sowie winkelaufgelöste Messungen der Photoelektronen (ARPES) möglich und stellen eine signifikante Erweiterung des spektroskopischen Portfolios der TU Bergakademie Freiberg dar. Zusätzlich sollen auch temperaturinduzierte Änderungen der Proben sowohl direkt bei der Messung (bis 800 °C) sowie durch Heizen zwischen den Messungen bis 2000 °C untersucht werden.

### Gerätespezifikationen

- UHV-System für ARPES und XPS bestehend aus Analyse-, Präparations- und *Load-Lock*-Kammer (Druck  $< 4 \times 10^{-10}$  mbar)
- motorisierter 5-Achsen-Helium-Kryostat integriert im UHV-Manipulator der Analysechamber ( $T_{\min} < 15$  K,  $T_{\max} = 1100$  K)
- UPS / ARPES: He-I / He-II monochromatisiert
- XPS: Al-K $\alpha$  (150 W) monochromatisiert
- ASTRAIOS 190: hemispherischer Energie-Analysator mit 2D-CMOS Detektor
- Ar-Ionen-Quelle zum Reinigen von Proben (bis 3 kV)
- aktiv gepumpter Vakuumbügel mit 20 Plätzen inkl. Batterie für 24 h ( $p < 9 \times 10^{-9}$  mbar)
- *Flood Gun* (Energiebereich 1 eV – 500 eV)
- ErLEED
- Hochtemperatur Heizstation ( $T_{\max} = 2000$  °C)

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Serguei Molodtsov – Institut für Experimentelle Physik
- Geräteverantwortlicher: Dr. Friedrich Roth

# Hochtemperatur- Röntgendiffraktometer für PDF-Analysen

Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Dr. Hartmut Stöcker



## Einsatzgebiet

Das Hochtemperatur-Röntgendiffraktometer wird eingesetzt für die:

- Bestimmung des kristallinen Phasenbestands und morphologischer Parameter (Dicke, Dichte, Rauigkeit) von Beschichtungen und Schichtsystemen,
- Analyse der kristallinen und amorphen Bestandteile in HT-Materialien anhand der Methode der Paarverteilungsfunktion,
- *In-situ*-Untersuchung von Umwandlungs- und Ausheilungsvorgängen der kristallinen Struktur in Abhängigkeit der Temperatur.

Insbesondere ermöglicht dieses Gerät die Bestimmung der Paarverteilungsfunktion (*Pair Distribution Function* – PDF) und bietet somit einen Zugang zur Strukturanalyse in amorphen oder schwer gestörten kristallinen Materialien. Bei Materialien ohne langreichweitige atomare Struktur wird von einem amorphen oder glasartigen Zustand gesprochen, der in der Röntgenbeugung keine scharfen Beugungsmaxima hervorbringt. Somit sind konventionelle Methoden der Röntgenstrukturaufklärung hier nicht wirkungsvoll. Beispiele sind fehlgeordnete Nanopartikel, Flüssigkeiten und Gläser.

Allerdings erlaubt die Röntgenstreuung Zugang zur Paarverteilungsfunktion derartiger Zustände, womit die lokale Struktur und kurzreichweitige Ordnung messbar werden. Die PDF entspricht einem Histogramm der interatomaren Abstände der Probe, d. h. alle im Kohärenzvolumen des Röntgenstrahls streuenden Atome werden hinsichtlich ihrer Streubeiträge – gewichtet nach ihrem spezifischen Streuvermögen – aufsummiert und über dem Abstand  $R$  zu einem ausgewählten Zentralatom aufgetragen.

Folglich entspricht jedes Maximum im Histogramm der PDF einem interatomaren Abstand zwischen dem gewählten Zentralatom und seinen Nachbarn. Damit ergibt sich wie in der konventionellen Röntgenbeugung (XRD) ein spezifischer Fingerabdruck der untersuchten Substanz. Mit *In-situ*-Untersuchungen bei ansteigender Temperatur können atomare Umordnung, Kristallisation und lokale chemische Entmischung abgebildet werden.

## Gerätespezifikationen

- Gerätetyp: Bruker D8 Advance A25X1
- Röntgenstrahler: Molybdän-Röntgenröhre 3 kW mit fokussierendem Göbelspiegel
- Probenaufnahmen: Drehprobenhalter für Reflexion, Kapillarhalter für Transmission
- Ofenkammer: Anton Paar HTK 1200N für Messungen in Reflexion und Transmission
- Detektor: Dectris Eiger 2R mit  $1030 \times 514$  Pixeln

## Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Dirk C. Meyer – Institut für Experimentelle Physik
- Geräteverantwortlicher: Dr. Hartmut Stöcker





## Laser-Flash-Anlage

Prof. Dr. Tobias M. Fieback, Dr. Rhena Wulf

### Einsatzgebiet

Für die fachliche Ausrichtung des ZeHS ist eine vielfältige Nutzung der Laser-Flash-Anlage in verschiedensten Bereichen zu erwarten. Im Rahmen des Kompetenzzentrums Hochtemperaturprozesse (KHT-Prozesse) steht die Ermittlung von Stoff- und Prozessdaten der Einsatzstoffe, Zwischen- und Endprodukte sowie der Hochtemperaturmaterialien im Labormaßstab im Mittelpunkt. Die Temperaturleitfähigkeit ist dabei eine der wichtigsten thermophysikalischen Eigenschaften, deren temperaturabhängige Messung die Grundlage zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von festen und flüssigen Materialien ist. So sind beispielsweise Metalle und Legierungen, Feuerfestwerkstoffe, Verbundwerkstoffe, intermetallische Legierungen, HT-Verbundwerkstoffe, beschichtete HT-Materialien u. A. von Interesse. Mit Hilfe spezieller Referenzproben ist weiterhin die näherungsweise Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität möglich.

Im Rahmen des Kompetenzzentrums Hochtemperaturmaterialien (KHT-Materialien) ist die Erforschung grundlegender werkstoff- und verfahrenstechnischer Konzepte der Mikro- und Makrostrukturentwicklung zur Untersuchung des Alterungsverhaltens im Zusammenhang der Morphologie und der thermophysikalischen Eigenschaften geplant. Für geplante Modellierungsansätze sowie für numerische Simulationen, die sich mit stationären und instationären thermischen Prozessen befassen (durchgeführt von allen Mitgliedern des ZeHS und der Bergakademie Freiberg), liefern zuverlässige thermophysikalische Messungen die notwendigen Datensätze für die Temperaturleitfähigkeit und gegebenenfalls für die spezifische Wärmekapazität.

### Gerätespezifikationen

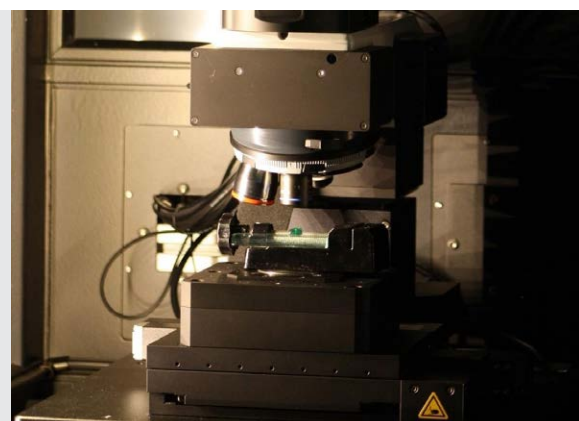
- Temperaturbereich: Raumtemperatur – 2000 °C
- Bereich Temperaturleitfähigkeit: 0,001 – 10 cm<sup>2</sup>/s
- Atmosphäre: i. d. R. Schutzgas (Argon, Helium)
- Proben: Feststoffe, flüssige Metalle
- Probenhalter Feststoffe: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC oder Graphit (Ø 12,7 mm und Ø 20 mm)
- Probenhalter Metallschmelze: Saphir-C (Ø 11 mm × 1,5 mm)
- Referenzproben Temperaturleitfähigkeit: Pyroceram 9606, POCO Graphit, Edelstahl 310, Kupfer
- Referenzproben spezifische Wärmekapazität: Edelstahl und Inconel 600
- Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit erfolgt als Absolutmessung für Feststoffe gemäß DIN EN 821-2: 2005 bzw. ASTM E1461.

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Tobias Fieback – Professur Technische Thermodynamik
- verantwortliche wiss. Mitarbeiterin: Dr. Rhena Wulf
- verantwortlicher Messtechniker: Herr Mirko Oehme

## Mikro-Raman-Spektrometer

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann, Lena Bußmann



### Einsatzgebiet

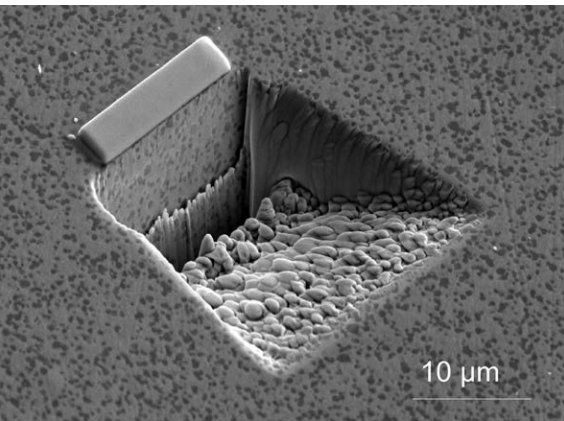
Das Einsatzgebiet ist die lokal und konfokal durchgeführte Raman-Spektroskopie an Feststoffen, Flüssigkeiten oder Gasen in entsprechenden Probenumgebungen zur Strukturanalyse. Das Gerät ist speziell ausgestattet zur Niedrigfrequenz-Mikro-Ramanspektrometrie für *In-situ*-Untersuchungen der druck- und temperaturabhängigen Struktur von Gläsern und Schmelzen. Durch die Ausstattung mit einer großen, flexibel gestaltbaren Probenumgebung können verschiedene Prozesse oder Materialzustände *in situ* beobachtet werden. Als Beispiele zu nennen sind: Kristallisation bzw. andere Phasenübergänge, chemische Reaktionen, Strukturänderungen unter mechanischer Beanspruchung z. B. Biegen. Für *Ex-situ*-Untersuchungen ist vor allem die *Mapping*-Funktion hervorzuheben.

### Gerätespezifikationen

- Gerät: WITec alpha300R
- Wellenlängen: 532 nm und 785 nm, Laserklasse I
- Messungen in Stokes und Anti-Stokes ab  $\pm 10 \text{ cm}^{-1}$
- Polarisation, Auf- und Durchlicht, Echtzeit-Autofokus
- Motorisierter x-y-Probenpositionierer, Verfahrenweg:  $100 \times 50 \text{ mm}^2$ , Standard-Schrittweite: 25 nm
- Höhe des Probenraums: 80 mm
- Zubehör: Hochtemperaturzelle bis  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$  (Linkam), Diamant-Stempelzelle bis 70 GPa und  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Jun.-Prof. Dr. Sindy Fuhrmann – Juniorprofessur Energie- und Rohstoffeffiziente Glastechnologie
- Geräteverantwortliche: M. Sc. Lena Bußmann



## Rasterelektronenmikroskop mit *Focused Ion Beam*

Prof. Dr. Christos G. Aneziris, Dr. Nora Brachhold

### Einsatzgebiet

Das Rasterelektronenmikroskop dient der chemischen und strukturellen Analyse von Werkstoffen. Der Fokus liegt vor allem auf Keramiken, metallokeramischen Verbundwerkstoffen und Metallen mit anorganisch-nichtmetallischen Einschlüssen. Das Gerät erlaubt mit Hilfe des Ionenstrahlschneidens (Focused Ion Beam – FIB) die Zielpreparation an unebenen Proben und die Herstellung von dünnen Proben (Lamellen) für Untersuchungen im Transmissionsmodus (z. B. Transmissionselektronenmikroskopie – TEM und *Scanning Transmission Electron Microscopy* – STEM).

Die Kombination von Analysen der Kristallstruktur und -orientierung mittels Rückstreuелеktronenbeugung (*Electron Back Scattering Diffraction* – EBSD) und Bestimmung der lokalen chemischen Zusammensetzung über energie-dispersive Röntgen-Spektroskopie (EDS) ermöglicht eine komplette Phasenanalyse im Untersuchungsbereich. An mittels FIB herauspräparierten dünnen Lamellen ist in STEM-Analysen eine räumliche Auflösung in der Größenordnung von 10 nm möglich.

Zusätzlich eignet sich das FIB/REM aufgrund seines Niedrigvakuummodus für die Analyse und Präparation von elektrisch nicht leitfähigen Proben, wie z. B. Keramiken, Gläsern oder nicht dotierten Halbleitern.

### Gerätespezifikationen

- REM-FIB-System mit Schottky-FE-Kathodensystem (Beschleunigungsspannung: 50 V bis 30 kV) und Galliumquelle (Beschleunigungsspannung: 500 V bis 30 kV)
- Detektoren: SE, BSE, EBSD, EDS, SI, In-Beam-SE/BSE
- Vergrößerung: ca. 2 – 500.000 ×
- Niedrigvakuummodus bis 500 Pa möglich
- Maximales Probengewicht: 8 kg
- Kammergröße: 34 × 32 × 31,5 cm<sup>3</sup>

### Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Christos G. Aneziris – Institut für Keramik, Feuerfest und Verbundwerkstoffe
- Geräteverantwortliche: Dr. Nora Brachhold



# Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse

Prof. Dr. Martin Gräbner, Dr. Marcus Schreiner,  
Dr. Anja Guhl



## Einsatzgebiet

Die wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WDRFA) dient der zerstörungsfreien Bestimmung anorganischer Elementgehalte im Haupt-, Neben- und Spurenbereich (ppm). Einsatzmöglichkeiten reichen vom schnellen qualitativen Scan bis hin zu langsameren quantitativen Messungen. Es ist ein weiter Bereich der Elemente des Periodensystems messbar. Die untere Ordnungszahlgrenze ist 11 (Natrium) – leichtere Elemente können physikalisch bedingt nicht bestimmt werden. Die Proben müssen als Schmelztablette oder feines Pulver ( $< 63 \mu\text{m}$ , besser  $< 10 \mu\text{m}$ ) präpariert werden. Auch die Messung von kleineren Objekten und Flüssigkeiten ist möglich. Korngrößen- und mineralogische Effekte begrenzen die Genauigkeit und Richtigkeit von Pulvermessungen. Für gute quantitative Ergebnisse sind je nach Matrix ab 0,5 g Probe ausreichend, semiquantitative Aussage für Kleinstmengen sind bereits ab 50 mg möglich. Aus den gemessenen Intensitäten werden die Massenanteile der Komponenten mittels Kalibriergeraden berechnet. Die Richtigkeit der Kalibrationen wurde in unabhängigen Ringversuchen bestätigt. Mit Hilfe von Referenzmaterialien können bestehende Kalibrationen angepasst und neue Kalibrierungsmodelle implementiert werden. Die Auswertung ist matrixabhängig. Nicht messbare leichte Elemente (z. B. CHNO) müssen extern bestimmt (z. B. organische Elementaranalyse) und/oder rechnerisch (Stöchiometrie) berücksichtigt werden. Das Gerät ist mit einem Satz von Beugungskristallen ausgestattet, der eine große Bandbreite an Probenarten ermöglicht (Aschen, Schlacken, Abfälle, Flüssigkeiten, Böden, Gesteine, Feuerfestmaterialien, Keramiken, Brennstoffe, Klärschlämme, Pasten, Biomassen, Kokse, Katalysatoren, Baustoffe usw.). RFA-Analysen im Allgemeinen werden nach DIN 51001 durchgeführt. Für die Herstellung und Messung von Schmelztabletten wird die DIN 51729-10 zugrunde gelegt.

## Gerätespezifikationen

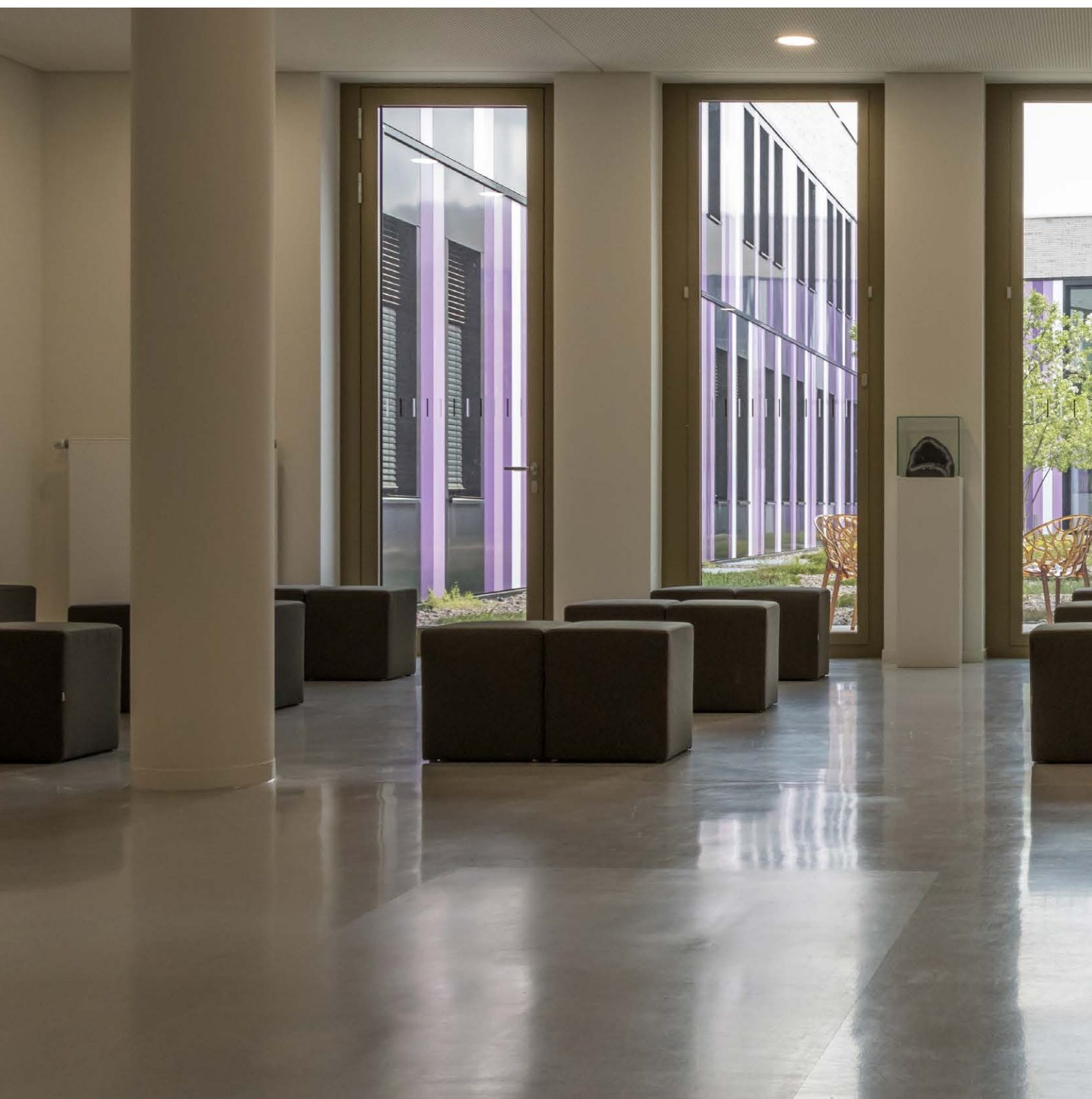
- Elementanalyse von Na bis U
- Konzentrationen: 100 % bis sub-ppm
- Genauigkeit: 0,05 % relativ (Herstellerangabe)
- Messmodi (Atmosphäre in der Probenkammer): Vakuum, separates Vakuum (Probenkammer vom Goniometer getrennt), Helium (etwas höheres Vakuum), atmosphärisches Helium (etwas niedrigeres Vakuum)
- Probendurchmesser: 8 mm, 34 mm
- Rh-Röhre mit 4 kW
- Szintillationszähler, Proportionalzähler
- Kühlung intern/extern

## Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Martin Gräbner – Professur für Energieverfahrenstechnik
- Geräteverantwortliche: Dr. Marcus Schreiner, Dr. Anja Guhl

# RINGVORLESUNG

---





**ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE  
HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG**



---

## LISTE DER VORTRÄGE

---

- 04.11.2021: **In-Situ-Resource-Utilisation (ISRU)-Technologies – Hochtemperatursysteme für Raumfahrtstechnologien**, Prof. Dr. Carsten Drebenstedt
- 11.11.2021: **Poröse Keramiken und chemische Wechselwirkungen für sauberen Stahl – Erwartungen und Grenzen**, Prof. Dr. Christos G. Aneziris, Dr. Undine Fischer
- 25.11.2021: **Stahldesign: Ein breites Spektrum**, Dr. Marco Wendler, Prof. Dr. Olena Volkova
- 02.12.2021: **Konzepte für eine nachhaltige Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoffwirtschaft**, Prof. Dr. Martin Gräbner, Dr. Roh Pin Lee, Prof. Dr. Bernd Meyer
- 09.12.2021: **Wege zur nachhaltigen Ressourcennutzung in der Bau- bzw. Zementindustrie**, Prof. Dr. Thomas Bier
- 16.12.2021: **Photoelektronenspektroskopie – Ein vielseitiges Werkzeug zur Untersuchung der elektronischen Struktur von verschiedenen Materialien**, Dr. Friedrich Roth, Prof. Dr. Serguei Molodtsov
- 13.01.2022: **Bioinspirierte anisotrope poröse Strukturen – Von Knochenmaterialien zu Katalysatorträgern**, Christine Hecker, Prof. Dr. Yvonne Joseph
- 20.01.2022: **Statische und dynamische Methoden der Hochdruck-Hochtemperatur-Synthese**, Dr. Marcus Schwarz
- 27.01.2022: **Neue High-Tec-Materialien durch Hochdruck-Hochtemperatur-Synthesen**, Dr. Kevin Keller
- 03.02.2022: **Die Rolle kontinuumsmechanischer Simulationen für die Entwicklung und Anwendung von Hochtemperaturwerkstoffen – Übersicht der verfügbaren Methoden und konkrete Anwendungen am Beispiel des Small Punch Tests**, Prof. Dr. Björn Kiefer, Dr. Martin Abendroth
- 10.02.2022: **Glas: Energie, Ressourcen und Umwelt**, Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann

# Poröse Keramiken und chemische Wechselwirkungen für sauberen Stahl – Erwartungen und Grenzen

Prof. Dr. Christos G. Aneziris, Dr. Undine Fischer



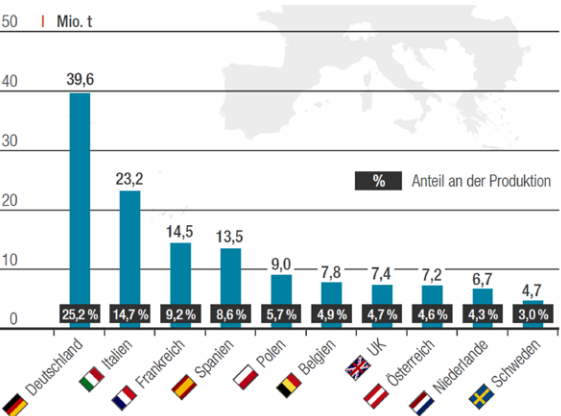
## Themenschwerpunkte

Im Rahmen der Ringvorlesung des ZeHS am 11. November 2021 stellte sich die Arbeitsgruppe des SFB 920 vor. Unter dem gewählten Titel „Poröse Keramiken und chemische Wechselwirkungen für sauberen Stahl – Erwartungen und Grenzen“ wurden sowohl zurückliegende Arbeiten als auch solche aus jüngerer Zeit insbesondere im Hinblick auf das Forschungszentrum diskutiert. Zusammen mit Hinweisen auf aktuelle Trends ergab sich, wie die anschließende Diskussion zeigte, ein interessantes Bild für Schnittmengen mehrerer Arbeitsgruppen unter dem Dach der Forschungsprogrammatische des ZeHS.

Die Forderung nach erhöhter Metallqualität und geringeren Ausschussraten seitens der Anwender und Weiterverarbeiter machen eine gleichmäßigere Einstellung der chemischen Zusammensetzung und eine verstärkte Kontrolle des Reinheitsgrades erforderlich. Die Vision dieses DFG-Sonderforschungsbereichs SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ ist die Einstellung exzellenter, an die Bauteilbeanspruchung angepasster funktionaler und adaptiver mechanischer Eigenschaften für einen Innovationsschub in Sicherheits- und Leichtbaukonstruktionen. Dieses Ziel soll mittels einer erheblichen Reduzierung von anorganischen nichtmetallischen Einschlüssen in der Metallmatrix beim Einsatz intelligenter Filterwerkstoffe bzw. Filtersysteme erreicht werden. Insbesondere in der dritten Förderperiode werden neuartige, kombinierte Reinigungsfiltersysteme erforscht. Die Metallschmelze kommt erst in Kontakt mit reaktiven Filtern, die *in situ* Gasblasen in der Metallschmelze generieren bzw. Gasblasen an den Einschlüssen aktivieren und zu einer Art

Flotation der Einschlüsse beitragen. Durch die hohe Reaktivität und aufgrund der Gasblasen wird die Agglomeration der feinen Einschlüsse gefördert, so dass sich die größeren Cluster von Einschlüssen entweder durch Auftriebskräfte in Richtung Schlackenoberfläche der Schmelze bewegen oder an aktiven, nicht gasbildenden, aktiven Filtern mit funktionalisierten Filteroberflächen – mit ähnlicher Chemie wie die der Einschlüsse – durch Filtrationsprozesse entfernen lassen. Damit kann eine hohe Reinigungseffizienz größer 95% erreicht werden. Die Modellierungsansätze konzentrieren sich einerseits in den Beiträgen der Gasblasen zur Flotation und die *In-situ*-Bildung von Reaktionsschichten an denen Einschlüsse gezielt haften; andererseits werden Geometrien berechnet, die zu einem 3D-Druck von funktionalisierten Filterstrukturen in Kombination mit einer roboterunterstützten Flammsspritzendbeschichtung beitragen.

Die Erforschung neuartiger Filterwerkstoffe sowie ein an die Filtrationstechnik angelehntes modellunterstütztes Filterdesign der Mikro- und Makrostruktur ermöglichen die Herstellung von dünn- als auch dickwandigen, höchstbeanspruchbaren Komponenten auf Basis Stahl, Eisen, Aluminium und Magnesium mit bahnbrechenden Eigenschaften – Festigkeit, Zähigkeit, Ermüdungsresistenz – für die Sicherheit der Insassen von Kraft-, Schienen- und Luftfahrzeugen. Darüber hinaus werden zukunftssträchtige Anwendungsfelder in der Elektronikindustrie am Beispiel Filtration von Kupfer und Silizium, in der Verpackungsindustrie am Beispiel Aluminiumfolien und in der Filtrationstechnik und Konditionierung von Behandlungsschlacken erschlossen. Das Ziel einer höheren Materialeffizienz sowie der Reduktion des Energieaufwandes und der CO<sub>2</sub>-Emissionen rückt damit in greifbare Nähe.



## Stahldesign – Ein breites Spektrum

Dr. Marco Wendler, Prof. Dr. Olena Volkova

### Themenschwerpunkte

Im Rahmen der Ringvorlesung des ZeHS am 25.11.2021 wurde auf die Bedeutung des Werkstoffs Stahl weltweit sowie im europäischen Raum und insbesondere am Standort Deutschland eingegangen. Dabei wurden die konventionellen Erzeugungsrouten vom Eisenerz zum Halbzeug dargestellt. Die aktuellen länderspezifischen Produktionsmengen und der branchenspezifische Stahlbedarf waren ebenfalls Inhalt der Ringvorlesung. Im Jahr 2019 wurden 1.869 Millionen Tonnen Rohstahl erzeugt, das entspricht in etwa einer Verdopplung der Produktionsmenge in Bezug zum Jahr 2002. Der kontinuierliche Anstieg der Rohstahlerzeugung ist vor allem auf den immensen Stahlbedarf Chinas zurückzuführen. Im Jahr 2020 produzierte China 1.053 Mio. t Rohstahl und damit mehr als 50 % der weltweiten Produktionsmenge.

Deutschland nimmt bei der Stahlerzeugung im weltweiten Vergleich Platz 7 ein. Im EU-Vergleich belegt Deutschland mit einer Produktionsmenge von 39,6 Mio. t Rohstahl Platz 1 und stellt damit rund 25 % des Stahls der EU her.

Darüber hinaus wurde der branchenspezifische Stahlbedarf in Deutschland thematisiert. Dabei entfallen 35 % auf den Bausektor, 26 % auf den Automobilbau, 12 % auf Metallwaren und 11 % auf den Maschinenbau sowie 9 % auf die Rohrherstellung. Haushaltswaren nehmen hier 2 % ein und 5 % sonstige Erzeugnisse. Weltweit werden fast 2500 verschiedene spezialisierte Stahlsorten hergestellt, die durch ihre chemische Zusammensetzung und eine maßgeschneiderte Herstellungstechnologie die für

die Anwendung erforderlichen Eigenschaften erhalten. Im Rahmen der Vorlesung wurde auf die Stahlanwendung im Automobilbau, speziell im Karosseriebau eingegangen. Zur Reduzierung des Fahrzeugverbrauchs und damit des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes werden große Anstrengungen im Bereich des Leichtbaus unternommen. Ziel ist es dabei, Stähle zu erforschen und herzustellen, die eine sehr hohe Festigkeit bei guter Verformbarkeit besitzen.

Die *Advanced High Strength Steels* (AHSSs) erfüllen diese Anforderungen und unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 799 konnten Stähle erzeugt werden, die die Anforderungen der 3. Generation AHSS erfüllen. Mit Hilfe des *Quenching*- und *Partitioning*-Verfahrens konnte beispielsweise eine Dehngrenze von über 1 GPa, eine Zugfestigkeit von 1,5 GPa und eine Verformbarkeit von über 20 % bei Raumtemperatur erreicht werden.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Stahlindustrie in Deutschland befindet sich derzeit im Umbruch, hin zu einer klimaneutralen Stahlproduktion durch Wasserstoffeinsatz. Dafür werden qualifizierte, gut ausgebildete Stahltechnologinnen und Stahltechnologen benötigt, welche am Institut für Eisen- und Stahltechnologie (IEST) gezielt für die zukünftigen Herausforderungen der Branche vorbereitet werden. Die exzellente Forschungsinfrastruktur am IEST und am ZeHS tragen zu einem fundierten Verständnis der Prozesse bei der Eisen- und Stahlherstellung bei.



# Konzepte für eine nachhaltige Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoffwirtschaft

Prof. Dr. Martin Gräbner, Dr. Roh Pin Lee,  
Prof. Dr. Bernd Meyer



## Themenschwerpunkte

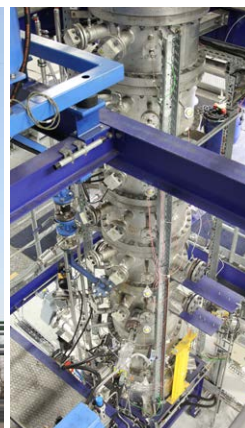
Die Vorlesung gibt Einblicke in Transformationsoptionen für die chemische Industrie durch die Nutzung von Abfall als alternativer sekundärer Kohlenstoff-Rohstoff für das chemische Recycling, sowie die Produktion von grünem Wasserstoff und CO<sub>2</sub>-neutralen Flüssigbrennstoffen aus Abfall. Dabei steht das e-CH<sub>2</sub>T-Forschungskonzept „Elektrifizierung von Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Technologien“ im Fokus, um die Transformation zu einer nachhaltigen Wirtschaft voranzubringen.

## Einbindung in aktuelle Vorhaben am ZeHS

Die Schnittstellen der Analyse- und Anlagentechnik am IEC und den neu aufgebauten Testständen am ZeHS ermöglichen eine Bearbeitung von aktuellen Forschungsfragen. Besonders der Mikrowellenteststand zur plasmagestützten Vergasung, welcher für das chemische Recycling von Abfällen vorgesehen ist, und der Reforming-Teststand zur Wasserstoffherzeugung erweitern die Forschungsmöglichkeiten.

## Einladung zur Kooperation

Insbesondere zur gemeinsamen Nutzung vorhandener Infrastruktur und zur Erschließung weiterer Synergien zur Thematik Stromeinkopplung durch Plasma in Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Technologien sind Interessierte herzlich eingeladen. Des Weiteren leitet das IEC das Netzwerk für Kohlenstoffkreislaufwirtschaft (NK2), welches eine Sektor-übergreifende Plattform zum gegenseitigen Austausch für beteiligte Partner aus den Bereichen Chemie, Anlagen, Abfall, Energie, Analytik und Forschung bietet, um im Austausch Themen zur Kohlenstoffkreislaufwirtschaft voranzutreiben.





# Wege zur nachhaltigen Ressourcennutzung in der Bau- bzw. Zementindustrie

Prof. Dr. Thomas A. Bier

## Themenschwerpunkte

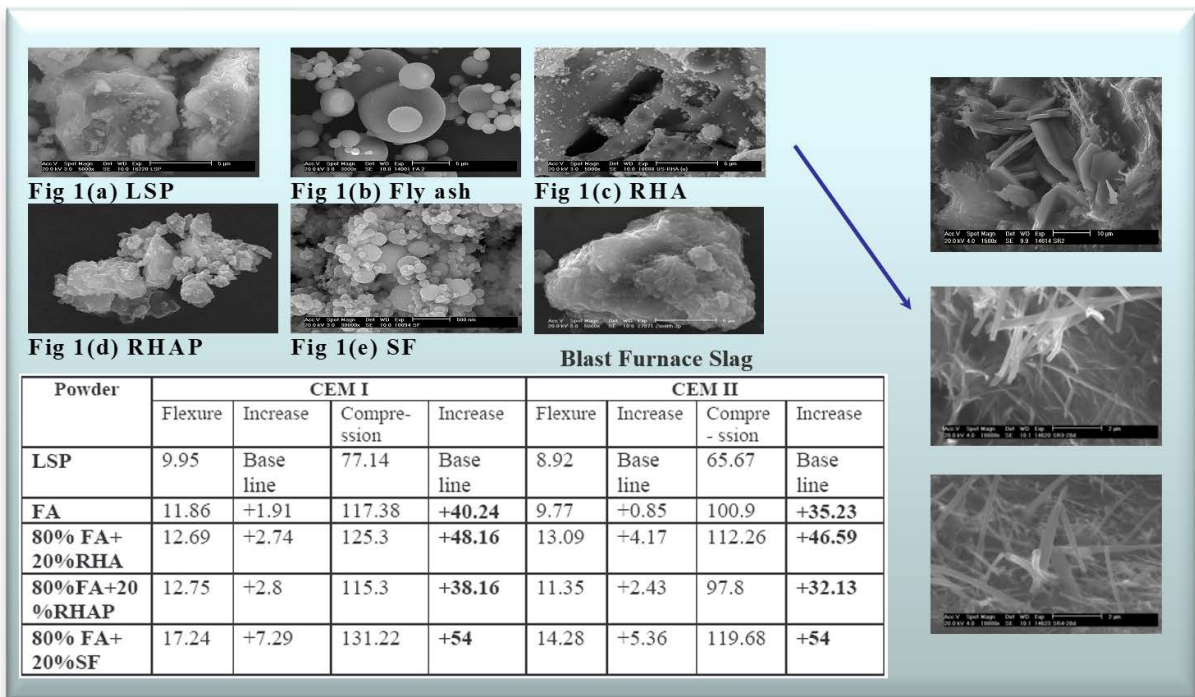
Im Rahmen der Ringvorlesung des ZeHS stellte sich die Arbeitsgruppe „Bauchemie und Bauverbundwerkstoffe“ mit einem Übersichtsvortrag vor. Unter dem gewählten Titel „Wege zur nachhaltigen Ressourcennutzung in der Bau- bzw. Zementindustrie“ wurden die wichtigsten, aktuell praktizierten Ansätze zur Schonung natürlicher Ressourcen durch eine Einbindung von anthropogenen Rohstoffen in den Kreislauf dargestellt. Darüber hinaus wurden Wege aufgezeigt, wie der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck reduziert werden kann. Zusammen mit Hinweisen auf aktuelle Trends ergab sich, wie die anschließende Diskussion zeigte, ein interessantes Bild für Schnittmengen mehrerer Arbeitsgruppen unter dem Dach der Forschungsprogrammatrik des ZeHS.

## Einbindung in aktuelle Vorhaben am ZeHS

Im Augenblick gibt es Verbindungen unserer aktuellen F&E-Arbeiten zu den Arbeitsgruppen von Prof. Charitos, Prof. Plamper und Prof. Aneziris.

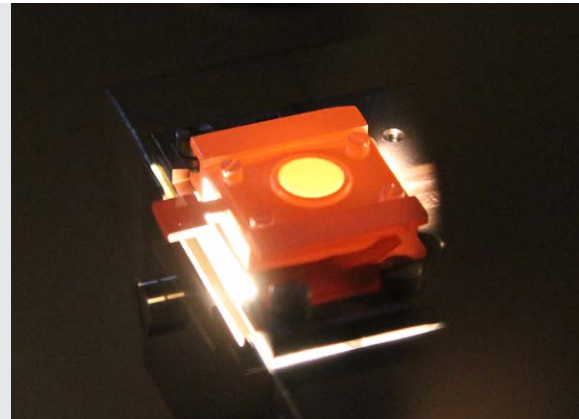
## Einladung zur Kooperation

Insbesondere zur gemeinsamen Nutzung vorhandener Infrastruktur zur Charakterisierung poröser Materialien mit Sorptionsmethoden möchten wir einladen.



# Photoelektronenspektroskopie – Ein vielseitiges Werkzeug zur Untersuchung der elektronischen Struktur von Materialien

Dr. Friedrich Roth, Prof. Dr. Serguei Molodtsov



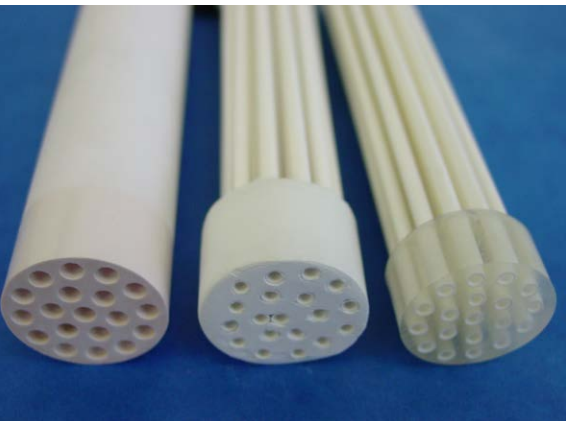
## Themenschwerpunkte

Im Rahmen der Ringvorlesung des ZeHS stellte sich die Arbeitsgruppe Molodtsov am 16.12.2022 vor. Unter dem Titel „Photoelektronenspektroskopie – Ein vielseitiges Werkzeug zur Untersuchung der elektronischen Struktur von verschiedenen Materialien“ wurden sowohl ein allgemeiner Überblick über die spektroskopischen Möglichkeiten in Zusammenhang mit Photoelektronen gegeben sowie im zweiten Teil der Vorlesung aktuelle Forschungsprojekte der Arbeitsgruppe vorgestellt. Vor allem die Weiterentwicklung der Messmethode hin zu zeitaufgelösten Messungen unter Nutzung von neuartigen Röntgenstrahlungsquellen, wie zum Beispiel Synchrotron-Strahlungsquellen sowie Freie-Elektronen-Laser, wurde erläutert.

Der Fokus der Forschungsprojekte der Arbeitsgruppe liegt dabei auf der Untersuchung von verschiedensten lichtinduzierten Ladungstransferprozessen auf sehr kurzen Zeitskalen (100 fs – 10 ps). Zudem wurde das neue Hochtemperatur-Photoemissionsspektrometer (HT-PES) vorgestellt, welches im Jahr 2021 im ZeHS installiert und in Betrieb genommen wurde. Dieses neue Großgerät wird die bereits an der TU Bergakademie Freiberg vorhandenen spektroskopischen Möglichkeiten erweitern und zur Bündelung von vorhandenen Kompetenzen sowie instituts- und fakultätsübergreifenden Kooperationen genutzt werden. Der Fokus wird dabei zum einen auf Probencharakterisierungen mittels XPS (auch bei hohen Temperaturen) und zum anderen auf Untersuchungen der elektronischen Eigenschaften im Valenzbandbereich mittel UV-Photoelektronen-Spektroskopie (UPS) liegen. Des Weiteren wird mit dem neuen Spektrometer auch winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie möglich sein, um zum Beispiel etwas über die Bandstruktur der untersuchten Materialien herauszufinden.

## Einladung zur Kooperation

Insbesondere zur gemeinsamen Nutzung vorhandener Infrastruktur, vor allem vor dem Hintergrund der Probencharakterisierung in Freiberg sowie der gemeinsamen Nutzung von Großforschungseinrichtungen wie BESSY II, Petra III sowie FLASH und *European XFEL* und der Erschließung weiterer Synergien zur Thematik (zeitaufgelöste) Photoemission sind Interessierte herzlich eingeladen.



## Bioinspirierte anisotrope poröse Strukturen – Von Knochenersatzmaterialien zu Katalysatorträgern

Christine Hecker, Prof. Dr. Yvonne Joseph

### Themenschwerpunkt

Die Natur inspiriert Forscher und Entwickler seit jeher dazu, Materialien zu entwickeln, die äußerst effizient hinsichtlich biologischer, chemischer, physikalischer und energetischer Eigenschaften sind. Ein derartiges Beispiel dafür ist das am IESM durchgeführte AIF-Forschungsvorhaben „Biokeramik“ (Projekt-Nr. 20610-BR-1). In diesem wird ein neuartig strukturiertes Knochenersatzmaterial nach dem Vorbild der anisotropen Struktur des natürlichen Knochens entwickelt. Grundlage der Herstellungstechnologie bilden als Ausgangsmaterial Cellulose-Calciumphosphat-Hohlfaser-Bündel, hergestellt mittels Alceru®-Verfahren vom Projektpartner TITK-Rudolstadt und gebündelt durch den Projektpartner STFI-Chemnitz mittels Kemafilstechnologie.

Calciumphosphat in Form von Hydroxylapatit stellt den natürlichen, mineralischen Bestandteil des Knochens dar. Am IESM werden die Materialien und Technologien zur Infiltration der Faserverbünde und Sinterung zu variabel einsetzbaren Knochenersatzmaterialien entwickelt. Während des Sinterprozesses erfolgt die Pyrolyse der Cellulosebestandteile, wodurch die Knochenersatzmaterialien eine interkonnektierende Porosität erhalten, welche für den Stoffaustausch im Körper bedeutsam ist. Bei einer Temperatur von 1100 bis 1250°C findet die Ausbildung eines festen Faserverbundes statt. Die biologischen Testergebnisse, durchgeführt durch den Projektpartner TU Dresden, Zentrum für Translationale Knochengelenk- und Weichgewebeforschung, zeigten eine hohe Biokompatibilität und einen positiven Einfluss der Materialien auf die Zellteilung knochenbildender Zellen.

Mit der in Entwicklung befindlichen Technologie lassen sich kostengünstig monolithische Strukturen im mm- bis cm-Bereich, als auch perspektivisch in einer Länge von bis

zu einem Meter herstellen. Die Porosität der Strukturen kann sowohl über die Auswahl der Fasern (Innendurchmesser 50–300 µm), die Beschichtungstechnologien und den Sinterprozess eingestellt werden. Die Porosität kann bis zu 70% betragen.

Diese neuartige Technologie könnte auch für die Herstellung von Katalysatoren geeignet sein. Unter Nutzung der porösen Probekörper als Membran in Verbindung mit einer katalytischen Eigenschaft ist auch eine Verwendung als Membranreaktor denkbar. In beiden Fällen kann das Material selbst katalytisch wirken oder aber die Strukturen dienen als Katalysatorträger.

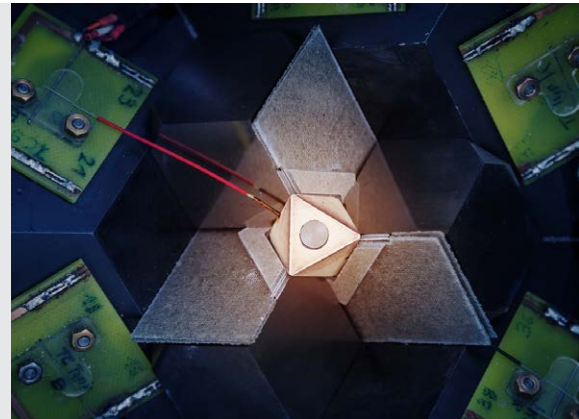
Für die Funktionalisierung der Oberflächen können beispielsweise Zeolithe genannt werden, wofür am ESM in vorangegangenen Projekten bereits keimgestützte, hydrothermale Synthesen entwickelt wurden. Calciumphosphate wie Hydroxylapatit können aber auch selbst als Katalysator eingesetzt werden. Eine zusätzliche Funktionalisierung über Dotierung ist dabei ebenso möglich, wie auch eine elektrothermische Aktivierung. Permanent polarisierter Hydroxylapatit wird als möglicher Katalysator zur Bildung von Ethanol aus Methan und Kohlendioxid beschrieben.

Als Katalysatorträger finden neben monolithischen auch schwammartige Strukturen ihre Anwendung. Wieder war die Natur Vorbild, denn schwammartige Strukturen sind äußerst material- und damit energiesparend und können strömungs- und bruchmechanische Vorteile bieten. Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen und die Nutzung der Natur mit ihren Strukturen als Vorbild hat daher für die Entwicklung neuartiger Materialien am IESM eine immer größere Bedeutung, dem auch mit dem Studiengang Nanotechnologie Rechnung getragen wird.



# Statische und dynamische Methoden der Hochdruck-Hochtemperatur-Synthese

Dr. Marcus Schwarz



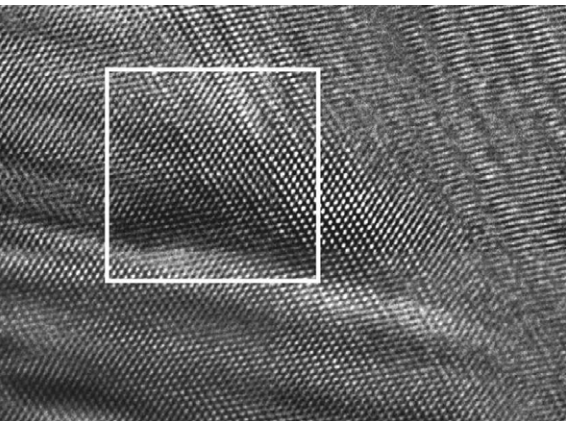
## Themenschwerpunkt

Allgemein bewirkt die Einwirkung hoher Drücke auf ein Material eine Steigerung der Packungsdichte und des Kondensationsgrades, während die Anwendung hoher Temperaturen alleine zu einer sukzessiven Verringerung des Kondensationsgrades, vom Festkörper zur Flüssigkeit bis hin zum Gas und zum Plasma führt. Daher ist die simultane Anwendung hoher Drücke und Temperaturen in Bezug auf die Stoffwandlung, welcher sich das ZeHS verschrieben hat, vor allem in Hinsicht auf Festkörpermateriale interessant.

Die am 20.01.2022 gehaltene Vorlesung „Statische und dynamische Methoden der HPHT-Synthese“ beschäftigte sich mit Techniken zur Erzeugung von Drücken wie sie im oberen Erdmantel bis in Tiefen von etwa 600 km (ca. 20 GPa = 200.000 bar) anzutreffen sind. Dieser Bereich ist für die grundlagenorientierten Disziplinen der Geowissenschaften, der Festkörperchemie und -physik, aber auch technologisch besonders interessant. Hier reicht einerseits der Druck bereits aus, um Festkörpermateriale unter Änderung der Koordination ihrer Atome in eine höhere Packungsdichte zu zwingen und damit z. T. völlig andere Eigenschaften hervorzurufen (Paradebeispiel: Graphit – Diamant). Auch können Reaktionsgleichgewichte, an denen flüchtige Gase beteiligt sind, signifikant verschoben werden. Durch hohe Sauerstoff- oder Stickstoffüberdrücke können z. B. Oxide und Nitride von Übergangsmetallen in höheren Oxidationsstufen erhalten werden, als dies bei Normaldrucksynthesen möglich ist. Ein anderes Beispiel ist Calciumcarbonat (Kalkstein)  $\text{CaCO}_3$ . Unter HPHT-Bedingungen wird die Zersetzung in  $\text{CaO}$  und  $\text{CO}_2$  unterdrückt und es bildet sich eine ionische, äußerst dünnflüssige Schmelze, die ein Lösungsmittel für Kohlenstoff darstellt.  $\text{CaCO}_3$  eignet sich damit z. B. für das Sintern von Diamantpulvern in superharte polykristalline Aggregate.

Andererseits liegen die in diesen immer noch vergleichsweise gemäßigten Regime realisierbaren Probedimensionen und -mengen im Bereich von ein- bis mehrerer Millimeter, in kommerziellen Anlagen sogar mehrere Zentimeter. Dies ermöglicht eine industrielle Erzeugung technologisch hochrelevanter Materialien. Insbesondere Superhartstoffe wie Diamant und kubisches Bornitrid (cBN) werden bereits seit Jahrzehnten so hergestellt. In Bezug auf die Erforschung neuer Materialien können mit den so genannten *Large Volume Presses* (LVP, Multianvil- und Toroid) ausreichend große Probenmengen hergestellt werden, um diese nach Beendigung der Synthese einer umfangreichen strukturellen Charakterisierung und Eigenschaftsmessungen zu unterziehen. Voraussetzung hierfür ist deren Metastabilität, d. h. dass die erzeugte Hochdruckform sich während der Dekompression nicht wieder rückumwandelt oder zersetzt.

Sowohl bei den LVPs als auch bei den Schockwellen hat das Freiburger Hochdruckforschungszentrum (FHP) neben der Erforschung neuer Materialien, auf die in der Nachfolgenden Vorlesung von Dr. Kevin Keller genauer eingegangen wird, zahlreiche methodische Entwicklungen gemacht. Bei den Schockversuchen sind dies vor allem die impedanzkorrigierten Probencontainer, aus denen Materialien selbst nach Schocks im Megabar-Bereich mit nahezu 0 % Ausfallquote zurückerhalten werden können. Für die Multianvil-Technik wurden z. B. elektrische Widerstandsmessungen mit mehreren Messkreisen in einer Hochdruckzelle realisiert sowie präkursorkeramische TiC-SiC-Widerstandsheizelemente, röntgentransparente und amorphe Fenster- und Hochdruckdichtungsmaterialien entwickelt. Letztere sind für die *In-situ*-HPHT-Röntgendiffraktometrie an LVPs an Synchrotron-Einrichtungen sehr interessant und wurden erfolgreich in Versuchen am DESY und am ESRF eingesetzt.



## Neue *High-Tec*-Materialien durch Hochdruck-Hochtemperatur-Synthesen

Dr. Kevin Keller

### Themenschwerpunkt

Die Vorlesung zu neuen *High-Tec*-Materialien kann als direkte Fortsetzung der Vorlesung von Dr. Marcus Schwarz verstanden werden. Hier wurden nun schwerpunktmäßig die Materialien und Materialklassen vorgestellt, an denen die Wissenschaftler des FHP seit vielen Jahren forschen sowie auch aktuelle Forschungsprojekte und -ergebnisse präsentiert. Das Kohlenstoffsystem mit der wohl bekanntesten Hochdruckphase – Diamant – wurde beleuchtet und dabei u. a. die Schockwellensynthese im Freiburger Schockwellenlabor sowie im Industriemaßstab vorgestellt.

Ein ebenso wichtiges Material ist das zum Kohlenstoff isoelektronische Bornitrid mit den beiden Hochdruckphasen cBN und wBN. Hartstoffe auf cBN-Basis sind für die Materialbearbeitung von sehr hoher Bedeutung. Neben den klassischen pcBN-Werkstoffen, für die im Rahmen eines EU-Projekts neue Bindersysteme entwickelt wurden, können auch binderlose Nanokomposite unter HP/HT hergestellt werden. Diese zeigen extrem hohe Härten (bis über 100 GPa) und können aufgrund ihres nanostrukturierten Gefüges potentiell als neuer Werkstoff für die Ultrapräzisionszerspannung eingesetzt werden. In einem AiF-Projekt wurde die Werkzeugherstellung demonstriert und auch in der laufenden Nachwuchsforschergruppe N3V werden weitere Bornitrid-Komposite entwickelt und getestet.

Weitere sehr interessante Materialien finden sich im quaternären Si-Al-O-N-System inkl. der binären (Si-N, Al-N) und ternären Subsysteme (Si-O-N, Al-O-N). Mit diesen Materialien beschäftigen sich die Arbeitsgruppen von Prof. Kroke und Prof. Heide seit vielen Jahren im Rahmen einiger Forschungsprojekte und Verbundvorhaben. Die Hochdruckphasen  $\gamma$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\gamma$ -SiAlON und rs-AlN zeigen neben einer beachtlichen Härte (bis ca. 35 GPa) hervorragende Temperatur- und chemische Beständigkeit. Der

Einsatz in Hartstoffkompositen, aber auch für optoelektronische Anwendungen und in der Leistungselektronik ( $\gamma$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\gamma$ -Ge<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\gamma$ -Sn<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, rs-AlN) sind denkbar und können zu besonderen Vorteilen gegenüber den bisher eingesetzten Materialien führen. In der noch bis 2025 laufenden Nachwuchsforschergruppe N3V werden Komposite in diesem Materialsystem hergestellt und daraus hergestellte Werkzeuge getestet.

### Möglichkeiten zur Kooperation

Im ZeHS wird das FHP eine weitere 800 Tonnen-Hochdruckpresse mit Multi-Anvil-Modul in Betrieb nehmen. Durch eine elektrische Probenheizung können die unter Hochdruck befindlichen Probenmaterialien für mehrere Stunden auf Temperaturen bis 1600°C, kurzzeitig bis über 2700°C aufgeheizt werden. Es können sowohl Festkörpermateriale, wie auch in Edel- oder Refraktärmetallkapseln eingeschlossene Fluide oder Reaktionsmischungen komprimiert werden. Die Probengröße beträgt bis zu mehreren Millimetern. Neben der Temperaturmessung mit Thermoelementen werden auch elektrische Widerstandsmessungen unter Hochdruck- und Hochdruck-Hochtemperaturbedingungen möglich sein. Eine weitere Hochdruckvorrichtung ist eine mit Gasen und Flüssigkeiten beladbare Hochdruckzelle bis 3000 bar für Raman-spektroskopische Untersuchungen. Raman-spektroskopie und andere optische Messungen bei noch höheren Drücken werden in den von Frau Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann beschafften Diamantstempelzelle (DAC) möglich sein.

Das FHP steht Vorschlägen zur Durchführung von Hochdruckexperimenten von und mit anderen Forschern und Gruppen der TU Bergakademie Freiberg, insbesondere zur Vorbereitung gemeinschaftlicher Projekte offen gegenüber.

# Kontinuumsmechanische Simulationen für die Entwicklung und Anwendung von Hochtemperaturwerkstoffen

Prof. Dr. Björn Kiefer, Dr. Martin Abendroth



## Themenschwerpunkte

Im Rahmen der Ringvorlesung des ZeHS am 3. Februar 2022 stellte sich die Arbeitsgruppe von Prof. Kiefer vor. Hierbei standen Forschungsarbeiten aus den Gebieten der Material- und Strukturmodellierung sowie der experimentellen Werkstoffcharakterisierung im Fokus, die einen besonderen Bezug zum ZeHS haben. Die anschließende Diskussion belegte, dass hier Querschnittsthemen angesprochen wurden, die auf ein breites Interesse stoßen und daher im Bereich der Hochtemperatur-Materialforschung viel Potential für gemeinsame Vorhaben unter dem Dach des ZeHS, als fakultätsübergreifendem Forschungszentrum, bieten.

Um dem breitgestreuten fachlichen Hintergrund des Publikums Rechnung zu tragen, stellte Prof. Kiefer zunächst einige grundlegende Konzepte vor, mit Hilfe derer *State-of-the-art*-Simulationsmethoden der Festkörpermechanik zur Erforschung von Hochtemperaturwerkstoffen und -prozessen beitragen können. Es wurde z. B. das Konzept des „virtuellen Labors“ diskutiert, mit dem sich Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Werkstoffen schon vor deren Herstellung vorhersagen und somit gezielt beeinflussen lassen. Die Basis hierzu bilden Methoden der Mehrskalen-Simulation sowie die Modellierung multiphysikalischer Phänomene – beispielsweise in der Thermo-Chemo-Mechanik.

Dr. Abendroth nutzte den zweiten Teil der Vorlesung, um einige Methoden der Materialcharakterisierung an Kleinstproben, z. B. den *Small-Punch-Test*, genauer vorzustellen. Diese experimentellen Daten bilden die Grundlage für die Konzeption von Werkstoffmodellen sowie deren Kalibrierung über eine optimierungsbasierte Parameteridentifikation. Zudem werden sie zur Validierung der Modelle benötigt, d. h. dem Vergleich von Simulations- und experimentellen Daten, aus denen keine Informationen in

die Kalibrierung eingeflossen waren. Es wurde aufgezeigt, dass vorhersagegenaue Modelle eine besondere Bedeutung haben, bei Fragestellungen zu deren Beantwortung Experimente nicht oder nicht in ausreichender Anzahl durchgeführt werden können.

## Einbindung in aktuelle Vorhaben am ZeHS

Die Professur für Technische Mechanik – Festkörpermechanik betreibt im ZeHS aktuell bereits ein Materialcharakterisierungslabor, ein weiteres wird in Kürze bezogen. Hier werden vor allem experimentelle Arbeiten zur Hochtemperatur-Kleinstprobenprüftechnik durchgeführt. Im Rahmen eines BMWi/BMWK-geförderten Projektes werden beispielsweise die Eigenschaften moderner Reaktorwerkstoffe charakterisiert. Bei Versuchen im Kontext des DFG-SFB 920 geht es um die Bestimmung von Festigkeit, bruch- und schädigungsmechanischen Eigenschaften der dort erforschten Filterwerkstoffe. Ein bedeutender Teil der zukünftigen Arbeiten wird im Projekt „HTEL-Module – Ready for Gigawatt“ erfolgen. Dieses seit 2021 im BMBF-Wasserstoff-Leitprojekt „H2Giga“ geförderte Vorhaben leistet einen Beitrag zur Realisierung einer neuen Generation von Hochtemperaturelektrolyse-Modulen für eine kosteneffiziente Produktion grünen Wasserstoffes. Die AG Kiefer unterstützt den Entwicklungsprozess, insbesondere die Identifikation geeigneter Werkstoffe und Konstruktionskonzepte, durch experimentelle, theoretische und numerische Arbeiten.

## Einladung zur Kooperation

Für eine Zusammenarbeit nehmen Sie gern über die von Herrn Dr. Abendroth geleitete Koordinationsstelle „Material-, Bauteil- und Prozesssimulation“ Kontakt auf.



## Glas: Energie, Ressourcen und Umwelt

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann

### Themenschwerpunkte

Im Rahmen der Ringvorlesung des ZeHS am 10.02.2022 führte Jun.-Prof. Fuhrmann in die Glasherstellung ein. Dabei wurden entsprechend dem Flussbild der klassischen Glasherstellung aus der Schmelze die einzelnen Prozessschritte im Stand der Technik angeschaut. Das Schmelzen wurde hinsichtlich Wärme- und Energiebilanzierung sowie den aktuell genutzten Energieträgern diskutiert. Die Formgebung und teilweise Weiterverarbeitung wurde anhand von Flachglas in der Architektur, bzw. Transport, Glasfasern und Glasverpackungen gezeigt. Final wurden die Kreislaufführung, das Scherbenrecycling, der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und die aktuellen Herausforderungen der Glasindustrie angesprochen.

### Einbindung in aktuelle Vorhaben am ZeHS

Das Ziel der Glasindustrie bis spätestens 2050 emissionsneutral zu arbeiten ist ambitioniert. Es erfordert grundlegende, synergetische Forschung auf allen Gebieten der in der Glasherstellung involvierten Prozesse, Technologien und Materialien. Das fachübergreifende, vernetzende Umfeld des ZeHS ist idealer Ausgangspunkt für kooperative Forschungsvorhaben.

### Einladung zur Kooperation

Forschung muss die Industrie in der Transformation unterstützen. Die Senkung von Emissionen der Glasindustrie und damit das *Embodied Carbon* bzw. der *Embodied Energy* ist eine komplexe Aufgabe, die die Arbeitsfelder vieler Disziplinen umfasst. Insbesondere zur gemeinsamen Nutzung vorhandener Infrastruktur und der Erschließung weiterer Synergien zur Thematik sind Interessierte herzlich eingeladen.







# LEHRE

---







**ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE  
HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG**





## ZeHS-Promovierendenkolloquium

Dr. Matthias Zschornak

### Hintergrund und Fokus

Eine maßgebliche Aufgabenstellung des ZeHS besteht in der Ablösung fossiler Energieträger für die Bereitstellung von Aktivierungsenergie und Prozesswärme. Damit ist die Forderung nach neuen technologischen Strategien und Materialien verbunden, die elektrischen Strom als Energiequelle vorsehen. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen erfordert im besten Falle einen zeitlich flexiblen Einsatz im Rahmen angepasster Stromtarife bzw. des tagesaktuellen Preises an der Energiebörse. Zugleich werden bei der diesbezüglich möglichen Bilanzierung auch neue Prozesswege wirtschaftlich.

Eine angepasste Führung von Syntheserouten kann materialwissenschaftlich beispielsweise auf die Entwicklung und Optimierung neuartiger Hochtemperatur-Stoffsysteme für Funktionsschichten fokussieren. Die für die HT-Synthese spezifischen und teils extremen Prozessbedingungen – nicht nur hinsichtlich hoher Temperaturen – stellen fundamentale Herausforderungen an die Materialstabilität.

### Plattform für Promovierende

Nach der erfolgreichen Etablierung einer Ringvorlesung des ZeHS, in der Mitglieder ihre Forschungsthemen vorstellen, sollen nun auch die Promovierenden eine Plattform erhalten. Der ca. 100 Hörer fassende Vortragssaal des ZeHS bietet eine ideale Gelegenheit, sich durch Vorträge zu laufenden Arbeiten (auch ohne großen Vorbereitungsanfang) gegenseitig zu informieren, kennenzulernen und so Kooperationen zu begründen und zu vertiefen. Unterstützt wird das Format durch Dr. Matthias Zschornak, der sich bereits in verschiedene Kooperationen des ZeHS hausintern und insbesondere mit Großforschungseinrichtungen einbringt, z. B. bei den Initiativen zur Vorbereitung eines Verbundprojekts zu Funktionschichten und zur Sachsen-DESY-Kooperation.

Integriert werden soll so auch ein Treffen der *Young Crystallographers* der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie, um das Format gemeinsam aus den beteiligten interdisziplinären Fachrichtungen zu entwickeln. Wir zielen ausdrücklich darauf ab, untereinander neugierig und ungezwungen (durchaus auch vorläufige Ergebnisse) diskutieren zu können. Es wäre gut, wenn die betreuenden Professorinnen und Professoren ihre Promovierenden für diese Zeit freistellen würden. Dem Angebot folgt zeitlich die Ringvorlesung des ZeHS. Möglicherweise bietet sich auch im Anschluss noch Gelegenheit für einen inspirierenden thematischen Ausklang im schönen Gebäude oder Innenhof des Zentrums.





**Richard Schirmer präsentiert die Ergebnisse seiner Forschungsarbeit.**

Das Promovierendenforum am ZeHS bieten dem wissenschaftlichen Nachwuchs die Möglichkeit Forschungsergebnisse zu präsentieren und zu diskutieren.

**Laborführung im ZeHS während des Promovierendenforums**

Weiterhin werden Führungen durch die Labore und Vorstellungen der jeweiligen Messmethoden angeboten.



**Max Stöber stellt den anderen Promovierenden die R2R-Bandanlage vor.**

Das Forum ist für die Promovierenden eine perfekte Gelegenheit sich untereinander auszutauschen sowie neue Methode oder alternative Lösungsansätze für die eigene Arbeit kennenzulernen.





## Demonstrationslabor zu Festelektrolyt- und Halbleiter-Gassensoren

Dr. Pal Arki, Uwe Sczech, Prof. Dr. Yvonne Joseph

### Hochtemperatur-Gassensorik

Das Institut für Elektronik- und Sensormaterialien betreut zwei Sensormessplätze im Demonstrationslabor EG.301. Es werden die Funktionsweisen von zwei Typen von Gassensoren für die Besucher des Labors demonstriert. Die angewendeten keramischen und halbleitenden Sensormaterialien entfalten ihre Sensibilität erst bei höheren Temperaturen. Sie basieren aber auf unterschiedlichen Sensorprinzipien und Messeffekten der sensitiven Materialien. Die Messplätze werden weiterhin für Praktika im Rahmen des Moduls „Chemische Sensoren und Aktoren“ genutzt.

### Festelektrolyt- Gassensoren

Yttriumdotiertes (stabilisiertes) Zirkoniumdioxid (YSZ) wird als sauerstoffionenleitender Festkörperelektrolyt für die potentiometrische Gassensorik eingesetzt. Diese werden als Lambda-Sonde in Fahrzeugen oder in Verbrennungsanlagen bei der Prozesskontrolle für die optimale Einstellung der Luft/Kraft(Brenn)stoff-Mischung eingesetzt. Aber auch in Abgasnachbehandlungssystemen von Fahrzeugen, in Müllverbrennungsanlagen sowie bei Hochtemperatur-Stoffumwandlungen in der chemischen Industrie und in Kraft- und Heizwerken kommen diese Sauerstoffsensoren zum Einsatz. Die Überwachung von Sauerstoff-Permeation und von Sauerstoff-Austauschreaktionen ist ebenfalls kalibrierfrei möglich.

### Halbleiter- Gassensoren

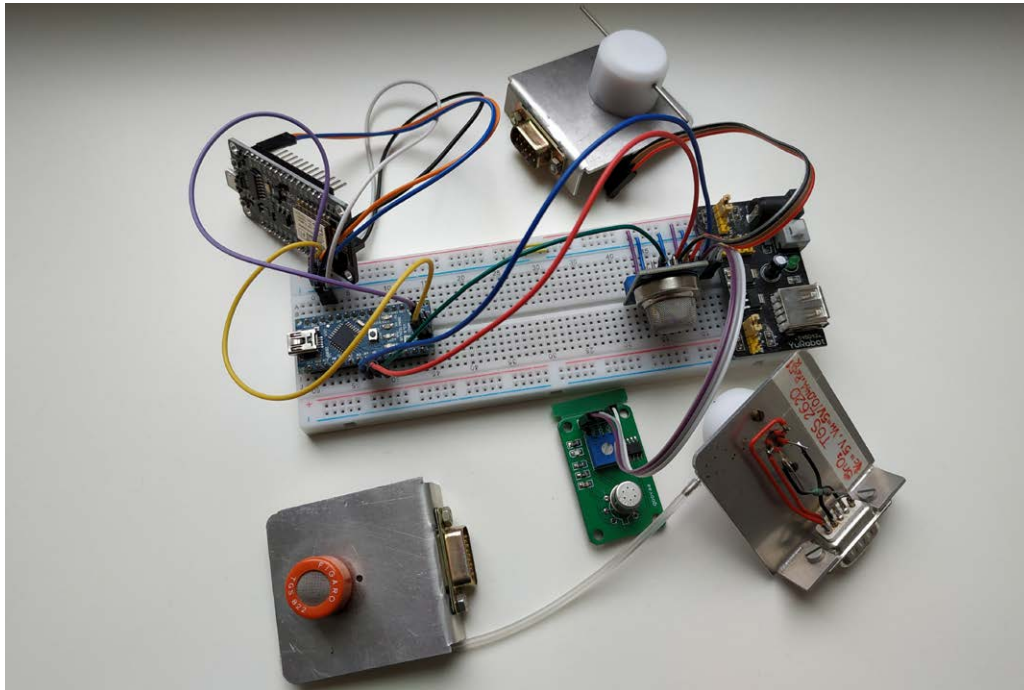
Metalloxid-Halbleitermaterialien wie z. B. Zinnoxid verändern ihre elektrischen Eigenschaften (Leitfähigkeit) bei Anwesenheit redoxaktiver Gase und werden aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit, ihres einfachen Aufbaus und ihrer geringen Herstellungskosten millionenfach als Warnsensoren für den Schutz vor Explosion und Brand sowie vor toxischen Gase eingesetzt. So können reduzierende Gase wie Kohlenmonoxid und Wasserstoff mit Hilfe dieser keramischen Halbleitergassensoren sehr empfindlich detektiert werden. Aber auch die Konzentration von Alkoholdämpfen und Methan in Luft kann bestimmt werden. Damit diese Sensoren funktionieren, muss das Sensormaterial auf eine Arbeitstemperatur über 300°C erhitzt werden.

### Demonstration/Praktika

Die Versuche erlauben die Bestimmung der Sensorparameter wie Empfindlichkeit, Ansprechzeit und Selektivität in einem weiten Temperaturbereich bei verschiedenen Gasatmosphären und Gaskonzentrationen.

Die Besucher können mit Hilfe von Sensor-Bausätzen selbst internetfähige Sensorknoten erstellen und die Messdaten mit dem eigenen Smartphone über WLAN erfassen.





### Gas-Sensor-Bausatz

WLAN-fähiger Gas-Sensor-Bausatz für die Bestimmung von Methan, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Ethanol-Dämpfen

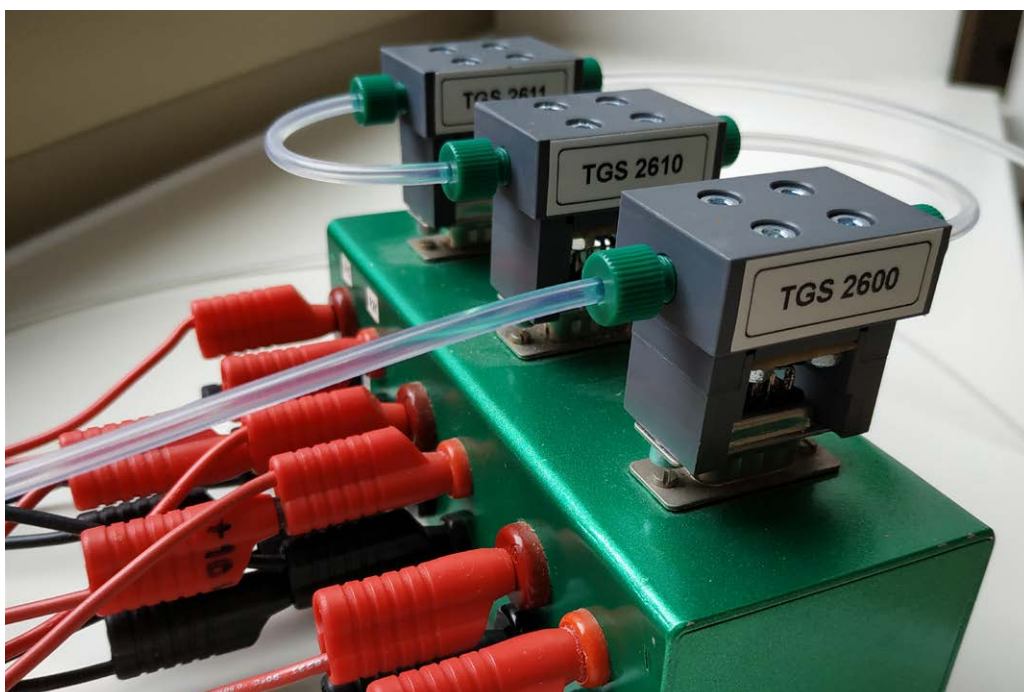
### Potentiometrischer Festelektrolyt-Sauerstoffsensor

Bestimmung von Sauerstoffkonzentrationen ab 400 °C in inerten Gasen



### Metalloxid-Halbleiter-Gassensoren

Sensoren für die Bestimmung von reduzierenden Gasen im ppm-Bereich

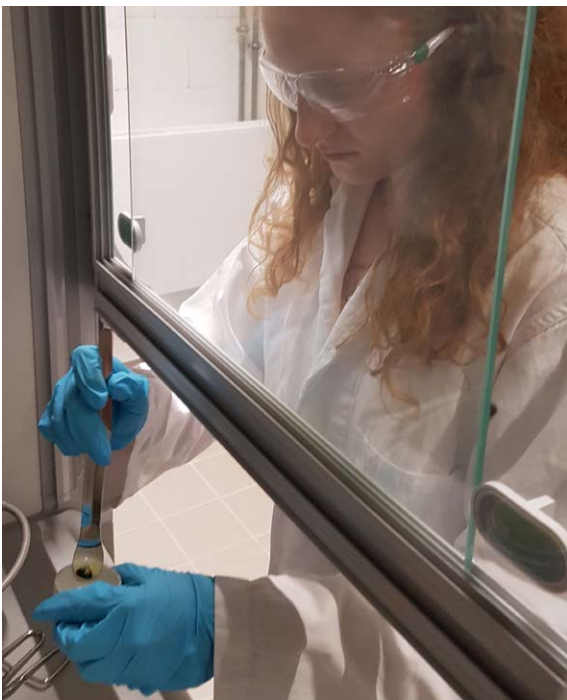






## Demonstrationsversuch zur Silberlocken-Züchtung

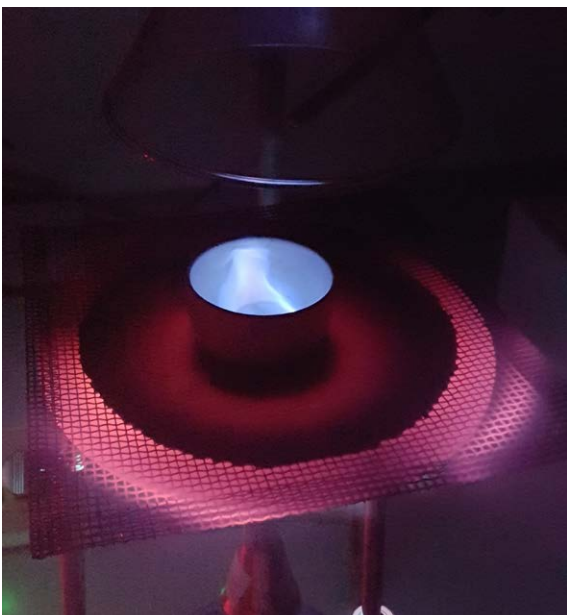
Dr. Kevin Keller, Johanna Kubasch



Die Geschichte der Stadt Freiberg ist eng mit dem Silberbergbau verbunden. Insbesondere unter Mineralsammlern sind die Stufen von gediegenem Silber in Form von Locken und Drähten auf Akanthit-Matrix ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) aus Freiberg sehr beliebt und haben weltweit großen Ruhm erlangt.

Trotz intensiver Untersuchungen und Laborversuchen ist jedoch die Entstehung der Silberlocken immer noch nicht ganz verstanden. Neuere Untersuchungen zur Mikrostruktur sowie Modelle für Transportprozesse sollen dabei helfen die Entstehung besser zu verstehen. Gleichzeitig haben diese Prozesse auch eine praktische Relevanz, da es auch bei elektronischen Baugruppen zum Entstehen feiner Silber- oder Kupferhaare kommen kann, die dann zum Versagen des Bauteils führen.

Im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit (Institut für Mineralogie) untersucht derzeit die BGM-Studentin Johanna Kubasch das Wachstum von Silberlocken in Laborversuchen. Dafür wurde ein Versuchsstand mit einem Temperaturgradienten-Ofen im ZeHS aufgebaut. Damit können Silberlocken aus „Labor-Akanthit“ (synth. hergestelltes  $\text{Ag}_2\text{S}$ ) durch einen Hochtemperaturprozess gezüchtet werden, die bereits nach wenigen Stunden mehrere Zentimeter Länge annehmen.



Die Versuche sollen aber nicht nur zur Untersuchung des Wachstums und den Einflussfaktoren von lockenförmigen Metallen genutzt werden, sondern vielmehr auch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Im Demonstrationslabor des ZeHS können Schülergruppen die Wachstums- und Materialtransportprozesse in der Natur und technischen Anwendungen erforschen und auf praktische Weise erfahren.

## Schüleruniversität

Prof. Dr. Dirk C. Meyer



Liebe Schülerinnen und Schüler,  
liebe zukünftige Forscherinnen und Forscher,

mit dem neuen Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung ZeHS haben wir an der TU Bergakademie einzigartige Arbeitsmöglichkeiten für die Entwicklung ressourcen- und energieeffizienter Technologien gewonnen. Als wir uns um die Förderung zur Einrichtung dieses neuen Zentrums beworben haben, war eines unserer Ziele, einen Ort der Ideen und des Entdeckens zu entwickeln. Heute bietet der Forschungsbau beste Bedingungen dafür: Es gibt einen Vortragssaal, Seminarräume, modern ausgestattete Labore und Technika mit großtechnischen Versuchsanlagen.

Wir laden Sie sehr herzlich ein, das Zentrum kennenzulernen und für Ihre Zukunft in Besitz zu nehmen! Wir setzen auf Sie mit Ihren Ideen und Ihrem Forscherdrang für die Lösung der Zukunftsherausforderungen in der Wissenschaft. Mögliche Arbeitsfelder für Sie als Schülerinnen und Schüler erstrecken sich dabei von praktischen Arbeiten in der Werkstatt über Labortätigkeiten bis hin zur Entwicklung neuer Ideen.

Ein Angebot an Sie kann wie ein gut durchdachter Lehrplan aussehen oder mit den modernen Möglichkeiten und nach Ihren Interessen frei gestaltet werden. Wir laden Sie, liebe Schülerinnen und Schüler, und Ihre Lehrerinnen und Lehrer herzlich ein, zu den im Internet angegebenen Zeiten zu uns zu kommen und zu Ihren Interessen und Wünschen gemeinsam zu diskutieren und so das Programm für eine „ZeHS-Schüleruniversität“ zu entwickeln. Natürlich stehen auch alle weiteren Kommunikationswege zu jeder Zeit offen.

Damit Sie die Universität schon zeitig kennenlernen können, haben wir vorab beispielsweise an ein Angebot für Experimentalvorlesungen oder Praktika gedacht. Sie dürften dann einfach zuhören und auch experimentieren sowie die modern ausgestatteten Labore kennenlernen. In einem späteren Studium bei uns würde dann ein Lohn in Form einer Note hinzukommen. Wir bemühen uns gemeinsam mit Unterstützern, zum Beispiel auch Preise für ein Quiz auszuloben. Bitte beachten Sie auch unsere Einladung unter <https://tu-freiberg.de/zehs>, die wir gemeinsam in Ihr Unterrichtsprogramm einbinden könnten.

Sehr gern möchte sich das Zentrum auch als Innovationsort für Arbeitsgemeinschaften an Schulen anbieten: ausgehend von Physik im Alltag über Ingenieurskunst bis hin zum Zusammenhang von Kultur, Gesellschaft und Technik.

Glückauf!

Ihr Prof. Dr. Dirk C. Meyer



# PRESSE



Professor Dirk Meyer, der Wissenschaftliche Sprecher des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung, betrachtet das Werk „Solaris“ von Axel Anklam und Thomas Henninger. Er lädt dazu ein, das Edelstahlrelief in Ruhe auf sich wirken zu lassen: „Unser Haus ist offen für jeden.“ FOTO: ECKART

## „Solaris“ erinnert an großen Künstler

Der Bildhauer Axel Anklam ist kürzlich im Alter von 50 Jahren verstorben. In Freiberg gibt es ein monumentales Werk von ihm.

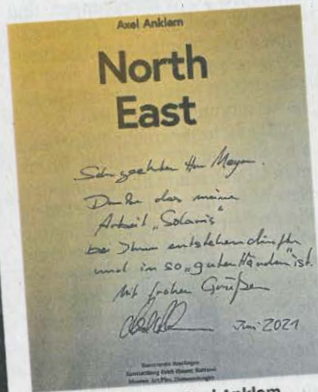
VON STEFFEN JANKOWSKI

**FREIBERG/BERLIN** – Die Nachricht vom Ableben des Bildhauers, Kunstschmiedemeisters und Restaurators Axel Anklam hat auch Professor Dirk Meyer von der TU Bergakademie Freiberg erschüttert. Der pro-

Der Clou ist ein Spiegelsystem, das Sonnenstrahlen durch den Lichtschacht des Treppenhauses auf die goldig glänzende Oberfläche des Kunstwerks lenkt und dort vielfältige Reflexionen erzeugt. „Ausgehend vom Erbe des Ortes Freiberg mit seiner Erzbergbaugeschichte, der Gewinnung von Edel- und Buntmetallen und deren Verhüttung hat die Weiterentwicklung der Technologie folgerichtig zur Idee des Forschungsneubaus der TU Bergakademie geführt“, hatte Anklam zu Lebzeiten selbst die künstlerische Idee skizziert. „Solaris“ könne als Abbild der Grundlagenforschung in dem Haus angesehen werden; das Licht sei da-



Axel Anklam (19. Juli 1971 - 1. Januar 2022) FOTO: TOM WAGNER



Eine Widmung von Axel Anklam. FOTO: THERESA LEMSER



Axel Anklam bei der Arbeit. FOTO: THERESA LEMSER

## Ein Palast der Forschung

Am einstigen Messeplatz prangt er: Der größte Wissenschaftsbau, der seit der Wende in Freiberg errichtet worden ist.

VON WIELAND JOSCH



Idee u  
ein Mo  
Rund  
haben  
Archit  
im Ne  
Winkl  
Es gab  
VON WIELAND  
UND STEFFE  
**FREIBERG** –  
das Zentru  
temperatur  
der TU Berg  
Sonabend  
gierige geöff  
der Tag der A  
sche Direktor  
neten Einrich  
Meyer, führte  
durch die Labo  
Wissenschaftli  
sor Dirk C. Me  
stand der Arch



# Forschungszentrum erinnert an eine Amethyst-Druse

## Kunst trifft auf Wissenschaft



„Unser Körperaufbau ist annähernd spiegel-symmetrisch; in Natur und Architektur erkennen wir wiederkehrende Muster; Mathematik, Physik und Chemie nutzen Symmetrien, um den Aufbau von Elementen und Formen zu beschreiben“, sagt Physiker Prof.



Dirk Meyer. Er ist Initiator der neuen Fotoausstellung „Symmetrische Metamorphosen“ im Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung der TU Bergakademie Freiberg. Zu sehen sind Kunstfotos des Coswiger Fotografen Piet Joehnk (kleines Foto

rechts oben). Die Spiegelungen und Symmetrien verblüffen in überraschender Weise mit neuen Perspektiven auf viele Bereiche des Lebens. Die Ausstellung bildet den Auftakt zu insgesamt 13 Ringvorlesungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

der TU Bergakademie Freiberg im Bereich der Geologie. Die Ausstellung ist bis zum 29. Ja

nd Wirklichkeit: Architekt Jens Krauß präsentierte im Drusenhof des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffumwandlung an der Winklerstraße ein Modell des Gesamtgebäudes. Bei der Gestaltung wurden zahlreiche Anleihen aus der Welt der Minerale und des Bergbaus genommen.

100 Interessierte  
sich beim Tag der  
tektur am Sonnabend  
ubau der TU an der  
erstraße umgesehen.  
viel zu entdecken.

ND JOSCH  
EN JANKOWSKI



Professor Bernd Meyer (rechts), Technischer Direktor des ZeHS, demonstrierte auf heitere Weise Professor Michael Schlömann, der als Besucher gekommen war, die Wirkungsweise der Spiegel im Kunstwerk „Solaris“ im Fo-

Professor Dirk Carl Meyer war mit der Resonanz auf den Tag der Archi- tektur

**ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG**

g  
b  
G  
S  
Vor  
war  
spie  
treff  
gen  
Men  
die il  
lich s  
Der  
Jahr  
ist d  
ell a  
duri  
men?  
Trotz a  
Köpfe



---

## PRESSEMITTEILUNGEN

---

### Foto-Ausstellung „Symmetrische Metamorphosen“ / Auftakt zu Ringvorlesung des ZeHS

**2. November 2021:** Ab 28. Oktober zeigt die TU Bergakademie Freiberg im Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung Kunstfotos des Coswiger Fotografen Piet Joehnk. Die Spiegelungen und Symmetrien verblüffen in überraschender Weise mit neuen Perspektiven auf viele Bereiche unseres Lebens.

<https://tu-freiberg.de/presse/foto-ausstellung-symmetrische-metamorphosen-auftakt-zu-ringvorlesung-des-zehs>

### Prof. Dirk C. Meyer mit Goldener Ehrennadel des Rektors der Universität ausgezeichnet

**5. Mai 2021:** Für seine Verdienste für die Universität und sein Engagement für das 2021 fertig gestellte ZeHS erhielt Prof. Dr. Dirk C. Meyer am 4. Mai anlässlich des Besuchs des Rektors und des amt. Kanzlers zur Aufnahme des wissenschaftlichen Betriebs des Zentrums die Goldene Ehrennadel der Universität.

<https://tu-freiberg.de/presse/prof-dirk-c-meyer-mit-goldener-ehrennadel-des-rektors-der-universitaet-ausgezeichnet>

### Forschungszentrum mit nationaler Bedeutung für die Energie- und Rohstoffwende: ZeHS nimmt Arbeit auf

**4. Mai 2021:** Eine elektrifizierte, dekarbonisierte, zirkulare Industrie ist die Vision des neuen Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung. Mit dem wissenschaftlichen Auftakt am 4. Mai arbeiten dort künftig Forschende & Studierende an ressourcen- und energieeffizienten Technologien für die Industrie.

<https://tu-freiberg.de/presse/forschungszentrum-mit-nationaler-bedeutung-fuer-die-energie-und-rohstoffwende-zehs-nimmt-arbe>

### Neubau des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung übergeben

**22. Februar 2021:** Auf dem ehemaligen Messeplatz in Freiberg ist am 22. Februar knapp zwei Jahre nach dem Richtfest das „Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung“ (ZeHS) an die Forschenden der TU Bergakademie Freiberg offiziell übergeben worden.

<https://tu-freiberg.de/presse/neubau-des-zentrums-fuer-effiziente-hochtemperatur-stoffwandlung-uebergeben>  
<https://www.medien-service.sachsen.de/medien/news/247555>

## Neues Forschungszentrum für Hochtemperatur-Stoffwandlung feiert Richtfest

**22. März 2019:** Das Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) der TU Bergakademie Freiberg nimmt weiter Formen an. Am 22. März begingen Finanzminister Dr. Matthias Haß, Staatssekretär Uwe Gaul und Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht das Richtfest für den Neubau.

<https://tu-freiberg.de/presse/neues-forschungszentrum-fuer-hochtemperatur-stoffwandlung-feiert-richtfest>  
<https://www.medienservice.sachsen.de/medien/news/224368>

## Wissenschaftskorridor Freiberg gewinnt an Kontur – Symbolischer erster Baggerbiss für Neubauten

**11. Mai 2017:** „Erster Baggerbiss“ am Messeplatz in Freiberg für zwei Neubauten: Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung und Hörsaalzentrum/Bibliothek der TU Bergakademie Freiberg.

<https://tu-freiberg.de/presse/wissenschaftskorridor-freiberg-gewinnt-an-kontur-symbolischer-erster-baggerbiss-fuer-neubaute>

## Förderung von 41,5 Millionen Euro für Forschungsneubau beschlossen

**24. Juni 2015:** Die Förderung für den Neubau eines Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) auf dem Campus wurde am 19. Juni durch die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz beschlossen.

<https://tu-freiberg.de/presse/foerderung-von-415-millionen-euro-fuer-forschungsneubau-beschlossen>

## Wissenschaftsrat empfiehlt Forschungsbau in Freiberg

**29. April 2015:** Der Wissenschaftsrat empfiehlt die Förderung eines Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung an der TU Bergakademie Freiberg.

<https://tu-freiberg.de/presse/wissenschaftsrat-empfehl-forschungsbau-in-freiberg>



---

## IMPRESSUM

---

### Herausgeber

Prof. Dr. Dirk C. Meyer  
TU Bergakademie Freiberg  
Wissenschaftlicher Sprecher des ZeHS  
Winklerstraße 5, 09599 Freiberg  
E-Mail: [Dirk-Carl.Meyer@zehs.tu-freiberg.de](mailto:Dirk-Carl.Meyer@zehs.tu-freiberg.de)

### Kontakt

Ass. iur. Theresa Lemser  
Referentin des Direktoriums des ZeHS  
Winklerstraße 5, 09599 Freiberg  
Telefon: 03731 39 1501  
E-Mail: [Theresa.Lemser@zehs.tu-freiberg.de](mailto:Theresa.Lemser@zehs.tu-freiberg.de)  
Web: [tu-freiberg.de/zehs](https://tu-freiberg.de/zehs)

### Redakteur

Dr. Hartmut Stöcker  
Institut für Experimentelle Physik  
Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg  
E-Mail: [Hartmut.Stoecker@physik.tu-freiberg.de](mailto:Hartmut.Stoecker@physik.tu-freiberg.de)

### Druck

Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg

### ISSN

2752-2903

### Copyright

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

### Danksagung

Die Redaktion dankt allen Autoren, die mit Texten und Bildern zu diesem Bericht beigetragen haben (siehe nächste Seite).

### Titelbild

Blick in den Innenhof des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung an der TU Bergakademie Freiberg, © Hartmut Stöcker.

## Autoren und Bildrechte

1	Dirk C. Meyer, Medienzentrum	75	Felix Plamper, Richard Neubert
4–5	Hartmut Stöcker	76	Sven Kureti, Christopher Zschiesche, Stefan Nottelmann, Philip Schubert
6–9	Dirk C. Meyer, Theresa Lemser, Cinector GmbH	77	Florian Mertens, Sven Kureti, Andreas Lißner
10–13	Dirk C. Meyer, Theresa Lemser, Sven Jachalke	78	Edwin Kroke, Konstantin Kraushaar
14–15	Dirk C. Meyer, Theresa Lemser, Heinle, Wischer und Partner Freie Architekten	79	Andreas Leineweber, Mario Kriegel
16–18	Dirk C. Meyer, Theresa Lemser, Axel Anklam	80	Serguei Molodtsov, Friedrich Roth
20–21	Hartmut Stöcker	81	Dirk C. Meyer, Hartmut Stöcker
22–23	Martin Abendroth, Björn Kiefer	82	Tobias M. Fieback, Rhena Wulf
24–25	Sebastian Aland	83	Sindy Fuhrmann, Lena Bußmann
26–27	Christos G. Aneziris, Patrick Gehre, Vasileios Roungos	84	Christos G. Aneziris, Nora Brachhold
28–29	Thomas A. Bier, Marie Oppelt	85	Martin Gräbner, Marcus Schreiner, Anja Guhl
30–31	Horst Biermann, Detlev Müller, Jan Böcker	86–87	Hartmut Stöcker
32–33	Andreas S. Bräuer, Detlev Müller, Michael Fechter, Roland Haseneder	89	Christos G. Aneziris, Undine Fischer, Steffen Dudczig
34–35	Edwin Kroke, Gerhard Heide, Kevin Keller, Marcus Schwarz	90	Marco Wendler, Olena Volkova
36–37	Sindy Fuhrmann, Detlev Müller	91	Martin Gräbner, Roh Pin Lee, Bernd Meyer
38–39	Martin Gräbner, Felix Baitalow, IEC	92	Thomas A. Bier, Marie Oppelt
40–41	Michael Höck	93	Friedrich Roth, Serguei Molodtsov
42–43	Yvonne Joseph, Christine Hecker	94	Christine Hecker, Yvonne Joseph
44	Christian Koch	95	Marcus Schwarz
45	Hartmut Stöcker	96	Kevin Keller
46–47	Lutz Krüger, Sebastian Henschel, Markus Radajewski, Marcel Mandel	97	Björn Kiefer, Martin Abendroth
48–49	Sven Kureti, Detlev Müller, Christopher Zschiesche	98	Sindy Fuhrmann
50–51	Andreas Leineweber, Mario Kriegel	100–101	Hartmut Stöcker
52–53	Florian Mertens, Detlev Müller, Bianca Störr	102–103	Matthias Zschornak, Tina Weigel
54–55	Dirk C. Meyer, Erik Mehner, Hartmut Stöcker	104–105	Pal Arki, Uwe Sczech, Yvonne Joseph, Christine Hecker
56–57	Serguei Molodtsov, Friedrich Roth	106	Kevin Keller, Johanna Kubasch
58–59	Felix Plamper, Detlev Müller, Richard Neubert	107	Dirk C. Meyer
60–61	Oliver Rheinbach	108–111	Theresa Lemser
62–63	Björn Sprungk, Detlev Müller	114	Dirk C. Meyer
64–65	Matthias Zschornak, Hartmut Stöcker, DESY, Melanie Nentwich, Sven Jachalke		
66–67	Hartmut Stöcker		
68–70	Barbara Abendroth		
71	Horst Biermann, Sebastian Henkel, Carl Wolf		
72	Björn Kiefer, Martin Abendroth		
73	Christian Kupsch, Mario Wolf		
74	Florian Mertens, Andreas Lißner, Bianca Störr		

---

## EIN GEMEINSAMES ZENTRUM IN FREIBERG

---

Der Wissenschaftsrat gab in seiner Förderempfehlung den Überlegungen für eine Zusammenfassung der Forschungsaktivitäten an der TU Bergakademie Freiberg im Jahr 2015 statt. Es sollte ein Zentrum entstehen, das bündelt und gemeinsam die Zukunft, auch zum Wohle der gesamten Bundesrepublik unterstützt. Ein Zentrum kann anziehen und zugleich in besonderer Weise ausstrahlen. Ein bedeutendes Kennzeichen ist dabei, bei gegebener Freiheit von Forschung und Lehre im Humboldtschen Sinne Individuelles und Gemeinsames zu vereinen. Diese Dualität bildete zugegebenermaßen auch kreative Reibungsflächen während des Entwurfs der Gesamtidee in der Planungsphase. Nun werden in täglich gelebter Gemeinschaft angestrebte Möglichkeiten der Kooperation deutlich sichtbar. Die Arbeitsgruppen rücken zusammen und es sind neue Akteurinnen und Akteure hinzugetreten.

Etabliert sind nun eine Ringvorlesung, die auch für das Freiburger Umfeld offensteht, ein modernes Promovierendenforum, ein Demonstrationslabor, in dem Schülerinnen und Schüler auch die ausgezeichneten Perspektiven eines Studiums an der TU Bergakademie Freiberg erfahren können. Zahlreiche wissenschaftliche Veranstaltungen werden diesen Geist auch weiterhin sichtbar machen und nähren. Beispiele dafür sind „BHT Freiburger Universitätsforum“ und „Lange Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft“. Naturwissenschaftlich-technische Forschung in Freiberg ist mit dem „Genius Loci“ der Region eng verbunden. Ein Zentrum lebt auch von den Akteurinnen und Akteuren unter einem gemeinsamen Dach.

Die Nutzer des Zentrums hatten für dessen Auslegung großes Glück, mit diesbezüglicher Einfühlsamkeit und fachlicher Kompetenz des beauftragten Architekturbüros „Heinle, Wischer und Partner Freie Architekten“ und aller am Bau Beteiligten. Besucherinnen und Besucher des für die Öffentlichkeit zugänglichen Hauses begegnen zuerst einer goldfarbenen Arbeit des Künstlers Axel Anklam: der

eindrucksvollen Wiedergabe eines Metallgefüges. Bei einer Hinwendung zum sehr schönen Innenhof gibt es Impressionen hinsichtlich einer Druse, eines aufgespaltenen Minerals. Die intensiv angenommenen Teeküchen sind Schutzhütten im Bergbau nachempfunden, wie ebenso die Flure im Laborteil in ihrer Ausgestaltung an Gänge unter Tage erinnern sollen. Besichtigt werden können in Verbindungsfluren zeitlich wechselnde Ausstellungen zu Bildender Kunst.

Und nun erneut zum fachlichen Kern des Zentrums. Auf über 6.000 m<sup>2</sup> Labor- und Hallenflächen arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gemeinsam. Sie sind, wenn nicht gerade ein Experiment schnell begleitet werden muss, auch ansprechbar und erklären gern ihre wertvollen Ausstattungen und interessanten Ziele. Ein Hinweis an alle Interessierten: Kommen Sie gern zu den geplanten Veranstaltungen und finden Sie dort Kontakt. Die bisherige Erfahrung zeigt, dass auch ein kurzes Eintreten in das Haus zu schönen Begegnungen führen kann. Die Nutzerinnen und Nutzer sind geübt, ihre komplexen wissenschaftlichen Themen verständlich zu beschreiben.

Diese Zeilen sollen als Einladung gelten, das Haus zu besuchen. Wer in Begleitung von Kindern steht, kann diesen bald auch eine kleine Libelle, die im Rahmen eines Heftchens auftritt, auf den Weg empfehlen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Zentrums publizieren in internationalen Fachzeitschriften; das wäre dann auch Literatur für die „Großen“.

Beste Grüße und Glückauf



Prof. Dr. Dirk C. Meyer

Wissenschaftlicher Sprecher des ZeHS